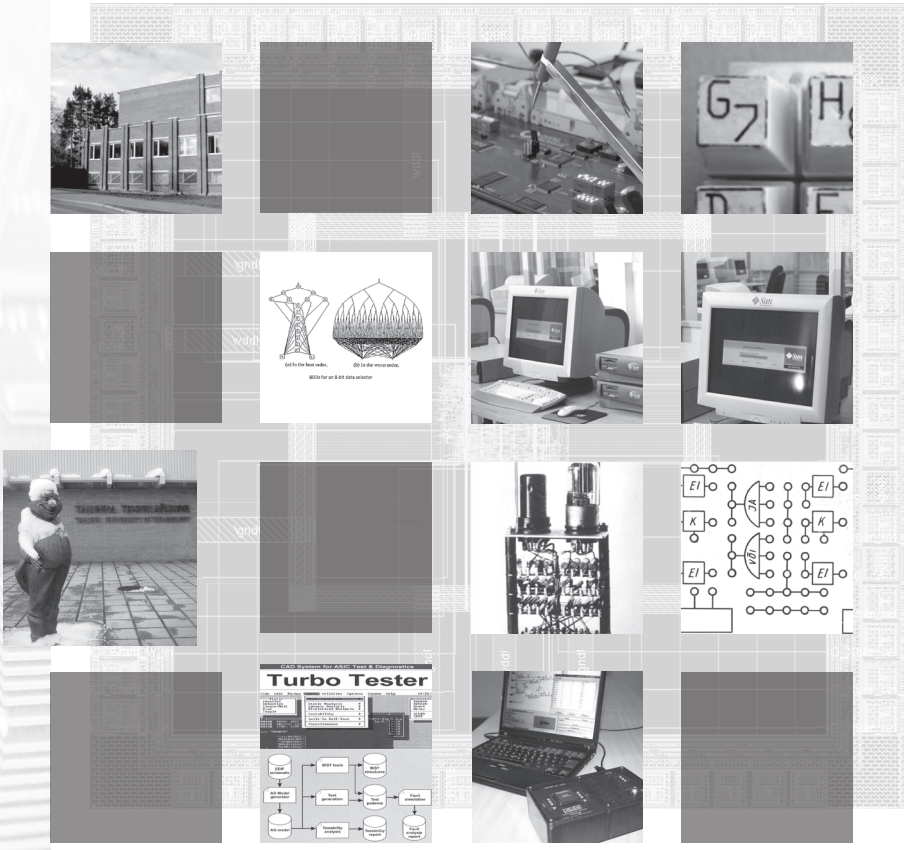
Pildikesi poolest sajandist

Arvutitehnika instituudi lugu



Raimund-Johannes Ubar

Pildikesi poolest sajandist
Arvutitehnika instituudi lugu

Raimund-Johannes Ubar

TTÜ
KIRJASTUS
Tallinn 2016

Kujundanud Tiina Ubar

Illustratsioonid: Raimund-Johannes Ubar
Fotod: Raimund-Johannes Ubari erakogu, TTÜ digifotokogu, Eesti TA fotokogu,
IT Kolledži fotokogu, Harri Mägi, Margus Kruusi, Elmet Orassoni,
Manfred Glesneri, Artur Jutmani, Maksim Jenihhini, Radomir Stankovici
Thomas Hollsteini, Bengt Magnhageni, Tõnis Lalli, Bengt Magnhageni, Tõnis Lalli, Galina ja Toomas Rangi erakogud erakogud.

Autoriõigus: Raimund-Johannes Ubar, 2016

Trükitud Tallinna Raamatukojas
ISBN 978-9949-83-048-0

Eessõna 9
1966–1976 Kateedri sünnilugu ja lapsepõlv 11
Arvuti maaletoomisest 11
Arvutitehnika eriala sünd TPI-s 14
Elektronarvutite kateedri sünd 15
Ustus Aguri hüvastijätt sõpradega 18
Kateedri töö käivitub 19
Uue kateedri missioon 19
Õppejõudude kaader 20
Õppekavast 22
Esimene lend 24
Kateedri argipäev 26
Töö korraldamisest 26
Laborite väljatöötamisest 28
Arvutuskeskuse kasutamisest 29
Rühmajuhendamisest ja kasvatustööst 30
Õpetamise efektiivsuse tõstmisest 34
Praktikaõppest 37
Tootmispraktikast 37
Ühe praktika juhendamise lugu 38
Harri Mägi praktikajuhendamisest Armeenias ja Venemaal 39
Diplomiprojekteerimisest ja tudengite teadustööst 41
Seminaridest ja teadustööst 44
Kateedri seminarid 44
Väliskontaktidest 45
Kontaktidest N Liidu avarustel 46
Teadustöö käivitamisest kateedris 49
Kateedrijuhataja vahetub 51
Harri Mägi: Kateedri esimese kümnendi kroonika 53
1966–1991 55
Meenutusi kateedri noorusajast 55
Harri Mägi: Kuidas kõik algas 55
Arvutiajastu algusaastad NSV Liidus.... 55
Ettevalmistused arvutiinseneride koolitamiseks Eestis 58
Ühe arvutiteadusse pürgiva sihtaspirandi lugu 59
Harri Mägi: Arvutiõpetus tuleb TPI-sse 63
Arvutustehnika ärkamisaeg 63
Aspirantuur Venemaal 64
Töökoha vahetus Mustamäelt Stenbocki majja 66
Kahevõitlus haigusega 68
Esimene arvutiost 69
Arvutustehnika kateedrist arvutusmatemaatika kateedriks 70
Automaatika kateeder haarab ohjadest 72
Kahe eriala dilemma 73
Arvo Toomsalu: Mida õpetati elektronarvutite erialal aastatel 1966-71 75
Ksenja Grigorjeva: Minu ülikool (1967-72) 80
Ülikooli astumisest 80
Tudengipõlve algusperioodist 82
Erialasest õppest 85
Töö algusest Alma Materis 88
Kateedrist, tööst ja kolleegidest-õppejõududest 89
Vladimir Viies: Kolmas lend (1968-73) 95
Kalle Tammemäe: Seikasid kateedri ajaloost 1979-84 99
Raimund Ubar: Õppejõuks õppimisest (1960 - 1975) 104
Tudengina 60-ndate Rauakoolis 104
Inseneri ristsed elektroonikuna 108
Sihtaspirandina Moskva Baumani nim. Tehnikaülikoolis 110
Noore õppejõuna tagasi koduülikoolis 115
Saksa DV-st tarkust juurde saamas 118
1976–1986 121
Teadusuuringute romantiline aeg 121
Kateeder astub teise kümnendisse 121
Teaduse romantikast ja akadeemilisest vabadusest 121
Andres Keevallik: Kateedri arenguperspektiividest (1982) 123
Dekompositsiooniteoreem ja DILOS 125
Koostöö algus Küberneetika Instituudiga 130
Proloog 130

Küberneetika Instituudi EKB sünd 131
Diagnostika uurimisobjekt 133
Diagnostikaprotsessi võrrand 134
Alternatiivsed graafid 136
Uue mudeli sünd haigevoodis 136
Tunnustus Uurali metsade keskel 138
Duell Laadoga ja Oneega järvede vahel 140
Testigeneraatorite ehitamine 142
Kateedri esimesed väitekirjade kaitsjad 142
Testigeneraator NAKS 142
Eksirännakutest teadustöös 144
Miks ameeriklased ei armastanud ekspertsüsteeme? 146
Heal lapsel mitu nime 148
Diagnostikatestrite ehitamine 150
Agu Viilupi tester 150
„Diagnostiline" dialoog 151
Intelligentne tester 154
Pilk uurimistöö logiraamatusse 154
Konverentsidest, kontaktidest ja rahvusvahelisest koostööst 156
Kontaktide avardumisest 156
Rahvusvahelistumisest 80-ndate esimesel poolel 158
Väljavõte konverentside päevikust anno 1983 160
Koostöö unikaalsusest EKTA-ga 163
Ühe doktoritöö lugu *164*
Konverents Pirita Olümpiakeskuses 164
Mis on teadustulemus? 166
Kuidas valida oponenti? 167
Tšernobõliga silmitsi 168
Doktoritöö kaitsmine 169
Harri Mägi: Kateedri teise kümnendi kroonika 170
1987–1992 175
Muutuste aeg 175
Kateeder saab laboratooriumi 175
Mida arvas Henn Salum 175
Pilguheit senitehtule 176
Andres Keevallik: Kateedri 20. juubeli puhul 178
Kahel pool metsa 180
Kateedri arendusplaanist 182
Paul Leis: Arvutustehnika õpetamisest kateedris 184
Margus Kruus: Tudengite võistlusreis Kirgiisiasse[4] (1987) 185
80-ndate lõpu turbulents 186
Ülikool ja teaduskond muutuste haardes 186
IME ideed ja automaatikateaduskond 190
Koostööst Eesti tööstusega 192
Kateedri koosolek 195
Rahvusvahelistumisest 196
Teadusprogrammid ja koostöökontaktid 196
Kateedri „neljas" (Barkhauseni) õppetool 200
Vladimir Viies: Stažeerimisest Chemnitzi Tehnikaülikoolis 203
Diagnostikaring 205
Teaduse nabanöör – lepingulised uurimistööd 208
Rootsi tuleb Eestisse 208
Lääne väravad avanevad 212
Kiri prorektorile 215
25. juubel 217
Arvutipäevade traditsioonist 217
Ustus Agur: Meenutusi elektronarvutite kateedri sünnist 219
Andres Keevallik: Teel akadeemilisele vabadusele 220
Raimund Ubar: Arvutikateeder 25 221
Harri Mägi: Kateedri kroonika suurte muutuste aastatel 1987-1992 222
Kateedri raamatutest ja kogumikest 224
1991–1996 230
Suur europrojektijaht 230
Silmitsi Lääne-Euroopaga 230
21. august 1991 230
Rootsi Instituudi stipendiumiga Linköpingis 232
Prantsuse stipendiumiga Alpide jalamil 233
Kuidas eostati esimest Eesti europrojekti 235

Prantsusmaalt kateedrit juhatamas 237
Esimene dialoog: Grenoble - Linköping 237
2. Dialoog Grenoble - Tallinn 242
Europrojektide taotlemismaraton 247
Ekseldes võimaluste risttules 247
Kolm meest paadis 253
Maraton lõpule jõudmas 256
Tagasi koju 259
EUROCHIP avas ukse Tehnikaülikoolile 260
Mikroelektroonika assotsiatsioon Eurochip 261
Miks just mikroelektroonika? 263
Rootsi-Eesti ühisprojekt ESTPID 265
Koostöö memorandum 265
Konverents 267
ESTPID projekti kronoloogia 269
Euroopa arendusprojekt TEMPUS 270
Projekti tegemistest 270
Kompetentsuskeskus ja PLD labor 273
Mobiilsusprogrammi romantilisest poolest 274
Esimesed Euroopa teadusprojektid 275
Projekt EEMCN (1993-1995) 275
Copernicuse projekt FUTEG (1993-1996) 276
Oli ka tagasilööke 278
Raamprogrammi tulek kateedrisse – ATSEC-i lugu 278
Meeskonda pääsemine 278
Ajude äravoolu traagika 279
Uue alguse võlu 280
Koostöö Skandinaavia liinil 281
Intervjuu soome ajakirjanikule 281
Ericssoni kingitud arvutiklass 283
Konkureerimine Stockholmis 284
Norras ja Rootsis ning Balti Tehnikateaduste Akadeemia 285
1993–1996 287
Instituut ja keskus 287
Akadeemiline reform ülikoolis 287
Instituudid kateedrite asemel 287
Uus vahetab välja vana 288
Doktoritest ja professoritest 289
Arvutitehnika instituut käivitub 290
Põhimäärus ja asutamise akt 290
Õppetooli koosolekuprotokollid 292
Rahvusvahelisest koostöösT 293
Kodumaised grandid ja lepingud 296
Kui Minerva ei soosinud eesti teadust 297
Elektroonika kompetentsuskeskus 300
Uued tendentsid Euroopas 300
Keskus TTÜ juurde 301
Ilus poisslapse nimi 302
Aga miks „kompetentsuskeskus“ ja mitte lihtsalt keskus? 304
Keskuse kujunemise ajaloost 304
Tegevuskava ja infrastruktuur 307
Õppe- ja teadustöö 308
Tulemustele tagasi vaadates 312
Rahvusvaheline presentatsioon 316
Struktuursed vastuolud 317
Eriarvamused keskuse kontseptsiooni osas 317
Tormiline arenguperiood 319
Saatuslik pööre 319
Keskus „rataste vahel“ 320
Möödus aasta 321
Reis Ameerikasse 322
Kas Tehnikaülikoolis võiks olla mitu arvutuskeskust 323
Jüri Põldre: PLD labor Tallinna Tehnikaülikooli 325
Mikroprotsessor TTÜ-st transistori 50. sünnipäevaks 327
Elektroonika ja arvutitehnika sihtprogrammist 329
Esimesed teaduspoliitilised sammud iseseisvas Eestis 329
Riiklikest teadusprogrammidest 330
Elektroonika ja arvutitehnika riiklik sihtprogramm 332

Projektide jahil, sihikul sihtprogramm 337
Veel üks katse 339
1991–1998 341
Lääne väravad on lahti 341
Reisikirjad Euroopast 341
Darmstadt, 1994 341
Manchester, 2. juulil 1994 347
Grenoble, 15. Juulil 1994 350
Korsika, 7. august 1994 354
Mägerite seiklused Prantsusmaal (1995) 358
Amsterdamist Pariisi 358
Mägerite esimene päev Pariisis 361
Mägerite teine päev Pariisis 363
Mägerite kolmas päev Pariisis 366
Mägerite jalutuskäik Chamrousse'i 370
Mägerite teekond Côte d'Azur'i 373
Vaba semester Prantsusmaal – 1998 383
Grenoble, 27. jaanuar 1998 383
Grenoble, 3. veebruar 1998 385
Grenoble, 9. veebruar 1998 388
Grenoble, 15. veebruar 1998 390
Grenoble, 21. veebruar 1998 392
Grenoble, 5. märts 1998 395
1993–2005 399
Turbulentne sajandivahetus 399
Instituudi jalajälg eesti teaduspoliitikasse 399
ATI professor Teadusfondi Nõukogu esimeheks 399
Millega tegeles Eesti Teadusfond 400
Rahajagamise otsustustasandid 401
Toetuste jaotusest tehnikateadustele 402
Teadusfond ja ministeerium 403
Esimehe taandumine 405
ATI on tagasi Eesti teadust korraldamas 407
Ülevaade instituudi ETF-i grantidest 407
Grantide annotatsioonid 408
Väljavõte ühe õppetooli aruandest (1997) 419
Õppetooli iseloomustus 419
Teadustegevus 421
Arendustest õppe- ja teadustöös 422
Võrdlus eelmise aruandeperioodiga 423
Instituudi sihtfinantseerimise aruanne 1998 – 2002 424
Põhitulemused 424
Projektid ja väitekirjad 427
Rahvusvaheline koostöö 428
Linnulennult läbi ATI projektide (1992-2016) 430
Lapik maa ja eestlastest maamõõtjad 438
Lapikust maast ja testide genereerimisest 439
Suupillist, klaverist ja kaotatud passist 440
Europrojekt SYTIC (1997-1999) 441
Eesti-Saksa projekt EST-008-96 (1996 - 1999) 443
Virtuaalse labori lugu 444
Häda europrojektidega 444
Europrojekt VILAB (1998-2001) 445
Projekti VILAB sünnilugu 447
Gastroleerides Euroopast Vladivostokki 449
Projekt REASON (2002-2005) 449
Teadus ja sport 450
500 defektiga ideaalne kiip 452
Loengutega Euroopas ja Siberis 454
Koosprojekteerimise kontseptsioonist 456
Ida ja Lääne lõimimisest 457
10 aastat vaatamist tagasi IDA suunas 457
20 aastat pürgimist LÄÄNE suunda 460
Euroopa Testisümpoosion Tallinnas 461
2008–2015 463
Teadustippkeskus CEBE 463
Keskuse saamislugu 463
Ühise suure keskuse loomise plaan 463

Otsus konkureerida eraldi kahe keskusena 464
CEBE taotlemine ja võit 466
CEBE alustas 467
Uurimistemaatikast 468
Milleks teadus, milleks teadustippkeskus? 469
Biomeditsiinitehnikast 469
Arvutustehnikast ja süsteemide usaldatavusest 471
Koostöösidemed ja europrojektid 472
Töö algab 473
Perspektiivid 474
CEBE uudiskirjadest 474
Uudiskiri Nr 1 – 2009 474
Tippkeskuse tutvustus 475
Ülevaade toimunust esimesel tööaastal 476
Kolm piiririiki, suhtlusmeediumiks – elekter 478
Uudiskiri Nr 2 – 2010 478
CEBE **– anno** *2010 478*
Visioonist ja kompassist 479
Ilmakaartest kompassil 480
Algoritmidest arhitektuurideni 480
Depressiooni matemaatika 481
Dialüüsravi vereproovideta 482
Legoklotsidest tehisintelligents 483
Numbreid CEBE-st 483
Kokkuvõtteks 484
CEBE koostööprojektid 485
Uudiskiri Nr 3 – 2011 485
Cebe koostöö rahvusvahelise nõukojaga 485
Projekt P1. Rakendus-spetsiifilised protsessorid signaalitöötluseks 486
Projekt P2. Digitaalsüsteemide test ja verifitseerimine 487
Projekt P3. Optilised- ja bioimpedantsmeetodid kardiovaskulaarses diagnostikas 488
P4: EEG analüsaator aju seisundi hindamiseks 489
Projekt P5. Neeruasendusravi häiretevaba monitooring 490
Projekt P6. Elektroonikasüsteemide testimine 491
CEBE missioon – tervishoid ruudus 492
Uudiskiri Nr 4 – 2012 492
Mida tähendab tervishoid ruudus? 492
CEBE rahvusvahelisest evalveerimistest 493
Intelligentne trükkplaatide tester 494
Ajuhäirete arvutamisest 495
Algoritmidest arhitektuurideni 495
CEBE doktoritöid 496
Simulatsioonipõhine riistvara verifitseerimine kõrgtaseme otsustusdiagrammidega 496
Digitaalsüsteemide rikete simuleerimine 496
Testitavusel põhinev välise testi ja diagnoosi meetod kahemõõtmelistele kiipvõrkudele 497
Sisse ehitatud enesetestimise optimeerimine digitaalsüsteemides 497
Süsteemide modelleerimine protsessorikesksete testide sünteesi automatiseerimiseks 498
Digitaalsüsteemide isetestimine 499
Kiipvõrkudel põhinevate ajakriiti-liste töökindlate süsteemide kõrgtaseme disain 499
Veebikasutajate käitumise analüüs ja soovitused adaptiivse veebi loomiseks. 499
Formaalne verifitseerimine ja vigade parandamine digitaalsüsteemides 500
Kitsenduste lahendamisel baseeruv hierarhiline testide genereerimine 500
FPGA-sisesed virtuaalsed test- ja mõõtevahendid 501
Rikete simuleerimine ja koodikatte analüüs kasutades kõrgtaseme otsustusdiagramme 501
Riistvara modelleerimine disaini verifitseerimise ja silumise jaoks 502
Kõrgtaseme disainide mutatsiooni-põhine verifitseerimine ja vigade korrektsioon 502
Tööikiirusel testimine ja testi kvaliteedi hindamine konveierarhitektuuriga süsteemidele 502
Laiendatud avatud platvorm usaldusväärsete meditsiiniliste sensorite jaoks 503
Tippkeskus CEBE lõpetab 503
Uudiskiri Nr 7 – 2015 503
CEBE ja e-Tervis 504
Teadus ja innovatsioon tervise teenistusse 505
Rahvusvaheline hinnang CEBE-le 506
CEBE panusest ühiskonda ja tulevikust 507
Kokkuvõte CEBE-st 508
2005–2016 511
Põlvkondade vahetus 511
Teadlase aju otsib vigu unes 512

Arvutisüsteemide uurimisest arvutitehnika instituudis *515*
Sissejuhatus *515*
Arvutisüsteemide töökindlus *515*
Keerukate digitaalsüsteemide loomine ja tootmine *516*
Teostamine *518*
Tootmine *518*
Verifitseerimine *519*
Testimine *519*
Keerukate arvutisüsteemide alane uurimistöö Tallinna Tehnikaülikoolis *520*
Rahvusvaheline koostöö *521*
Eesti sisene koostöö *522*
Teadustemaatika aktuaalsus *522*
Uurimistulemusi arvutisüsteemide sünteesi, modelleerimise ja analüüsi vallas *523*
Uurimistulemusi arvutisüsteemide testide sünteesi ja analüüsi vallast *525*
Digitaalsüsteemide veakindlus, usaldusväärsus ja diagnostika *526*
Lähiaastate teadustöö põhilised eesmärgid *527*
Kokkuvõte *529*
Europrojektid ATI noorteadlaste koordineerimisel *530*
VERTIGO (2006-08) *530*
CREDES (2009-2012) *531*
DIAMOND (2010-2012) *531*
Eestilt Euroopale *532*
BASTION (2014-2016) *533*
IMMORTAL (2015-2018) *534*
TUTORIAL (2016-2018) *535*
RESCUE (2017-2021) *535*
TTÜs valmis teadlaste ja tudengite koostööna uus digitaalne arvutikiip[14] **535**
ATI *spin-off* firma Testonica Lab **537**
Millega tegeleb Testonica *537*
Testonica Lab ja Eesti *538*
Euroopa teekaaslastest **539**
Teeradadel Euroopasse *539*
Manfred Glesner – TTÜ audoktor ja Maarjamaa risti kavaler *544*
Välisprofessuur ATI-s – Thomas Hollstein *545*
ATI noorteadlaste saavutatud auhindu **548**
2008, Gert Jervan (s. 1974), TTÜ aasta noorteadlane *550*
Artur Jutman (s. 1976). Akadeemik Boris Tamme nimeline stipendium *551*
2013, Maksim Jenihhin (s. 1981), Akadeemik Boris Tamme nimeline stipendium *552*
Professorid-seeniorid ja mentorid, kelleta ATI oleks teistsugune **554**
Andres Keevallik – kahekordne TTÜ rektor *554*
Kalle Tammemäe – IT Kolledži rektor *556*
Peeter Ellervee – ATI õppetöö guru *558*
Ahto Kalja – Eesti X-tee pioneer *561*
Margus Kruus – ATI direktor *562*
Arvutitehnika instituudi pere anno 2016 **563**
Kuidas sünteesida hägusast läbipaistvust? *563*
Teaduse tegemisest meie peres *564*
Õppetööst meie instituudis *570*
Kolleegide lühimeenutusi ja kommentaare *576*
Riigi teaduspreemia elutöö eest TTÜ arvutitehnika instituudis **579**
Arvutisüsteemide katsetamise ja diagnostika teerajaja Raimund Ubar *579*
Kaks laureaadi kõnet *580*
Margus Kruus: Lühike vaade tulevikku *582*
Gert Jervan: TTÜ struktuurireformist *583*
Tänusõnad *586*
LISAD 587
Valikuline elektronarvutite kateedri ja arvutitehnika instituudi kronoloogia 1966 - 2017 *588*
Kateedri ja instituudis töötajad aastatel 1966 - 2016 *592*
Tehnikateaduste doktoritööd *596*
Tehnikateaduste magistritööd *599*
Kiitusega lõpetanud *605*
Nimeloend *607*

Eessõna

See raamat räägib arvutitehnika instituudist, tema inimestest ja nende tööst – teaduse tegemisest ja õpetamisest – kogu selle pika aja jooksul, mil meie ülikoolis on õpetatud arvuteid.

Arvutitehnika instituudi vanust ei ole kerge määrata. Oma tänase nime sai me instituut veerand sajandit tagasi, aastal 1992, aga institutsioonina alustas ta oma eksistentsi koguni pool sajandit tagasi. 1966. aastal loodi tema eelkäija informatsioonitehnika kateeder, mis peagi aga nimetati ümber elektronarvutite kateedriks, vastavalt eriala nimetusele, mida ta profileerima hakkas. Ka seda eriala on meie ülikoolis viljeletud juba pool sajandit, algul kolm aastat automaatika kateedri tiiva all, aga siis juba alates 1969. aastast võttis ohjad kätte meie instituudi eelkäija. Seega, alates käesolevast aastast oleks meil võimalus päris ridamisi juubeleid pidada. Alata võiks kohe praegu ja seejärel veel mitu aastat juubeldada, nii enne kui pärast meie Alma Materi 100-ndat aastapäeva. Eks Tehnikaülikoolilgi ole ju olnud mitu algusaega ja mitu sama numbriga juubelit.

Selle raamatu kirjutamine saigi ette võetud just selle juubelite perioodi algust silmas pidades. Esialgseks ambitsiooniks oli – kirjutada TTÜ arvutitehnika instituudi ajalugu. Aga et 50-aastast ajalugu kirjutada, peaks kirjutaja olema ajaloolane ja peaks sulgema end aastateks arhiividesse. Ei ole arvutite inimesed ei ajaloolased ega pole neil aega ka arhiivide jaoks, sest arvutite maailmas elades ja töötades näitavad kellad vaid „ära kadunud aega".

Ometi oli entusiasm algul suur, sest poole sajandi vanuseid paberilehti oli kuhjadena, kahjuks küll süsteemita ja segamini, sest mitmed kolimised, algul Ehitajate teelt Raja tänavale ja sealt Akadeemia teele, olid oma jäljed jätnud, mis tähendas seda, et tähtsaid pabereid oli vähemaks jäänud või olid nad peitu pugenud ja ajalukku hakkasid tekkima augud.

Nii sai sellest kirjatööst lõpuks mitte aja lugu, vaid arvutitehnika instituudi lugu.

Sellest loost sai raamat, millel on palju kihte, igaühele oma – kellele meie teaduse lugu, kellele lugu sellest, kuidas oma tudengeid õpetanud oleme, või milliseid projekte meil on olnud, või kuidas on meil doktoriteks väideldud, sellest, mis on olnud enne ja mis on tulnud pärast, milline oli ennemuiste Ida ja mida võttis või juurde tõi meile Lääs, on reisikirju ja on koosolekute protokolle, on argipäeva ja on dramaatikat.

Seda raamatut ei pea lugema järjest, targem oleks isegi avada suvalisest kohast ja seejärel hüpata teise suvalisse kohta, ükskõik kas ette- või tahapoole. Heaks teejuhiks on sisukord.

Järjest lugemiseks on see raamat liiga kogukas ja „kaalukas". Aga kuidas olekski see saanud olla teisiti, sest me instituut on olnud oma tegemistes ju veelgi kaalukam. Selle kogu ja kaalu pärast ei saanudki panna kõike paberile, mida oleks soovinud, sest ei mahtunud see ja ega kõike ka teadnud. Seepärast palungi oma kolleegidelt heasoovlikku suhtumist, kui oluline on ridade vahele jäänud…

Selle raamatu struktuur on pisut ebatraditsiooniline. Jutustav stiil vaheldub autorilugudega kolleegidelt ja ka siin-seal varem avaldatud kirjutistega, milliste teksti sisse põi-

mimise eesmärgiks oli vahelduse ja autentsuse pakkumine väsitama kippuva ümberjutustuse asemele ja vahele. Paiguti võib see katkev stiil häirida selles mõttes, et võib kaduda ajavoo kulgemise taju.

Teine omapära sellel raamatul on see, et aeg ei voola lehekülgede numbrivoolus ühtlaselt numbrite järgi, vaid katkeb peatükkidega, sest iga peatükk on mõeldud kas uue kursi võtmiseks või siis katkenud ajavoolus uue loo alustamiseks. Need lood on aga tinginud tihti seda, et tuleb kas seisatuda või hoopiski tagasi minna, et uue pilguga kadunud ajale peale vaadata.

See raamat on kirjutatud kaldu ja koguni kahes suunas: kaldu teaduse ja kaldu kirjutaja suunas.

Kuid ülikool, millest järgnevalt juttu hakkab tulema, peabki olema kaldu teaduse suunas, sest muidu oleks ta lihtsalt kool. Ja iga kirjutatu peakski olema kaldu kirjutaja suunas, sest muidu poleks kusagilt võtta hoogu kriitikaks ja diskussioonide alustamiseks. Aga just nendest algab ka teadus. Sõnasse „ülikool" ei ole kirjutatud sisse ei teadust ega teadmist, aga ilma nendeta ei oleks ka kooli, sest teadusest sünnib teadmine ja teadmisest see, mida õppida ja mida õpetada.

Et kiirus liiga suureks ei kasvaks mööda kaldu olevaid radasid vuhisedes, on kolleegid appi tulnud, rajale suunamärke seadnud ja kirjutajale seltsi pakkunud. Nii ongi siin ja seal kirjutaja äkki „ära kadunud" ja jutuotsa tema kolleegid üle võtnud. Ilma selleta oleksid need 50 verstaposti liiga väsitavad.

Kindlasti oleks see raamat parem tulnud, kui oleks rohkem aega olnud. Aga võib-olla ka halvem, sest täiuslikkus ei stimuleeri enam millekski.

Olekski nüüd kõik lõpetuseks ehk õigemini vastupidi – lugemise alustuseks.

Detsember 2016

1966–1976
Kateedri sünnilugu ja lapsepõlv

Veel 50-ndate keskel ei õpetatud Eestis elektroonikat, rääkimata arvutustehnikast, kuigi elektronarvutid olid maailmas olemas juba rohkem kui kümnendi. Ka elektrikute ettevalmistamiseks ei eksisteerinud TPI-s veel oma teaduskonda, elektrotehnika teaduskond loodi alles 1965. aastal.

1956. aastal omistati Nobeli füüsikapreemia Ameerika teadlastele **John Bardeen**'ile, **Walter Brattain**'ile ja **William Shockley**'le transistori leiutamise eest 1947. aastal. Kaks aastat pärast selle avastuse Nobeli preemiaga tunnustamist, 1958. aastal avati TPI-s uus eriala *automaatika, telemehaanika ja elektrimõõtetehnika seadmed* vastloodud energeetikateaduskonnas. Sellel erialal alustati ka elektroonika ainete õpetamist.

Arvutite õpetamiseni jõuti veelgi hiljem, siis kui 1961. a. alustati loengutega aines *matemaatilised masinad ja programmeerimine*. Arvutite eriala avati TPI-s alles 1966. aastal. Võeti vastu esimesed 50 üliõpilast. Kuid eriala sündis siiski ilma oma kateedrita, esialgu hakkas seda profileerima automaatika kateeder. Samal aastal loodi dots. **Ustus Aguri** initsiatiivil informatsioonitehnika kateeder ning võeti vastu esimene kontingent üliõpilasi *informatsiooni töötluse* erialale. Järgneva kolme aasta jooksul selgus aga selle eriala perspektiivitus, eriala suleti ja üliõpilasi hakati profileerima ümber arvutite erialale. Automaatikute hoole all olnud arvutite eriala üliõpilased toodi samuti üle U. Aguri poolt juhitava informatsioonitehnika kateedri juurde. Seega sai arvutite eriala oma kateedri, mis jäi aga esialgu kandma võõrast nime.

Arvuti maaletoomisest

Elektronarvutustehnika sündi iseseisva tehnikaharuna tähistab esimese elektronlampidel töötava arvuti ENIAC lõplik valmimine Pennsylvania Ülikoolis USA-s 1946. a. (ehitamist alustati 1943. a.). Alates sellest ajast kuni tänaseni on elektronarvutustehnika arenenud üha kasvavas tempos.

Esimeseks Nõukogude Liidus ehitatud arvutiks oli MESM, mille ehitamist alustati aastal 1948 ja mis valmis 1951. a. akadeemik **S. A. Lebedevi** juhtimisel. Samal aastal anti ekspluatatsiooni ka suur arvuti M-1, mis ehitati Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis. Järgmisel aastal lasti käiku MESM-i järeltulija suur arvuti BESM-1 ja veel aasta hiljem ka elektronarvuti STRELA. Need olid kõik unikaalsed üksikeksemplaridena ehitatud arvutid. Seeriaviisiline elektronarvutite tootmine algas NSV Liidus 50-ndate aastate lõpul Ural-tüüpi arvutitega, millele järgnes 60-ndate aastate algul MINSK-tüüpi arvutite seeria ja pisut hiljem üleminek ühtsusseeria (ES) arvutitele.

50-ndad olid arvutustehnika ärkamisaeg, mis puudutas kümnendi lõpul ka Eestit. 1958. a. asutas dots. **Hanno Sillamaa** TPI-s automaatika kateedri, millest hiljem võrsusid üksteise järel kõik infotehnoloogia riistvaraga seotud TPI struktuuriüksused: elektroonika kateeder (1962, **Paul Plakk**), elektronarvutite kateeder (1966, **Ustus Agur**) ja

raadiotehnika kateeder (1966, **Vladimir Heinrichsen**). Nii oli TPI valmis arvutite tulekuks Eestisse. Tõsi, Tartu Riiklik Ülikool jõudis ette. TRÜ tellis endale seeriaarvuti URAL-1, mis monteeriti kokku 1959. a. ja mis läks käiku sama aasta lõpul. See daatum tähistab ka TRÜ arvutuskeskuse rajamist. Ka programmeerimisega hakati seal juba tegelema noorte matemaatikute ettevalmistamisega uueks ajastuks **Ülo Kaasiku** ja **Leo Võhandu** eestvedamisel. 50-ndate keskel rajas professor **Aleksander Voldek**, hilisem akadeemik, Elektrotehnika Teadusliku Uurimise Instituudi (rahvakeeles nimetatud ka Pirita tee instituudiks). Sinna koondas ta väga andekate noorte inimeste meeskonna ja suunas neist mitmed 1959. aastal Moskvasse, Leningradi ja Kiievisse end arvutustehnika alal täiendama – tuntud arvutiteadlasi nagu Andri Ariste (hilisem TPI elektronarvutite kateedri õppejõud), **Kalju Tinn** ja **Harry Tani** (hilisemad kateedri koostööpartnerid tööstusest), akadeemik **Enn Tõugu** jt. Eesti NSV Teaduste Akadeemia kaudu olid Moskvas ja Leningradis aspirantuuris **Boris Tamm** (hilisem TTÜ rektor), **Kalju Leppik**, **Mark Sinisoo** ja **Raul Tavast** – mehed, kes on aastaid andnud tooni Küberneetika Instituudile ja arvutustehnika arengule Eestis.

Arvuti maaletoomise idee tuli aga akadeemik **Nikolai Alumäelt**, kes juhtis mehaanikasektorit Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis. Akadeemik armastas rõhutada, et „tõelisel teadlasel tuleb tegeleda üksnes keeruliste ülesannetega, siis on, mille peale mõelda“. Ja selleks, et lahendada oma üheksanda järgu diferentsiaalvõrrandeid, ei piisanud talle numbrilistest käsiarvutitest „Felix“. Nii tuligi akad. Alumäele pähe, et ka Eesti peaks saama oma elektronarvutid, millest maailmas räägiti üha rohkem ja rohkem.

1960. aasta 1. septembril loodi Nõukogude Liidu esimene Küberneetika Instituut, sama aasta lõpul valmis ka esimene Eestis ehitatud arvuti M-3. Arvutit ehitama hakati aga juba paar aastat varem Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudi mehaanikasektoris, mille juhataja akad. Alumäe organiseeris töögrupi, kes pidi uurima võimalusi instituuti arvuti saamiseks.

Arvuti M-3 ehitajate brigaad tehasest RET enne arvuti sisseõnnistamist. Vasakult: Arno Puskar, Harri Mägi, Heino Ivask, Ants Koort, Arnold Reitsakas, Anna Reitsakas ja Voldemar Raag.

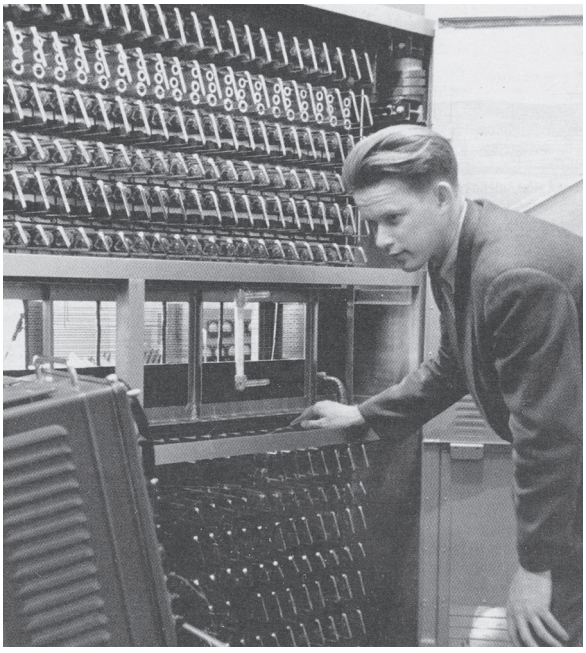
Töögrupil õnnestus hankida Moskvast arvuti M-3 kirjelduse valguskoopia koos piltidega, kus aga puudusid peamised skeemid, mis olid küll kirjeldatud tekstina. Muu kirjanduse toetusel püüdsid **Mark Sinisoo** ja **Henn Salum** neid puuduvaid skeeme taastada. Kogu selle uurimistöö tulemusena veenduti, et otstarbekam oleks minna erinevat teed kui see, mis oli valitud Tartu Ülikoolis. Seal oli lepitud järjestikulise toimega, kuid see-eest juba tootmises oleva ja valmilt saadava arvutiga URAL, mille taktisagedus määras arvuti võimaliku töökiiruse jäigalt. Akad. Alumäe loodud töögrupi teadurid otsustasid arvuti M-3 kasuks, kuna selles võis saavutada hilisemat kiiruse juurdekasvu üksikute sõlmede töö parandamisega sõltumatult teistest sõlmedest.

Arvuti tootmiseks vajalik dokumentatsioon sai loodud. Aga kus seda tootma hakata? Langes ära ka lootus, et arvutite tehas tuleb Tallinna. See ehitati Minskisse.

Arvuti valmisehitamiseks esitati tellimus raadiotehasele Punane RET. Tellimuse täitmiseks moodustati RET-i konstrueerimisbüroo inseneridest grupp eesotsas **Arnold Reitsakas**'ega (hilisem Küberneetika Instituudi arvutuskeskuse juhataja ja ENSV teeneline insener). Gruppi kuulusid veel **Mark Sinisoo**, **Henn Salum** (hilisemad Küberneetika Instituudi teadurid) ja ka TPI elektronarvutite kateedri hilisem õppejõud **Harri Mägi**.

Lisaks kõrgele üleliidulisele tunnustusele autasustati Arnold Reitsakast 1996. a. postuumselt maailmakuulsa auhinnaga *Computer Pioneer Award.*[1] See pole küll päris Nobeli preemia, kuid IKT spetsialistide nimekiri, kes on selle auhinna saanud, on niivõrd auväärne, et uhkemat oleks ITK alal raske kokku panna. Mõned näited laureaatidest: 1985. a. – **John McCarthy** (keele LISP ja tänapäevase tehisintellekti looja), 1987 – **Niklaus E. Wirth** (keele Pascal looja), 1994 – **Dennis M. Ritchie** (C-keele ja UNIX operatsioonisüsteemi looja), 2008 – **Edward J. McCluskey** (digitaalsüsteemide disaini autoriteet läbi poole sajandi), **Carl A. Petri** (Petri võrkude isa), 2014 - **Linus Torvalds** …

Arvuti M-3 valmis kahe aastaga. See oli lamparvuti, mille operatiivmäluks oli aeglane magnettrummel, mistõttu arvuti töökiirus oli ainult 30 operatsiooni sekundis. Kuid juba aasta pärast, kui aeglane magnettrummel asendati ferriitmäluga, tõusis töökiirus 3000 operatsioonini sekundis. Võrdluseks tuleks lisada, et tänane arvutite töökiirus ulatub petafloppidesse ehk siis rohkem kui 10^{15} operatsiooni sekundis. Arvuti M-3 baasil organiseeriti 1960. a. lõpul TA Küberneetika Instituudi arvutuskeskus.



Küberneetika Instituudi insener Heiki Sumre häälestamas arvutit M-3. Arvuti tagantvaade: ülal aritmeetika-, all juhtseade, 1-bitised summaatori moodulid on käepidemete abil väljatõmmatavad.

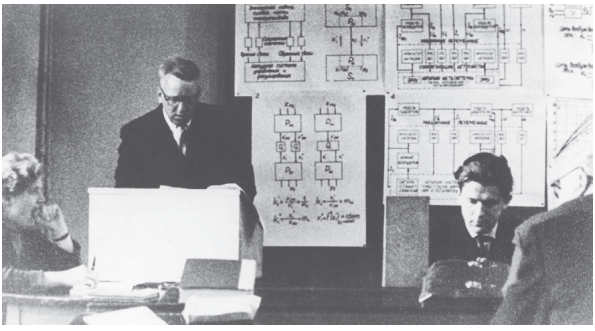
Kuid juba 1963. aastaks olid vabariigi esimese kahe mainitud arvutuskeskuse arvutid tehniliselt vananenud ja need vahetati moodsamate vastu välja. Küberneetika Instituudi AK sai teise põlvkonna arvuti Minsk-2, TRÜ arvutuskeskus aga arvuti URAL-4.

Kuni 60-ndate aastate keskpaigani oli arvutite hulga juurdekasv Eestis suhteliselt aeglane. 1966. a. oli Eestis kõigest 6 elektronarvutit. Arvutite arv aga kiirenes oluliselt 60-ndate aastate lõpul. Kui 1968. a. oli meil 9 arvutit, siis 1970. a. juba 23. Edasi kiire areng jätkus – 1972. a. oli arvuteid juba 37, 1975. a. lõpus aga umbes 70.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_Pioneer_Award

Arvutitehnika eriala sünd TPI-s

1950-ndate aastate lõpul, seoses elektronarvutite plahvatusliku arenguga, kerkis üles arvutustehnika spetsialistide ettevalmistamise probleem. Nii hakkas Eestis praegune akadeemik, tolleaegne dotsent **Ülo Kaasik** Tartu Ülikooli matemaatika üliõpilastele õpetama elektronarvuteid juba aastal 1959. Samal aastal luges ta seda kursust ka TA Energeetika Instituudi teadlastele ja inseneridele. Pisut hiljem 1961. a. alustati õppeaine *Matemaatilised masinad ja programmeerimine* õpetamist TPI-s dots. **Ants Särevi** juhatatud matemaatika kateedris, mida pakuti ülikooli kõikide teaduskondade üliõpilastele (Ants Särev juhtis TPI matemaatika kateedrit aastatel 1953-66). Järgmisel aastal korraldati kateedri õppejõududele arvutitehnikaalase kvalifikatsiooni tõstmise kursused, mida juhendasid TA Küberneetika Instituudi arvutuskeskuse juhataja **Arnold Reitsakas** ja Tartu Ülikooli haridusega matemaatik-programmist **Malle Kotli**, kes mõned aastad hiljem oli välja töötanud esimese programmeerimiskeele Eestis MALGOL-i koos translaatoriga arvuti Minsk-2 jaoks.



Ustus Agur oma väitekirja kaitsmas

1960-ndate algul hakati NSV Liidu juhtivate tehnikakõrgkoolide juures läbi viima elektrotehnika erialade inseneride ümberkvalifitseerimiskursusi arvutustehnika alal. Esimesi Eesti arvutiinsenere valmistatigi ette sarnastel kaheaastastel kursustel, mis avati 1959. a. Leningradi Polütehnilise Instituudi juures. Seal said oma esimese arvutustehnikaalase ettevalmistuse Eesti sellised hilisemad arvutustehnika korüfeed ja tunnustatud spetsialistid nagu akadeemik **Enn Tõugu** ja **Harry Tani** (Küberneetika Instituudi juurde loodud Arvutustehnika Erikonstrueerimisbüroo direktor, surn. 2007).

Enn Tõugu kirjutab oma mälestustes[2]: *„Õppisime inseneride ja teadlaste käe all, kes olid konstrueerinud ja programmeerinud esimesed kompuutrid rakettide juhtimiseks, tuumapommide arvutamiseks, satelliitide trajektooride arvutamiseks. See oli põnev aeg. Arvutid täiustusid väga kiiresti. Vanu ja kuulsaid eksperte sel alal polnud – kõik olid noored, tähtsad olid vaid konkreetsed tulemused.“*

Arvutispetsialistide ettevalmistamiseks vabariigile on kasutatud ka sihtaspirantuuri. Kateedri esimestest õppejõududest on sihtaspirantuuris õppinud V.I. Uljanovi nimelises Leningradi Elektrotehnika Instituudis (LETI) **Harri Mägi** (1960-63) ja **Kalle Talvik** (1968-71), Moskva Baumani nim. Tehnikaülikoolis (MVTU) **Raimund Ubar** (1968-71), Moskva Energeetika Instituudis (MEI) **Mihkel Maran** (1973-77) ja Leningradi Optika ja Täppismehaanika Instituudis (LITMO) **Leo Siem** (1978-81).

Arvutustehnikat käsitlevaid õppeaineid hakati NSV Liidu tehnikakõrgkoolides, sealhulgas ka TPI-s, lugema juba 1960-ndate aastate alguses. Kursus „Matemaatilised masinad ja programmeerimine“ oli mõeldud mitte-elektrotehnilistele erialadele ja selle lu-

[2] Margus Maidla. „Teaduste Akadeemia – Eesti kollektiivne aju. Akadeemik Enn Tõugu“, Tallinn, 2014.

Andri Ariste oli esimene õppejõud, kes alustas arvutite õpetamist TPI-s (1961)

gemine tehti TPI-s esialgu ülesandeks matemaatika kateedrile. 1961/62. õ.-a. hakkas seda kursust tunnitasu alusel lugema **Andri Ariste**. 1963/64. õ.-a. arvati matemaatika kateedri koosseisu assistendina äsja aspirantuuri lõpetanud **Harri Mägi**, kes hakkas ka mainitud ainet lugema. 1964/65. õ.-a. moodustati arvutustehnika kateeder, kuhu eraldati matemaatika kateedrist arvutustehnika- ja programmeerimisega tegelevad õppejõud ning osa matemaatika õppejõude koos vastava koormusega. Kateedri juhatajaks valiti dots. **Karl Allik**. Arvutustehnika kateedrist sai hiljem informatsioonitöötluse kateeder.

Elektrotehnilistele erialadele hakati juba 60-ndate aastate alguses lugema kursust „Arvutustehnika alused", mis oli tunduvalt mahukam ja sügavam kursus kui „Matemaatilised masinad ja programmeerimine" ning see lülitati automaatika kateedri koormusesse. Esimestel aastatel lugesid seda tunnitasu alusel dotsendid **Andri Ariste**, **Harry Tani** ja **Otto Pikkov**.

Arvestades arvutustehnika arengu kiirenemise prognoose 60-ndate aastate lõpuks, hakati kõikjal Nõukogude Liidus, sealhulgas ka Eestis astuma samme elektronarvuteid teenindava kaadri ettevamistamiseks, mille tulemusena avati 1966. a. TPI-s elektronarvutite eriala (kood 0608). Valdavas enamikus Nõukogude Liidu kõrgemates tehnikaõppeasutustes, sealhulgas ka Riia ja Kaunase Polütehnilistes Instituutides avati arvutite eriala tunduvalt varem.

Elektronarvutite kateedri sünd

60-ndad olid aastad, kui kogu maailmas hakkasid ülikoolide juures tekkima arvutiõpetusele profileeruvad teaduskonnad ja kateedrid. Nii näiteks moodustati Stanfordi Ülikoolis USA-s 1965. aasta algul juba terve arvutite teaduskond matemaatika teaduskonna juurde kuuluvate vastavate profiilidega kateedrite baasil.

Arvestades arvutiõpetuse osakaalu kiiret kasvu matemaatika kateedris, osutus otstarbekaks luua ka TPI juurde 1964. a. iseseisev arvutustehnika kateeder, mille juhatajaks määrati dotsent **Karl Allik.** Uus kateeder moodustati sisuliselt matemaatika kateedri pooldumise teel, kusjuures eralduvasse arvutustehnika kateedrisse asusid need õppejõud, kes olid spetsialiseerunud arvutustehnika, programmeerimise ja majandusmatemaatika õpetamisele. Peagi pooldus aga ka arvutustehnika kateeder, kuna kateedri õppetöös eristusid üha selgemini kaks eraldi suunda – riistvara (arvutite aparatuurne tehniline pool) ja tarkvara (arvutite programmeerimise pool). 1966. a. jagatigi niisiis arvutustehnika kateeder kaheks: informatsioonitehnika kateedriks, mida hakkas juhatama dots. **Ustus Agur** ja mis hakkas kuuluma energeetika teaduskonda, ning arvutusmatemaatika kateedriks, mis

jäi majandusteaduskonda ning mida asus juhtima Tartu Ülikoolist TPI-sse tööle tulnud dots. **Leo Võhandu**.

Olgu märgitud, et arvutusmatemaatika kateeder eksisteeris 1973. aastani, mil töömahtude kasvu tõttu toimus järjekordne pooldumine, kus uute kateedritena asutati infotöötluse kateeder ja majandusmatemaatika kateeder.

Arvutustehnika kateedri värske juhataja Leo Võhandu püüdis hakata aktiivselt edendama oma kateedris ka arvutitealast õpetust. Näiteks tegi ta ettepaneku moodustada kateedri juurde elektronarvutite labor ja informatsiooni vahetamise labor, mis on ära märgitud kateedri koosoleku protokollis 28. dets. 1966. a. Kateedri koosseisus luges automaatikutele arvutustehnika üldkursust **Harri Mägi**. Kateedri kirjas olid ka kaks tunnitasulist õppejõudu – Harry Tani ja Andri Ariste, kes lugesid elektrotehnika teaduskonna üliõpilastele arvutustehnika erikursusi. Suurem osa kateedri õppejõududest tegeles aga matemaatika õpetamisega.

Arvutustehnika õpetamise osas kujunes 1966. aasta murranguliseks. Alates 1. septembrist sai TPI rikkamaks kahe uue eriala võrra. Nimelt alustati õppetööd erialadel *arvutustehnika seadmed* (0608) ja *informatsiooni töötlemise automatiseerimine* (0640) Sellega pandi alus arvutiinseneride ettevalmistamisele Eestis. Eesmärgiks oli koolitada spetsialiste üha kasvava arvutipargi tehniliseks hooldamiseks ja vajadusel ka uute arvutite konstrueerimiseks. Vastuvõtt uutele erialadele aga ei tähendanud veel vastavate kateedrite moodustamist. Arvutustehnika eriala avamisest kuni omanimelise kateedri loomiseni kulus veel mõni hea aasta.

Eriala 0608 inseneride profileerimise oli valmis enda peale võtma dots. **Hanno Sillamaa** juhitav automaatika ja telemehaanika kateeder, eriala 0640 spetsialistide profileerimiseks otsustati aga luua uus kateeder esialgse nimetusega arvutus- ja informatsiooniseadmete kateeder, mis hiljem nimetati ümber informatsioonitehnika kateedriks. Uue kateedri saamislugu kujunes tegelikult palju keerulisemaks, kui esialgu paistis.

Eriala 0640 avamise initsiaatoriks oli **Ustus Agur**, tööstuse elektrifitseerimise kateedri dotsent, kes oli alustanud selleks vajaliku organiseerimistööga juba 1965. aastal. 1966. aasta märtsis tegigi energeetika teaduskonna nõukogu rektoraadile ettepaneku uue eriala profileerimiseks luua kateeder.

Kateedri juhatajaks soovitati dotsent Ustus Agurit ennast. Kateedri esialgse koosseisu pidid moodustama tööstuselektroonika kateedrist ületoodavad elektrotehnika õppejõud dots.. **Volf Mezburd**, v. õp. **Viktor Kesküla**, ass. **Ants Kõiv**, ass. **E. Külm**, ass. **Rein Võrk** ning arvutustehnika kateedrist v. õp. Harri Mägi, kes siiski viidi üle hoopis automaatika kateedrisse, mis pidi esialgsete plaanide järgi hakkama profileerima arvutustehnika seadmete eriala 0608.

Kuna uus eriala 0640 võis anda õppejõududele erialast õppekoormust alles 3-4 aasta pärast, aga kateedri olemasolu ilma õppetööta ei olnud mõeldav, siis tehti uuele kateedrile esialgu ülesandeks üldelektrotehnika õpetamine TPI kõigile „mitte-elektrilistele“ erialadele. Varem oli see koormus olnud elektrotehnika teoreetiliste aluste kateedri kanda. Vastavalt komplekteeriti ka uue kateedri koosseis, kus alguses puudusid nii infotöötluse kui ka arvutispetsialistid.

Kateedri elektrotehnika alane ajutine koormus kujunes esialgu koguni nii suureks, et tuli konkursi korras valida veel kaks vanemõpetajat, kelleks said TPI diplomiga elektro-

tehnika insenerid **Igor Davõdov** ja **Vahur Mägi**. Labori juhatajana töötas kateedris **Jaak Raja** ja sekretärina **Marve Liiv**.

Äsja organiseeritud kateeder paiknes Kalinini tn. 82 õppekorpuses, kust ta seoses II õppekorpuse valmimisega 1967. a. kolis Mustamäele. Kateedri kasutada oli kaks ruumi elektrotehnika alaste laborite läbiviimiseks, kaks ruumi erialaste laborite läbiviimiseks, üks õppejõudude ruum, kateedrijuhataja ruum, laborijuhataja ja sekretäri ruum ning töökoda. Seoses TPI arvutuskeskuse asutamisega 1968. a. ja selle järkjärgulise laienemisega võeti kateedrilt ära kolm ruumi, mille asemele küll lisandusid kaks uut ruumi.

Aastatel 1966-69 tehti nii automaatika kui ka informatsioonitehnika kateedrites intensiivselt ettevalmistusi õppetööks uutel erialadel – hangiti õppeprogramme, metoodilisi materjale, kavandati laboratoorset baasi ja külastati kogemuste omandamiseks vastavaid kateedreid teistes ülikoolides ja õppeasutustes.

Informatsioonitehnika eriala ja kateedri organiseerimise käigust andis Ustus Agur teaduskonna nõukogus aru 1966 a. oktoobris. Tema sõnul olid uue eriala profiili määratlemisega NSV Liidu Kõrghariduse Ministeeriumis tekkinud raskused, kuna selleks ajaks oli saanud selgeks, et peamisteks infotöötlusvahenditeks pikemas perspektiivis saavad elektronarvutid ja seetõttu eriala 0608 kõrvale eriala 0640 avamine hakkas muutuma mõttetuks. Komandeeringutel NSVL-i kõrgkoolidesse, kus samuti üritati avada eriala 0640, veendus **Ustus Agur** peagi, et üleliidulises plaanis selle eriala avamisest midagi välja ei tule. Teaduskonnas oli aga vastav kateeder juba moodustatud. Oli jõudnud kätte aeg otsustada, millist eriala siis ikkagi tuleks selles kateedris hakata õpetama.

Eriala 0640 arendamise perspektiivitus TPI-s tulenes peamiselt kahest põhjusest:

- vajadus uue eriala spetsialistide järele vabariigis oli suhteliselt väike ja
- üleliidulises ulatuses polnud selge uue eriala profiil: suurtes raskustes olid selles küsimuses nii profileerivad kateedrid kui ka üleliiduline metoodikakomisjon.

Samal ajal kasvas aga väga kiiresti arvutite hulk nii Nõukogude Liidus tervikuna kui ka Eestis. Ilmnes väga suur vajadus just eriala 0608 inseneride järele. Võttes seda kõike arvesse, otsustas Eesti NSV Kõrg- ja Keskhariduse Ministeerium viia 1969. a. eriala 0640 õpperühmad üle erialale 0608, eriala profileerimine aga anda informatsioonitehnika kateedrile.

Seega oli 1966. a. loodud informatsioonitehnika kateedrist saanud tegelikult arvutustehnika kateeder. Esialgse nimetuse all eksisteeris kateeder siiski kuni 1972. aastani, mil ta nimetati ümber elektronarvutite kateedriks.

70-ndate algust iseloomustas TPI-s üldse turbulentne organisatsiooniliste (ja muidugi ka sisuliste) muutuste rohkus elektri erialade õpetamisel. Viimane aspekt tulenes eeskätt elektril põhinevate tehnoloogiate tormilisest arengust.

Kuni 1958. aastani valmistati elektrikuid ette vaid kahel erialal: *elektrijaamad*, *-võrgud ja -süsteemid* ning *tööstusettevõtete ja -seadmete elektrivarustus*. Ja sedagi mehaanikateaduskonnas. 1958. aastal loodi energeetikateaduskond, kus seejärel õpetati kõiki elektri erialasid. Alates 1961. a. lõpetasid selles teaduskonnas esimesed „nõrgavoolu" haridusega *automaatika ja telemehaanika* insenerid. 1964. a. jagunes teaduskond kaheks: energeetikateaduskonnaks, mille lõpetasid automaatikainsenerid ja elektrotehnikateaduskonnaks. Alates järgmisest aastast koondusid nõrgavoolu erialad elektrotehnikateaduskonda, mil lõpetasid ka esimesed insenerid erialadel *raadioaparatuuri konstrueerimine ja tehnoloogia*

ning *tööstuselektroonika*. 1968. aastal lõpetasid esimesed insenerid *raadiotehnika* erialal ja alates 1971. aastast hakkasid lõpetama ka *elektronarvutite* eriala üliõpilased.

1974. aastal nimetati elektrotehnikateaduskond ümber elektroautomaatikateaduskonnaks, seejärel 1980. aastal lihtsalt automaatikateaduskonnaks, milline nimetus jäi püsima 15 aastaks.

70-ndate algul kuulusid elektrotehnikateaduskonda neli nn. „nõrgavoolu kateedrit". 1958. a. loodud automaatika kateeder (juh. **Hanno Sillamaa**, hiljem **Wilhelm Kracht**) profileeris erialasid *automaatika ja telemehaanika* (alates 1958) ning *automatiseeritud juhtimissüsteemid* (alates 1971). Elektroonika kateeder (juh. **Paul Plakk**, hiljem **Otto Pikkov**) oli loodud aastal 1962 profileerimaks *tööstuselektroonika* eriala, millele vastuvõtt oli alanud 1961. aastal. Raadiotehnika kateeder (juh. **Vladimir Heinrichsen**), mis loodi 1966 a., profileeris eriala *raadiotehnika* (vastuvõtu algusega 1960). Samal aastal loodi ka informatsioonitehnika kateeder, hilisema nimetusega elektronarvutite kateeder (juh. Ustus Agur), mis profileeris alates 1969. aastast *elektronarvutite* eriala ja millele vastuvõtt oli alanud 1966.

Ustus Aguri hüvastijätt sõpradega

Informatsioonitehnika kateedri juhataja dots. **Ustus Agur** oli kuni 1966. aastani töötanud dotsendina TPI elektriajamite kateedris. Seega ulatuvad elektronarvutite kateedri ja arvutustehnika arengu juured Tallinna Tehnikaülikoolis koguni elektriajamite valdkonda. Ustus Aguri lahkumine kolleegide hulgast kõrgemale (kateedrijuhataja) positsioonile ei kulgenudki päris valutult, mida ilmekalt kajastab spetsiaalselt tema elektriajamite kateedrist lahkumisele pühendatud koosolek[3]:

Väljavõte

Tallinna Polütehnilise Instituudi Elektriajamite kateedri koosoleku protokollist Nr.2, 10.sept.1966

Kohal:

Ajam	esindaja J.Laugi
Automaatreguleerimin	esindaja J.Tomson
Automaatjuhtimine	esindaja H.Tiismus
Elektrifitseerimine	esindaja E.Risthein
Aparaadid	esindaja V.Loigom
Kõik muud mehanismid	esindaja J.Lootus
Eksperimentaalosakond	esindaja H.Sakkos

»Kõigi siinkohal üles loetletud auväärt tööstusautomaatika ja elektrifitseerimise ala atribuutide esindajate koosolek arutas **Elektriajamite** esindaja Ustus Aguri personaalküsimust.

Arutlusel selgus, et dots. U. Agur oli hakanud juba mõni aeg tagasi salakesi tegelema uue ketserliku teadusega, mida **Automaatreguleerimine** teadis kutsutavat informatsioonitehnikaks.

Ajam teadis öelda, et sellele hukatuslikule teele viis arutluse alust küsimuse uurimine, kust **informatsiooni**, ehk siis kust midagi saada on (olgu siis naisele koduse majapidamise riista või ajamite laboratooriumile ülidefitsiitseid seadmeid).

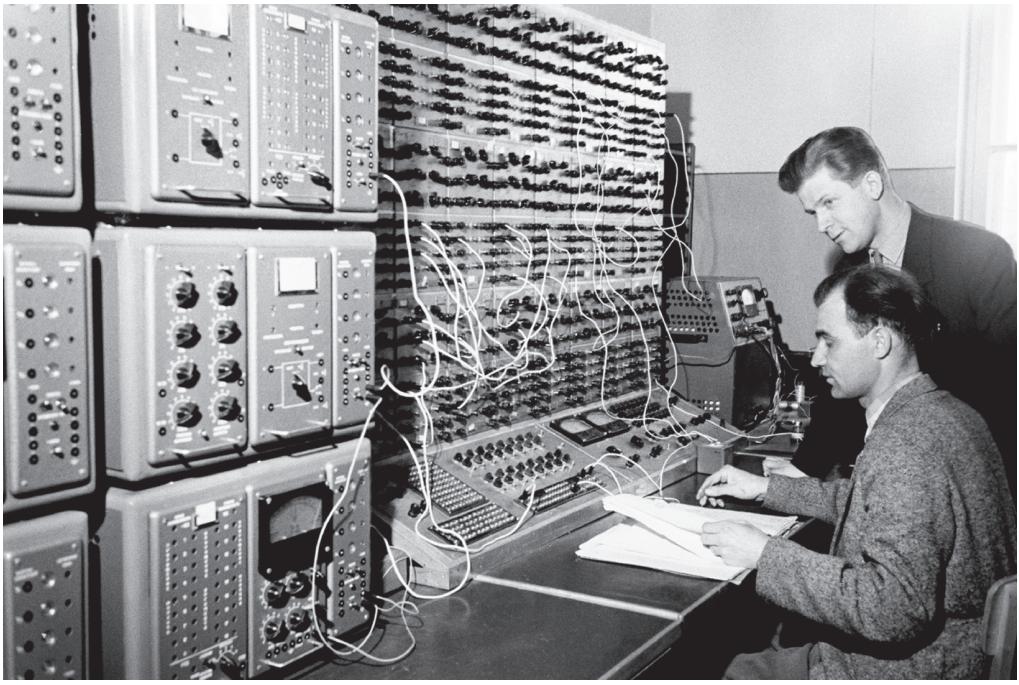
Ustus Agur, kui väga põhjalik inimene, tegeles selle väärteadusega suure järjekindlusega ning vaata, tagajärjed ep jäänud tulemata. Kõrgemad ülemused, olles pimestatud Aguri libedast olekust ning uskudes mõnede vastutustundeta inimeste avaldusi, võtsid nõuks ka laiemat üldsust sel alal harima hakata. Kõige ülemaks selle töö peale TPI-s määratigi kõnealune.

Koosolek otsustas oma arvamist selles küsimuses avaldada ning peale pikka läbikaalumist võttis vastu otsuse.

[3] Raamistatud tekstis ära toodud 50 aasta tagune koosoleku protokoll on jäädvustatud hinnalisele **papüüruserullile**, mis on määratud igavesele säilitamisele arvutite kateedri dokumendiarhiivis. Tähele tuleks panna seda, **kes** koosolekul osalevad, mitte dots. J. Laugis või dots. J. Tomson, vaid dots. Ajam ja dots. Automaatreguleerimine…

1. Kuna kõrgemal pool paremini teatakse, mida teha ning et jõud on ikka tugevam kui inimene, siis otsest vastuhakku korraldada ei saa; kui võimalik, siis igal juhul ja alati Aguri tegudele ja ettevõtmistele jalg taha panna.
2. Kuna nimetatud teadus, mida informatsioonitehnikaks kutsutakse, ei ole laiade rahvamasside väljamõeldis, vaid mõningate inimeste vastutustundetu sepitsus, soovitada U. Agurile igaks juhuks alles hoida vanad elektriajamite traditsioonid, sest kes teab, ehk võib neid veel vaja minna, kui ülemuste silmad lahti lähevad.
3. Uue eriala jüngrite väljakoolitamise juures U. Aguril uurida, ehk läheb kusagil ka vaja auväärseid elektrotehnika veterane, kas kive tõstma, rinda pistma ehk muidu raha eest rabelema.

Ärakiri õige [Kohalviibijate allkirjad].“



U. Agur ja H. Lelumees viimase poolt ehitatud analoogarvuti juures. Siin on U. Agur veel elektriajamite kateedri õppejõud energeetika teaduskonnas.

Kateedri töö käivitub

Uue kateedri missioon

Elektronarvutite eriala õpetamisel hakati silmas pidama kahte suunda: arvutite projekteerimine ja nende rakendamine tööstuses ning majanduses. Mõlemas suunas oli vaja insenere, kes tunneksid põhjalikult arvuti ehitust ja tehnilisi omadusi. Kõige otsesemat vajadust arvutiinseneride järele tundsid arvutuskeskused, milliseid tekkis neil aastail nagu seeni pärast vihma. Igas arvutuskeskuses tuli tegeleda uute seadmete monteerimise ja tööle rakendamisega ning eriti nende ümberehitamisega, eri liiki seadmete üksteisega kohandamisega ning lisaseadmete ehitamisega, mis nõudis põhjalikke teadmisi arvutite konstrueerimisest.

Otsest vajadust elektronarvutite projekteerimise järele Eestis ei tuntud, sest meil puudus arvuteid valmistav tööstus. Ometi hakkas ka Eestis tekkima nišš selleski valdkonnas, kuna mitmetes uurimisasutustes juba tegeldi spetsiaalarvutite konstrueerimisega.

Arvutit peeti suhteliselt töökindlaks seadmeks, kuid ometi tuli ka arvutite puhul aegajalt ette aparatuuri rikkeid ning uute seadmete ehitamisel tuli anda garantiisid nende korrasolekule. Rikete avastamine ja kõrvaldamine nii keerukates seadmetes nagu arvuti, nõuab aga väga kõrget kvalifikatsiooni. Seega oli olemas vajadus nii arvutite hooldusinseneride järele, kes valdaksid teadmisi testimise ja rikete diagnostika valdkonnas, kui ka arvutisüsteemide projekteerijate järele.

Arvutustehnika inseneride vajadus kasvas kiiresti ka informatsioonisüsteemide loomisega ja kasutamisega seotud ettevõtetes. Sellises süsteemis kujutas arvuti endast vaid ühte kompleksi osa, kuhu kuulusid veel andmete sisestamise ja väljastamisega seotud terminalid. Näiteks, ettevõtete tootmisprotsesside juhtimisel tuli koguda andmeid otse tsehhides, neid edastada sideliinide kaudu arvutisse, seal töödelda ja siis saata vajalikku kohta. Automatiseeritud informatsioonisüsteemide loomine oli kiiresti arenev töövaldkond, kus vajati arvutustehnika insenere, kes tundsid hästi nii arvutite riist- kui ka tarkvara.

Selline oli taustsüsteem, mis määras uue loodava kateedri missiooni, õpetamise kontseptsioone ja teadus- ning arendustöö suundi.

Õppejõudude kaader

Vanemõpetaja Vahur Mägi laboris (paremalt teine)

Sisuliselt algas arvutustehnika inseneride erialane väljaõpe erialaainete õpetamisega 1969/70. õppeaastal, mil 1966. a. vastuvõetud üliõpilased olid jõudnud neljandale kursusele. Kateedri erialaõppejõudude koosseis oli alles kujunemise järgus. Põhikohaga oli esialgu vaid kolm õppejõudu: kateedri juhataja dotsent **Ustus Agur,** vanemõpetaja **Harri Mägi** ja assistent **Gennadi Raus**, automaatika eriala äsjane lõpetanu. Erialaaineid hakkasid lugema veel poole kohaga dotsendi kohusetäitjana **Andri Ariste** ja tunnitasulise õppejõuna **Harry Tani**. 1969. aastal vahetus laborijuhataja: **Jaak Raja** siirdus Orgstroi arvutuskeskuse peainseneriks, kus ta peagi edutati juhatajaks. Tema asemale tuli Eino Mäesalu.

1970/71. õ.-a. kevadsemestriks oli kateedrisse suunatud veel Moskva Baumani nim. Tehnikaülikoolis aspirantuuri lõpetav **Raimund Ubar** ja Leningradi Elektrotehnika Instituudis samuti aspirantuuri lõpetav **Kalle Talvik**. Kateedris tuli hakata rajama erialast laboratoorset baasi ja alustada erialast teaduslikku tööd.

Kateedri koosseisu kuulusid endiselt ka õppejõud dots. **Volf Mezburd**, v.õp. **Rein Võrk**, v.õp. **Igor Davõdov**, v.õp. **Vahur Mägi** ja ass. **Ants Kõiv**, kes jätkasid kateedri asutamisel 1966. a. alustatud üldelektrotehnika õpetamist.

60.-70. aastatel oli terves ülikoolis teravalt päevakorral õppejõudude kvalifikatsiooni tõstmise küsimus, kuna üleliiduline kõrghariduse ministeerium nõudis meilt teadusliku kraadiga õppejõudude arvu olulist suurendamist, ähvardades vastasel juhul suunata meile „vennaliku" abi korras õppejõududeks umbkeelseid teaduste kandidaate ja doktoreid, mis tähendanuks õppetöö muutumist venekeelseks.

Õpetamise säilitamine eestikeelsena nõudis instituudi juhtkonnalt teatavaid pingutusi. Eriti tõsine oli olukord äsja avatud uutel erialadel, nagu seda oli ka arvutustehnika. Kohapeal puudusid kõrge kvalifikatsiooniga teadlased (doktorid, professorid, kel oleks olnud õigus juhendada neil erialadel kandidaadi kraadi taotlejaid. Seepärast tuli juhendajaid otsida Nõukogude Liidu juhtivatest kõrgkoolidest ja suunata noori õppejõude sinna kaug-õppe- või sihtaspirantuuri.

Õppejõudude umbkeelseks muutumist aitas eesti ülikoolis vältida siiski see aspekt, et enamasti komplekteeriti õpperühmi erialadele nii eesti- kui ka venekeelsetena. Seega õppejõud pidid olema võimelised lugema oma loengukursusi nii eesti kui ka vene keeles. Hakkama said sellega enamasti ikka vaid eestlased. Palgata ühe ja sama loengukursuse pidamiseks nii eesti- kui ka venekeelset õppejõudu ei osutunud juba majanduslikult otstarbekaks.

14. novembril 1971. a. kaitses v.õp. **Harri Mägi** Leningradis, LETI arvutustehnika nõukogu ees edukalt väitekirja tehnikateaduste kandidaadi kraadi taotlemiseks.

Kateedri teravdatud tähelepanu alla võeti aga **Kalle Talviku** ja **Igor Davõdovi** väitekirjade valmimise käik, mistõttu tuli neil korduvalt kateedri koosolekutel oma sellealasest tööst aru anda. Õppejõududele, kellel väitekiri oli lõpetamata, avaldas rektoraat survet sel teel, et keelas neil osa võtta lepingulisest uurimistööst, mis võimaldanuks põhipalgale lisa teenida.

Teadusala prorektoril prof. **Heino Lepiksonil** aga oli tavaks väitekirja lõpetamisega venitajaid regulaarselt enda juurde „kohvile" kutsuda, et neid tõsiselt manitseda tööd kiiremini lõpetama. Harri Mägi meenutab: „Olin seda kõike seitsme aasta jooksul ka omal nahal kogenud."

Esimene arvutiinseneride lend sai kateedrist peamiselt riistvarale orienteeritud ettevalmistuse, sedagi vaid teooria tasemel, kuna praktikumide läbiviimiseks puudus laborite sisustus. Tuli alustada tühjalt kohalt. Ruumid laborite tarvis küll eraldati, kuid laboritööde makette tuli hakata oma jõududega projekteerima ja ehitama. Arvuti elementide, sõlmede ja plokkide projekteerimine laborimakettide jaoks raskusi ei valmistanud. Selle töö tegid õppejõudude juhendamisel ära vanemate kursuste üliõpilased õppeplaanides ettenähtud kursuseprojektidena. Makettide ehitamisega aga sattusime raskustesse, instituudi varustusosakond ei suutnud vajalikke detaile ja skeemikomponente piisaval hulgal hankida. Esiteks olid selleks otstarbeks ettenähtud summad väikesed ning teiseks ei olnudki neid kusagilt osta. Nõukogude riigis kehtiv plaanimajandus oli komplekteeritavad tooted rangelt limiteerinud ning need arvuteid tootvate tehaste vahel viimase kui detailini ära jaotanud.

Kateedri õppejõududel oli läbi raskuste omandatud arvutite eriala õpetamise esmane kogemus olemas. Siiski tuli meil rööbiti aktiivse auditoorse tööga igaks järgmiseks loenguks pidevalt uut materjali leida venekeelsest erialakirjandusest ja see kõigepealt enesele selgeks teha, sest ükski meist polnud arvutispetsialistiks õppinud. Kõik me olime

stuudiumi läbinud analoogtehnika ajastul ja saanud, kes raadio-, kes elektrotehnika-, kes elektroonika-, kes automaatikainseneri diplomi. Nüüd tuli hakata iseõppimise teel ümber kvalifitseeruma digitaaltehnika valdkonda s.o. pidevalt muutuvate suuruste (pingete, voolude jne.) valdkonnast diskreetsete, numbriliselt (digitaalselt) esitatud suuruste valdkonda.

1971/72. õ.-a. tugevnes kateeder selle võrra, et tööle asusid kateedri juures arvutite eriala esimese lennu parimad lõpetajad **Tiit Altma**, **Toomas Plaks** ja **Agu Viilup**.

Järgmiseks õppeaastaks kasvas kateedri erialane koormus juba sedavõrd, et mitte-erialast koormust üldelektrotehnika näol ei olnud kateedrile enam tarvis. Üldelektrotehnika õpetamine kolis nüüd koos õppejõudude **V. Mežburdi**, **I. Davõdovi**, **R. Võrgu** ja **A. Kõivuga** elektrotehnika aluste kateedrisse. **V. Mägi** siirdus tööle TPI Teadusliku uurimise sektorisse, **G. Raus** ja **N. Puolakainen** aga lahkusid erialasele tööle väljaspool ülikooli.

Kateeder kontsentreerus nüüdsest peale ainult erialase õppetöö läbiviimiseks järgmises koosseisus: kateedri juhataja dots. **U. Agur**, dots. kt. **H. Mägi**, vanemõpetajad **R. Ubar** ja **K. Talvik**, assistendid Tiit Altma ja **M. Jänes** (1972. a. lõpetaja). TU sektori inseneridena töötasid T. Plaks, A. Viilup ja **K. Grigorjeva** (1972. a. lõpetaja).

Aastatel 1972-75 oli kateedri koosseisus 6-7 õppejõudu, 4-5 inimest abipersonalina ja 4-5 TU sektori inseneri. Õppejõudude osas püsis koosseis sellisena kuni 1978. a.-ni. Põhjuseks oli siin vastuvõtu ajutine vähendamine erialal 0608. Kui üliõpilaste vastuvõtt 1966. a. oli erialal 0608 kaks rühma (50 üliõpilast) ja erialal 0640 üks rühm (25 üliõpilast), seega hilisemat erialade ühendamist arvestades kokku kolm rühma, siis 1967. ja 1968. a. oli vastuvõtt kaks rühma ja edaspidi koguni ainult üks rühm. Erandiks oli 1976. õ.-a., kui täiendav arvutite eriala vene õppekeelega rühm moodustati raadiotehnika eriala konkursil mittesissesaanutest (!). Arvutiinseneride kasvavat vajadust hakati tunnetama jälle 1979. a, kui avati uuesti vastuvõtt teise päevasesse (vene õppekeelega) õpperühma.

Õhtuse õppevormi organiseerimisega erialal 0608 tehti algust 1972. a. kui kuulutati välja vastuvõtt eesti õppekeelega õhtuse teaduskonna õpperühma. Väikese soovijate arvu tõttu muudeti vastuvõtu käigus siiski õppekeelt ning formeeriti vene õppekeelega rühm teistele erialadele mittepääsenud soovijatest. Rühma õppedistsipliin ja õppeedukus osutusid nõrkadeks, mistõttu teisel õppeaastal rühm likvideeriti. Sama juhtus ka 1973. a. jääkidest komplekteeritud rühmaga. 1974. a. kuulutati välja vastuvõtt juba elektronarvutite erialal õhtusesse vene õppekeelega rühma, millise 1980. a. lõpetasid edukalt 10 üliõpilast. Järgneval viiel aastal oli lõpetajaid keskmiselt 40% õppimaasunutest.

Õppekavast

Tolleaegne viieaastane inseneriõpe hõlmas peale üldteoreetiliste ainete, nagu matemaatika, füüsika ja keemia, ka kõigile tehnikaerialadele kohustuslikke põhiaineid, ilma milleta inseneriharidust ette ei kujutatud. Aastate 1966-1969 õppekavades olid sellisteks aineteks aparaadiehituse tehnoloogia, teoreetiline mehaanika, metallide ja teiste konstruktsioonimaterjalide tehnoloogia, masinate ja mehhanismide teooria, kujutav geomeetria ja tehniline joonestamine, elektrotehnika teoreetilised alused.

Elektrotehnilistel erialadel, sealhulgas ka elektronarvutite erialal lisandusid neile spetsiifilised ained, nagu elektri- ja raadiomõõtmised, elektrilised mikromasinad, elektroo-

nika- ja pooljuhtelemendid, elektromagnettehnika, impulsstehnika, automaatjuhtimine, informatsiooniteooria alused.

Teoreetilisele ja üldtehnilisele ettevalmistusele tugines arvutialane õpe, mis koosnes järgmistest õppeinetest: digitaalarvutite aritmeetika ja loogika alused, digitaalarvutid, programmeerimisteooria alused ja algoritmilised keeled, analoogarvutid, arvutustehnika eriküsimused, arvutustehnika seadmete konstrueerimine, arvutustehnika seadmete töökindlus, informatsioonitehnika.

Järgnevatel aastatel viidi selles õppeplaanis küll sisse mitmeid muudatusi. Nii näiteks jäeti 1973. aastal nendest ainete plokkidest ära *aparaadiehituse tehnoloogia*, *masinate ja mehhanismide teooria*, *elektrilised mikromasinad* ning *analoogarvutid*. Juurde aga tulid sellised matemaatilised ained nagu *funktsionaalanalüüs*, *tõenäosusteooria ja matemaatiline statistika*, *arvutusmeetodid* ning *diferentsiaalvõrrandid ja variatsioonarvutus*.

Erialaainete loetelust järeldub, et nende nimetused olid küllaltki üldised, hõlmates kõike, mis antud aine valdkonda kuulus. Näiteks, digitaalarvutite kursuse programmi kuulusid loogikaelemendid, aritmeetikaseade, mäluseadmed ja perifeerseadmed. Loomulikult ei olnud võimalik ühe kursuse piires käsitleda üksikuid seadmeid piisava põhjalikkusega, mistõttu ettekujutus neist jäi üliõpilastele sageli pinnapealseks. Alustada tuli loogikaelementide tööpõhimõtete selgitamisest skeemitehnika tasemel, kasutades elektrotehnikas ja elektroonikas omandatud teadmisi. Sellele järgnes loogikaelementidest koosnevate summaatorite, loendurite, registrite jne., ühise nimetusega operatsioonelementide tundmaõppimine. Nii loogika- kui operatsioonelemente valmistati tol ajal kas väikese või keskmise integratsiooniastmega mikrolülitustena (integraalskeemidena), millest omakorda ehitati arvuti aritmeetika-, mälu- ja juhtseadmeid.

Möödunud sajandi 60-ndate teise poole edusammud kiirelt areneva pooljuhtelektroonika valdkonnas tõestasid, et transistoritele loogikaelementide skeemikomponentidena alternatiivi ei ole, kuna need olid juba siis kümnete ja sadade kaupa valmistatavad ühisele kristallile integraalskeemina. Tol ajal aga ei olnud veel lõplikult selge, milline transistori tüüp selleks otstarbeks oleks sobivam, kas bipolaarne või unipolaarne. Ka loogikaelementide skeemitehnikas valitses lahenduste paljusus. Läänes toodeti nii TL-, TTL-, ESL- ja IIL-loogikaelemente bipolaartransistoritel, kui ka nMOP-, pMOP- ja kMOP- loogikaelemente unipolaartransistoritel. Nõukogude Liidus tegeldi samal ajal palavikuliselt läänes väljatöötatud ja standardiseeritud elementide kopeerimise ning tootmisse juurutamisega. Kuna kestis „külm sõda“, olid integraallülitused strateegiline kaup, mida Lääs Nõukogude Liidule ei müünud, siis tuli neid lääne prototüüpide järgi muudetud markeeringuga mitteametlikult kohapeal tootma hakata. Meil õnnestus 1970. aasta paiku keerulisi teid pidi hankida esimesed kopeeritud TTL loogikaelemendid laborimakettide ehitamiseks. Paralleelselt arendati edasi kõiki ülalloetletud tüüpi loogikaelemente ja uuriti võrdlevalt nende kasutamisvõimalusi pikemas perspektiivis. Seepärast tuli ka õppeprogrammi lülitada erinevate elementide tüüpide põhjalik tundmaõppimine, mis ei mahtunud enam ühte õppeainesse koos digitaalarvutite üldisema struktuuri käsitlemisega.

Seega on arusaadav, miks 1971. a. kehtima hakanud uues üleliidulises õppeplaanis olid iseseisvate ainetena digitaalarvutite elemendid ja digitaalarvutite teooria. Õppeplaani sisu tervikuna oli muutunud oluliselt konkreetsemaks. Aastatel 1971-1975 vastuvõetud üliõpilased said erialase ettevalmistuse järgmiste õppeainete baasil: digitaalarvutite ele-

mendid (**H. Mägi**), digitaalarvutite teooria (**R. Ubar**), elektronarvutite perifeerseadmed (**K. Talvik**), spetsiaalarvutid (K. Talvik), informatsioonitehnika (K. Talvik), digitaalarvutite aritmeetika ja loogika (**A. Ariste**), arvutite konstrueerimine ja tehnoloogia (A. Ariste), infosüsteemid ja kompleksid (**U. Agur**), tehnilise küberneetika alused (U. Agur), informaatika (U. Agur).

Peale mainitud ainete oli elektronarvutite kateedri ülesandeks ka arvutustehnika üldkursuse lugemine elektroautomaatika teaduskonna raadiotehnika ja tööstuselektroonika erialadele.

Lisaks sellele planeeriti kateedri koormusesse majandusteaduskonna infotöötluse erialale (TI) loetavad ained – elektrotehnika-elektroonika-impulsstehnika ja infoesitusvahendid, milles tuli käsitleda ka tehnopsühholoogia (vene keelest otse tõlgituna – inseneripsühholoogia) aluseid. Kuna nende ridade kirjutajal oli ainult üks erialaaine lugeda, siis „õnnistati" mind viimati mainitud kolme aine loengutega. Repertuaar oli mul seega üsna lai, kuid erilisi raskusi ei valmistanud, välja arvatud tehnopsühholoogia, mis nõudis uude valdkonda sukeldumist ja seetõttu omajagu lisaaega ettevalmistamiseks.

Üleliiduline arvutustehnika kateedrijuhatajate seminar Leningradis aastal 1974. Esireas Ustus Agur, paremal Lauri Einer.

Nagu näha ülaltoodud õpetatavate ainete loetelust, jagunes kateedri loengukoormus viie õppejõu vahel. Neist Andri Ariste töötas tol ajal põhikohaga ETUI-s (Elektrotehnika Teadusliku Uurimise Instituut) seal loomisel olnud juhtimisarvuti STEM peakonstruktorina. Kateedris oli ta ametis vaid veerandkohaga ja luges arvutite projekteerimist ja konstrueerimist käsitlevaid aineid.

Esimene lend

Pärast 1970/71. õppeaasta talvist eksamisessiooni jõudsid elektronarvutite eriala esimese vastuvõtu üliõpilased diplomandi seisusesse. Sügissemestri vältel oli enamus neist juba valinud endale diplomiprojekti teemad ja töötasid nende kallal. Edukamad neist, **Arvo Toomsalu**, **Olev Räisa**, **Aleksander Astanovski** ja **Toomas Plaks** valmistusid oma töö teemal esinema Riias Balti vabariikide ÜTÜ (üliõpilaste teaduslik ühing) konverentsil.

Eriala esimese lennu lõpetajate projektide koostamine ja sellele järgnenud kaitsmised olid edukad: hindele „väga hea" kaitses 13, hindele „hea" – 15 ja hindele „rahuldav" – 5 diplomandi. Lennu 33-st lõpetanust said diplomi *cum laude*: **Tiit Altma**, **Mihkel Maran**, Toomas Plaks, **Peeter Tooming**, **Ülle Valtna**, **Agu Viilup**.

Viie aasta eest kahele erialale vastu võetud 75 üliõpilasest (erialale 0608 eesti rühm ja vene rühm kokku 50 üliõpilasega ning erialale 0640 eesti rühm 25 üliõpilasega) lõpetas erialade ühendamise järel arvutite eriala 0608 vaid 33 üliõpilast, mis teeb sisseastunutest

Vasakul: Arvutipäev 1975. Esireas vasakult (1. lennu lõpetajad): Peeter Tooming, Olev Räisa (3), Agu Viilup (5), Heljo Saar, Reet Oruste; Paremal: arvutipäev 1975. Esireas vasakult arvutiteaduse pioneer Arnold Reitsakas, automaatika teaduskonna õppejõud Jaan Võrk, Lauri Einer, Otto Pikkov. Kolmandas reas paremalt: Ksenja Grigorjeva 2. lennust (2), Toomas Plaks (3), Tiit Altma (4) 1. lennust.

44 %. Lõpetanute suhteliselt madal protsent oli osaliselt tingitud eriala 0640 ebamäärasusest ja selle sulgemisest pärast kolmandat kursust. Mitmed üliõpilased olid pettunud, et ei saanud valitud erialal õppida ning loobusid edasistest õpingutest. Peamine põhjus oli siiski madal õppeedukus ja sellest tingitud väljalangevus.

Esimese vastuvõtu üliõpilased, kes alustasid automaatika kateedri juures ja lõpetasid informatsioonitehnika kateedri juures, pidid erialaainetes läbi ajama ilma laboratoorse praktikumita, kuna tolleaegse plaanimajanduse tekitatud defitsiidi ja limiitide tingimustes ei olnud lihtsalt võimalik laborite sisustust nii kiiresti hankida. Ja nagu peagi selgus, mingisuguseid laboritööde makette arvutustehnika õpetamiseks Nõukogude Liidus tsentraliseeritult ei toodetud ja neid tuli kõrgkoolidel endil valmistama hakata. Praktilise töö puudujääke püüdsime kompenseerida ekskursioonidega arvutuskeskustesse ja projekteerimisbüroodesse.

Alustamise raskustele vaatamata saatis kateeder ellu esimese lennu noori arvutispetsialiste, kes asusid tööle vabariigi arvutuskeskustes, uurimisasutustes ja konstrueerimisbüroodes ning tuginedes õppetöös omandatud teoreetilistele teadmistele, hakkasid omandama tegeliku praktilise töö kogemusi.

Pärast esimese lõpetanute lennu ellulähetamist kevadel 1971. a. alustas kateeder 1971/72. õppeaastat märksa tugevama eriala-õppejõudude koosseisuga, kuhu kuulusid kateedri juhataja dots. **Ustus Agur,** v.õp. **Harri Mägi**, äsja Moskvas kandidaadikraadi kaitsnud v.õp. **Raimund Ubar**, TPI automaatika eriala lõpetanud ass. **Gennadi Raus**, ass. **N. Pualakainen** ja Leningradis aspirantuuri lõpetanud ass. **Kalle Talvik**.

Üldelektrotehnika õpetamine jätkus koosseisuga dots. **Vulf Mezburd**, dots. **Rein Võrk**, v.õp. **Vahur Mägi**, v.õp. **Igor Davõdov**, ass. **Ako Pärlist**. Lahkusid ass. **Ants Kõiv** ja labori juhataja **Eino Mäesalu**, kes siirdus Metallosnabsbõti arvutuskeskusesse ekspluatatsiooniosakonna juhatajaks. Uueks laborijuhatajaks sai 1971. a. sügisest **Nigul Piht**, sekretärina jätkas **Marve Liiv** ja inseneri kohale asus esimese lennu lõpetanu **Aleksander Kronk**.

Kateedri argipäev

Töö korraldamisest

Kateeder töötas „plaanimajanduse meetodil", tööplaane kinnitati ja nende täitmist jälgiti regulaarselt vähemalt kord kuus toimuvatel kateedri koosolekutel. Kateedri tegevuskava,

Arvutipäev 1983. Kuulajad esireas vasakult kateedri õppejõud dots. Harri Mägi (1), dots. Raimund Ubar (2), dots. Andri Ariste (4).

näiteks 1972. aastal, nägi välja personaalsete ülesannetena töötada välja õppeainete programme ja laboritöid (vt. tabel):

Initsiatiiv ja tööplaanide esialgsed visandid tulid kateedrijuhatajalt. Kateedri koosolekutel, mida hoolsalt protokolliti, tuli anda ülevaateid tööplaanide täitmise käigust ja plaanist mahajääjaid noomiti.

Koosolekutel anti kateedri liikmetele jooksvaid tööülesandeid aga ka mitmesuguseid ühiskondlikke kohustusi, määrati õppejõudusid mitmesugustesse teaduskonna komisjonidesse (nt. kateedrite töö vastastikuseks regulaarseks kontrolliks), analüüsiti eksamisessioonide tulemusi, tehti kokkuvõtteid tootmispraktikatest ja analüüsiti nende efektiivsust, korraldati ajurünnakuid diplomitöö teemade leidmiseks, anti ülevaateid teadustöö tulemustest. Erilise luubi all oli rühmajuhendajate pedagoogiline ja kasvatustöö. Selleks otstarbeks kutsuti regulaarselt kateedri koosolekutele rühmakolmikuid, kes pidid koos oma juhendajaga aru andma õppetöö edukusest oma rühmas ja ühiskondlike ülesannete täitmisest.

Nr	Õppejõud	1972 a. kevad	1972. a. sügis
1	Ustus Agur	Informaatika aineprogramm Tehn. küberneetika alused, 2 laborit (koostööpartner: Talvik) Andmetöötlusvahendid, 3 laborit	Andmetöötlusvahendid, 2 laborit
2	Harri Mägi	Digitaalarvutite elemendid, aineprogramm Digitaalarvutite elemendid, 5 laborit (koostööpartnerid: Kronk, Talvik) Digitaalarvutite elemendid, projekt Arvutustehnika aineprogramm uuendada Arvutustehnika, 4 laborit	Digitaalarvutite elemendid, 4 laborit (koostöopartnerid: Kronk, Jänes) Arvutustehnika, 3 laborit (koostööpartner: Kronk)
3	Raimund Ubar	Digitaalarvutid II osa, aineprogramm Digitaalarvutite teooria, aineprogramm Programmeerimine (LI eriala), programm Programmeerimine (üldaine), programm	Digitaalarvutite teooria, 5 laborit (koostööpartner: Jänes)
4	Kalle Talvik	Perifeerseadmed, programm Perifeerseadmed, 2 laborit (Kronk) Infotehnika, programm	Perifeerseadmed, projekt Infoedastus, programm Infoedastus, 2 laborit (Kron
5	Gennadi Raus	Arvuti NAIRI kirjeldus, rotaprint	Aspirantuuri astumine
6	Andri Ariste	Arvutite loogika ja aritmeetika, programm	DA konstrueerimine ja tehnol.

Näitliku ülevaate kateedri tööst, probleemidest ja päevamuredest annab alljärgnev väljavõte ühest kateedri koosoleku eelteatest kateedri õppejõududele.

Elektronarvutite kateedri järjekordne koosolek toimub teisipäeval, 28. novembril 1972. a. kell 13.30 õppejõudude ruumis. Päevakorras:

1. Olukord III kursuse erialarühmas – rühmakolmiku osavõtul. Palun rühmajuhendajal R. Ubaril eelnevalt rühmaga läbi arutada olukord ja ette valmistada rühmavanema poolt ettekantav 5-10 min. informatsioon olukorrast rühmas, puudutades tingimata järgmisi küsimusi: õppeedukus, möödunud sessi tulemused ja võlgnevused, väljalangevus ja selle põhjused, õppedistsipliin, rühma kollektiivsus ja ühine tegevus, koormatus õppe- ja ühiskondliku tööga, raskused ja probleemid, soovid ja ettepanekud. Samuti ette valmistada kirjalik kokkuvõte sellest jutust protokolli jaoks (*ca* 1 - 1,5 lk.).
2. Tootmispraktika kokkuvõtted. Palun **R. Ubaril** ja **K. Talvikul** valmistada ette kirjalik materjal.
3. Ettevalmistustest praktikale suunamiseks V kursusel ja diplomiprojekteerimiseks – palun Talvikut informeerida asjade käigust seoses muutustega tähtaegades.
4. Õppetöö käigust õhtuses ja kaugõppeteaduskonnas. Palun **H. Mägi** esitada lühiülevaade õppetöö käigust nendes teaduskondades, võttes vaatluse alla mitte konkreetse õppeedukuse, vaid üldisemat laadi probleemid: varustatus õppemetoodiliste materjalidega, õppeplaanid ja programmid ning võib-olla vajadus nende muutmiseks, töökorralduse iseärasused jms.
5. Kateedri ülesannetest seoses partei ja valitsuse määrusega kõrgema kooli töö edasisest täiustamisest. Jooksvad küsimused. Kateedrijuhataja.

Kateedri õppejõududel tuli regulaarselt osaleda mitmetes ülikooli komisjonides. Kõikides TPI teaduskondades toimus regulaarne kateedrite töö vastastikune kontroll ja hindamine. Nii näiteks määras dekaan 1973/74. õ.-a. kevadsemestril metoodikatöö kontrollimiseks elektrotehnika aluste ja raadiotehnika kateedrites komisjoni, mille esimeheks oli dots. **L. Einer** ja liikmeteks **R. Ubar** ja **J. Järvik**. Kontrollimise kava tuli kooskõlastada dekaaniga nädal aega enne kontrolli läbiviimist.

TPI metoodikanõukogus oli 3 sektsiooni: õppetöö korraldamise, õppemeetodite ja vahendite ning üliõpilaskonna uurimise sektsioonid. Õppemeetodite sektsioonis oli 5 töögruppi: audiovisuaalsete vahendite, õppekirjanduse, õppemeetodite propaganda, õppeprotsessi matematiseerimise ja arvutustehnika juurutamise töögrupid. Propaganda gruppi juhtis dots. **U. Agur**, arvutustehnika gruppi, mida juhtis ass. **A. Kreevald**, kuulus 3 liiget: **A. Jaanson**, **E. Saareste** (arvutuskeskusest) ja R. Ubar.

Arvutustehnika juurutamise töögrupi plaan nägi 1973/74. õ.-a. ette elektronarvutite kasutamise analüüsi TPI õppeprotsessis, arvutussaali kasutamise analüüsi, metoodiliste juhendmaterjalide olemasolu ja vajaduse väljaselgitamist ning loomulikult ettepanekute tegemist arvutussaali kasutamise paremaks korraldamiseks. Otseselt kateedrit puudutavaks ülesandeks oli R. Ubaril analüüsida õppevahendite olemasolu elektronarvuteid ning programmeerimist käsitletavates ainetes. Töögrupp viis läbi ankeetküsitluse, milles tuli osaleda kõikidel õppejõududel üle terve ülikooli.

1973. a. algul andis rektor välja käskkirja selgitustöö tegemiseks asutustes ja ettevõtetes ülikoolis olevate õppimisvõimaluste kohta, mis hõlmas ülikoolipoolseid konsultatsioone ning kus eesmärgiks oli ühtlasi juba varakult välja selgitada potentsiaalseid õppidasoovijaid. Selgitustöö läbiviimiseks määrati ülikooli sidepidajate grupp, kuhu elektrotehnika teaduskonnast kuulusid **Erik Hansen** raadiotehnika kateedrist (Sideministeerium, tehas „Punane Ret“ ja organisatsioon pk. 12), Raimund Ubar elektronarvutite kateedrist (organisatsioon pk. 130, M. I. Kalinini nim. Elektrotehnika Tehas ja H. Pöögelmanni nim. Raadiotehnika Tehas).

Laborite väljatöötamisest

Osa õppeaineid oli võimalik toetada laboritööde väljatöötamisega, kasutades juba olemasolevaid aparatuurseid vahendeid või arvuti tarkvara. Niisugusteks laboritöödeks olid näiteks reaalse arvuti aritmeetikaseadme töö uurimine, arvuti tsentraaljuhtseadme töö uurimine, perifeerseadmete töö uurimine jne. Osa laborite läbiviimiseks oli võimalus kasutada ka näiteks arvutuskeskuses olevat tarkvara mitmesuguste simuleerimisülesannete lahendamiseks.

Õppeaineteks, kus aga puudusid esialgu võimalused laborite läbiviimiseks, olid elektronarvutite elemendid ja digitaalarvutite teooria ja projekteerimine. Siin võtsid kateedri õppejõud koos labori inseneridega endale ülesandeks spetsiaalsete laborimakettide projekteerimise ja valmistamise. Selleks tuli kõigepealt välja töötada laboritööde üldine kontseptsioon: laboritööde temaatika ja laborite läbiviimiseks vajalikud seadmed.

Laboritööde temaatika jagati siin kolme plokki:

Plokk 1. Digitaalarvutite operatsioonseadmete (juhtautomaatide) loogikaline projekteerimine ette antud integraallülituste baasil ning nende maketeerimine (2-3 tööd).

Plokk 2. Digitaalarvutite struktuurprojekteerimine ette antud protsessori komponentide (ALU, registrite plokk, pinumälu jne.) ja nõutava käsusüsteemi raames; mikroprogrammide koostamine, salvestamine ja käsusüsteemi katsetamine maketil (2-3 tööd).

Plokk 3. Tutvumine masinprojekteerimise printsiipidega ja digitaallülituste diagnostikaga. Skeemide modelleerimine ja testide genereerimine universaalarvutil (olemasolevate programmisüsteemidega arvutitel Minsk-32 ja EC-1020), skeemide diagnostika laboris (2 tööd).

Laborite läbiviimiseks kirjeldatud temaatikas seati eesmärgiks välja töötada ja valmistada:

Plokk 1. Makett pistikupesadega meelevaldsete digitaallülituste koostamiseks ja lihtne indikatsioonitabloo.

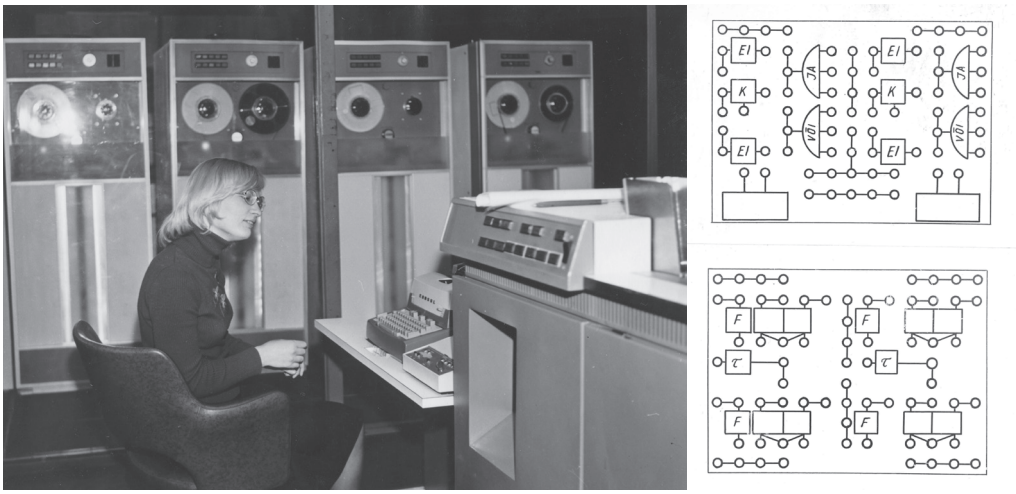
Plokk 2. Ühissiiniga protsessor ilma programmimäluta; RAM, mida kasutatakse püsimäluna (koostatud mikroprogrammi salvestamiseks); RAM põhimäluna; perfolindi riider info salvestamiseks RAM-idesse; indikatsioonitabloo protsessori teatud registrite indikatsiooniks või keerukam kuvar.

Plokk 3. Programmisüsteem digitaalsüsteemide modelleerimiseks (seostati Peeter Kitsniku aspirantuuri temaatikaga); programmisüsteem testide genereerimiseks (seostati Mari Plaki aspirantuuri temaatikaga); makett pistikupesadega meelevaldse diagnostikaobjekti koostamiseks. Perspektiivi võeti lihtne perfolindi poolt juhitav automaattester.

Kogu laborite arendustöö lõpptulemuseks kujunes välja järgmine laboritööde loetelu, mille jaoks töötati välja juhendid ja mida hakati läbi viima kateedris terve rea õppeainete puhul, mis haarasid nii arvutite teooriat, arhitektuuri, elemente ja seadmeid, seadmete projekteerimist ning diagnostikat:

- arvuti operatsioonautomaatide süntees (I- M- ja IM-automaadid) – 3 tööd;
- juhtseadmed loenduri ja dešifraatori või nihkeregistri baasil – 2 tööd;
- juhtautomaadid jäiga loogikaga (Moore'i ja Mealy automaadid) – 2 tööd;
- juhtautomaat programmeeritava loogikaga;
- digitaalarvuti skeemide töö modelleerimine arvutitel Minsk-32 või EC-1020;
- digitaalskeemide testide süntees ja analüüs ning rikete diagnostika – 3 tööd.

Laborite väljatöötamise protsessis osalesid ka tudengid ja osa sellest tegevusest oli seotud nii teoreetilise uurimistööga kateedris kui ka konkreetsete rakenduste loomisega lepingute raames tööstusele.



Vasakul: arvutuskeskus 70-ndate keskel. Paremal: kõige esimeste laboris kasutatavate makettide esipaneelil olid sellised kleebised. Iga kleebise taga oli mingi loogikaelement või triger, pistikutega varustatud juhtmete abil võis neid ühendada loogikaskeemiks, mille käitumist mõõdeti ja jälgiti. Hõbedaga kaetud pistikud kulusid ruttu ja tegid maketi ebatöökindlaks.

Arvutuskeskuse kasutamisest

Arvutite kasutamiseks (õppetöös, teaduslikus uurimistöös, automatiseeritud infosüsteemis) kehtisid õppejõududele vastav kord ja eeskiri. Kasutamist korraldas ja vahendas arvutuskeskuse dispetšerteenistus, mille tööd suunas ja kontrollis arvutuskeskuse nõukogu. Arvutite kasutamise organisatsiooniliseks aluseks oli „tellija-täitja suhete" põhimõte.

Arvutite kasutamisel oli ette nähtud kaks töörežiimi:

- operaatori režiim (Minsk-22, Minsk-32 I vahetuses (kell 8.00-17.00), EC-1020 kõik vahetused);
- iseteeninduse režiim (ainult arvutid Minsk-22 ja Minsk-32 II ja III vahetuses).

Töö organiseerimisel arvutuskeskuses eristati töid ja ülesandeid. Ülesandeks loeti mistahes ühekordset masina kasutamist. Tööks loeti kõik need ülesanded kokku, mida üks tellija (kateeder, lepingugrupp) lahendas mingi pikema ajavahemiku (semester, lepingu kehtimise aja) jooksul. Iga töö kohta oli avatud arvestuskaart.

Väljaspool operaatoriaega lubati kogenud tarbijatel töötada iseseisvalt arvutitel Minsk-32. Üliõpilastel ei lubatud töötada arvutil ajavahemikul kella 22.00-07-00-ni. Keskuse ülekoormatuse puhul reguleeriti arvuti kasutamist kinnistatud prioriteetide alusel niisuguses järjekorras:

(1) programmeerimise õpetamise ülesanded,

(2) kursuse- ja diplomitööd või -projektid, ÕUT (õppeuurimistöö), ÜTÜ (üliõpilaste teadusühing),

(3) riigieelarveline uurimistöö,

(4) lepinguline uurimistöö, AJS ja arvutuskeskuse tööd.

Tolleaegset töökultuuri, tegevuste prioriteete ja arvutustehnika koormamise põhimõtteid iseloomustab hästi järgmine arvutite kasutamise koormatuse norme semestris esitav tabel lk 30.

Nr	Tööde ja ülesannete liigid	Minsk-22	Minsk-32	EC-1020
1	Programmeerimise õpetamine	1000	500	300
2	Kursuse ja diplomitööd, ÕUT, ÜTÜ (kokku/ühele kateedrile)	1000/25	200/5	400/10
3	Spetsiaalne erialane väljaõpe	-	100	100
	eriala TI (infotöötlus)	-	100	100
	eriala LS (juhtimissüsteemid)			
4	Riigieelarveline uurimistöö(kokku/ühele kateedrile)	500/10	500/10	1000/20
5	Lepinguline uurimistöö	3000	1500	1000
6	AJS ja arvutuskeskuse tööd	500	2500	500

Prioriteete arvutuskeskuse koormamisel iseloomustab ka selline lõbus fragment ühes juhendkirjas, mis saadeti kateedrijuhatajatele 18. oktoobril 1972. a. TPI õppe-metoodikavalitsuselt:

„Seoses arvutussaali töö organiseerimisega palun juurde lisatud vormi kohaselt andmeid Teie kateedri õppetöös vajaliku arvutustehnika ja arvutusmahtude kohta. Palun mitte näidata arvutustöid, mida on otstarbekohane teostada arvutuslükatiga.“

Rühmajuhendamisest ja kasvatustööst

Rühmajuhendaja rolli, tema ülesannetesse ja nende täitmise kvaliteedi kontrolli suhtuti nii 70-ndatel kui 80-ndatel väga tõsiselt, seejuures kõikidel tasanditel – nii kateedrijuhataja kui ka dekaani poolt parteiorganisatsiooni pedantsel koordineerimisel.

Oli palju pabereid – juhendeid, käskkirju, tsirkulaare ja päevakäske, mis puudutasid üksnes kasvatustööd tudengite hulgas ja mida rühmajuhendaja pidi täht-tähelt täitma.

Rühmajuhendaja töö oli TPI-s koordineeritud TPI rühmajuhendaja põhimäärusega, mis oli kinnitatud TPI rektori poolt ja „heaks kiidetud“ TPI parteikomitee istungil. Selle üheleheküljelise määruse põhjal oli aga dekanaat välja töötanud 15-leheküljelise „Rühmajuhendaja töö programmi“, mis sisaldas kokku 18 alajaotust ja 150 punkti ja mille olid alla kirjutanud dekaan ning kasvatusala prodekaan.

Viimane lisas programmile veel omapoolse detailsema ülesannete nimekirja, mis sisaldasid nii „igakuiseid“ kui ka nn. „ebaregulaarseid“ ülesandeid, kokku 20 aktsiooni. Seejuures tunnistati ausalt üles, et programm ja ülesannete nimekiri pole kindlasti lõplikud, mistõttu oli rühmajuhendajal lubatud töö käigus pidevalt täiendada ja lisada teemasid oma äranägemise järgi.

Igakuised ülesanded:

- Õpperühma igakuise atesteerimislehe läbiarutamine rühma koosolekul;
- osavõtt rühmajuhendajate nõupidamistest;
- osavõtt rühmakolmikute nõupidamistest (kutse alusel);
- ühiselamus elavate üliõpilaste külastamine ja nendega vestlemine (valikuliselt);
- nende üliõpilaste käitumise arutamine rühmakoosolekul, kelle kohta on märkusi ühiselamute valvežurnaalides, või kelle kohta on saabunud signaale TPI sõjalisekateedrist.

Ebaregulaarsed ülesanded:

- üliõpilaste eeskujuliku või vääritu käitumise juhtude arutelu õpperühmas;
- vestlused õpperühmades liiklusmäärustikust (ohutust liiklemisest);
- kirjalikud aruanded kasvatustöö osakonda ja dekanaati;
- aruanded teaduskonna parteibüroo ja dekanaadi ühistel istungitel;
- osavõtt lahtisest parteikoosolekust, kus arutatakse õppe- ja kasvatustöö küsimusi;

- rühmas terve kollektiivsustunde kasvatamine kino, teatri, muuseumide jm. ühiskülastuste organiseerimisega, rühmaõhtute korraldamine rühmajuhendaja ja õppejõudude osavõtul;
- suulised aruanded kateedri koosolekutel.

Nimetatud instruktsioonide põhjal pidi rühmajuhendaja koostama omapoolse tööplaani iga semestri algul ja esitama selle hiljemalt viie päeva jooksul dekanaati. Semestri jooksul iga järgneva kuu 2. kuupäevaks tuli esitada kasvatustöö prodekaanile igas kuus tehtud töö kohta aruanne.

On selge, et kui seda 150-punktilist programmi, mis eeldas *ca* 10 punkti täitmist nädalas (erinevatele aspektidele pühendatud koosolekuid, vestlusi, seminare, ühiselamukülastusi, jooksvat aruandlust, kultuurilisi üritusi jne), oleks püütud korralikult läbi viia, poleks ajapuudusel ei õppe- ega ka teadustööks üldse aega jätkunud.

Kuna aga nii edukas õppetöö kui ka aktiivne osavõtt ja panustamine kateedri teadus- ning arendustöösse olid ühed olulised nõuded ja kriteeriumid üliõpilaste hindamisel, siis oli selle 150 punktiga programmi juba eos sisse planeeritud ületamatu vastuolu.

Rahvaste sõpruse päevad TPI-s. Kõneleb TPI komkomsomolisekretär Ebba Rõigas, paremal rektor Agu Aarna ja parteikomitee sekretär Aadu Talts. Ebba Rõigas keemiatudengina sai oma insenerihariduse ka informatsioonitehnika kateedris, sooritades näiteks eeskujulikult elektriajamite laboreid.

Kuna lahendatav probleem oli keeruline (arvutiteooria seisukohast koguni NP täielik), siis sel põhjusel kujunes rühmajuhendaja kasvatustööprogrammi täitmine üheks suurepäraseks võimaluseks leida praktilist rakendust tudengitele õpetatavatele operatsioonanalüüsi ja matemaatilistele optimeerimisteooria meetoditele nagu harude ja piiride katsetamise meetod, katsete ja vigade meetod või eriti lõbus müntide õhkuloopimisel põhinev Monte Carlo meetod.

Alljärgnevalt üks näide rühmajuhendaja koostatud kasvatustöö plaanist ühe semestri vältel, mis rakendas ideaalsesse paberite vahetamise koostöösse omavahel nii parteikomitee, dekanaadi, kateedrijuhataja, rühmajuhendaja kui ka mõningal määral tudengid, kes aga enamasti palju lisaergutamist vajasid:

Nr	Ürituse liik	Kavandatud üritus	Aeg
1	Organiseerituse ja vastutustunde kasvatamine	Rühma koosolek: eelneva semestri või õppeaasta tulemuste arutelu	05.09.
2	Organiseerituse ja vastutustunde kasvatamine	Rühma koosolek: vestlus kateedri tegevusest, üliõpilaste kaasahaaramise võimalustest	19.09.
3	Kommunistliku töösse suhtumise kasvatamisest	Osavõtt hoogtööpäevakust ÜLKNÜ aastapäeva puhul	30.09.
4	Esteetiline ja kõlbeline kasvatus	Ühiselamu külastus, vestlus vaba aja kasutamisest, tervetest eluviisidest, alkoholi kahjulikkuse selgitamine	03.10
5	Internatsionalismi ja patriotismi kasvatamisest	Rühma koosolek: poliitinformatsioon	Kord kuus
6	Esteetiline kasvatus	Teatri või kontserdi ühiskülastus	Kord semestris
7	Organiseerituse ja vastutustunde kasvatamine	Rühma atesteerimine ja jooksva õppetöö arutelu	Kord kuus
8	Internatsionalismi ja patriotismi kasvatamisest	Osavõtt Oktoobrirevolutsiooni aastapäeva tähistamisest	07.11.
9	Üliõpilastraditsioonide kujundamine	Osavõtt üliõpilaspäeva üritustest	November

Programmide täitmisele lisandusid aeg-ajalt töölauale tekkivad dekaani korraldused, millest alljärgnevalt mõned näited.

Lp. rühmajuhendaja. Seoses ideoloogialase töö eelseisva kõrgetasemelise kontrolliga, palun 19. maiks: kontrollida ühiskondlik-poliitilise praktika arvestusraamatute täitmist. Kui sissekanded puuduvad, organiseerida (loe: optimeerida) raamatute täitmist; jälgida eriliselt ühiskondliku töö lahtri täitmist…. Dekaan.

Lp. rühmajuhendaja. Palun läbi viia teie rühmas ühiskondlik-poliitilise praktika atesteerimine. „Rahuldav tase" jääb praktiliselt Teie määrata, kuivõrd juhend jääb selles osas vastuse võlgu… Kasvatusala prodekaan.

Lp. rühmajuhendaja. Palun Teid koheselt agiteerida võimalikult palju (mõlemast soost) üliõpilasi rahvamalevasse. Soodustused: vähemalt 30 reidist osa võtnud rahvamalevlase lõpphindele liidetakse 0,1 palli… Automaatika teaduskonna rahvamaleva grupi komandör.

Lp. rühmajuhendaja. Olete kohustatud läbi viima õpperühma tootmisnõupidamise eksamiteks valmisoleku kohta. Vastuvõetud otsuste kohta andke kokkuvõte dekanaati. Dekaan.

Lp. rühmajuhendaja. 27. mail algusega kell 9.00 algab TPI staadionil tsiviilkaitse formeeringute õppus. Kuna rahvast saab olema palju, siis ei saa me läbi ilma rühmajuhendaja abita. Dekaan.

Lp. rühmajuhendaja. 1973/74 õ.-a. märtsikuus toimub TPI isetegevuse ülevaatus. Selleks tuleb eelnevalt korraldada teaduskonna isetegevuse ülevaatus, et välja selgitada paremad üleinstituudilise konkursi jaoks. Palume Teie kaasabi võimalike isetegevusnumbrite väljaselgitamiseks. Iga rühm peab esinema vähemalt ühe etteastega (laul, tants, näitemäng jne.). Dekaan, a/ü büroo esimees.

Ühel kevadsemestri päeval saabus dekanaadist järgmine juhend rühmajuhendajate töö koordineerimiseks:

ÜPP (loe: ühiskondlik-poliitiline praktika) arvestuse viime seekord läbi nagu kord ja kohus: rühmakoosolekul, teaduskonna komsomolibüroo esindaja ja rühmajuhendaja osavõtul --- Komsorg pöördugu eelnevalt rahvamaleva komandöri poole automaatika kateedrisse andmete saamiseks oma ülesandeid ignoreerinud rahvamalevlaste kohta. ÜPP arvestuslehele märgime ära ka doonorivere andmise 01. aprillil k. a., osavõtu laupäevakust jms.

Edasi järgnes juba konkreetne rühmajuhendaja poolne programmi täitmine ja õige pea saabus järgmine informeeriv teade:

Lp. rühmajuhendaja. 01. aprillil algusega 9.30 toimub TPI spordihoones doonori päev. Rektori käskkirjaga on meie teaduskonnale antud tasuta doonorluse ülesandeks garanteerida 95 doonorit. Seepärast võtke 01. aprillil oma õpperühm käekõrvale ja viige TPI spordihoonesse verd andma. Vereandmisele võib lahkuda tundidest, sõltumata õppejõudude võimalikest protestidest. Doonor saab tasuta lõuna ja omal äranägemisel 2 vaba päeva. Soovitav on rühma ette ilmuda ilma igasuguse eelneva selgitustööta, n.ö. eksprompt ja viia nad kohe spordihoonesse. NB! Minna saavad vaid need, kel aastaid juba 18. 17-aastastelt verd ei võeta. Dekaan.

Kui ma nüüd täpselt mäletaksin, kas tegu oli tõesti 1. aprilliga. Aga just see kuupäev vanal koltunud dokumendil seisab.

Nende suurte lastega oli ikka tüli ja muret küll. Põhiliselt siiski vaid rühmajuhendajal, sest kogu kasvatuslik suhtlemine ülalt alla ja alt üles toimus ikka põhiliselt keskel – rühmajuhendaja tasandil ja tema kaudu:

Lp. rühmajuhendaja. Meie järjekordne nõupidamine toimub 27. aprillil dekanaadis. Päevakorras: rühmade murelapsed ja sidemete loomisest nende murelaste vanematega… Dekaan.

Lp. rühmajuhendaja. Palun saatke dekanaati Teie õpperühma nende üliõpilaste nimekiri, kes ei võtnud osa laupäevakust. Nimekiri on vajalik nende üliõpilaste tööle rakendamiseks täiendavatel koristustöödel, riietehoius jne. Kasvatusala prodekaan.
Lp. rühmajuhendaja. Teie õpperühma ALMAVÜ[4] organisaator ei suutnud õigeaegselt üle anda ALMAVÜ liikmemakse. Palume Teie kaasabi võlgnevuse likvideerimiseks hiljemalt 9. aprilliks. Teaduskonna parteibüroo sekretär, teaduskonna ALMAVÜ büroo esimees.
Lp. rühmajuhendaja. TPI II Ühiselamu Nõukogu teatab, et Teie rühma üliõpilane X (tuba Y) oli kutsutud nõukogusse. Põhjuseks oli ühiselamu valvekorras mitteviibimine ja selle tagajärjel telefoni kadumine valvelaualt. Ü/e nõukogu karistas teda 6-tunnilise karistusvalvega ühiselamus ja ka uue telefoni toomisega. Palume Teid leida võimalus üliõpilase täiendavaks mõjutamiseks. Läbiviidud kasvatustööst teha märkus lehe tagaküljele ning tagastada kasvatusala prodekaanile 10 päeva jooksul. TPI II ü/e nõukogu.
Lp. rühmajuhendaja. 19. okt. pidi toimuma teaduskonna komsomolikonverents, mis aga jäi ära kvoorumi puudumise tõttu. Teie hooldusalusest rühmast ilmus konverentsile 0 delegaati, pidi aga olema 5. Palun Teid kindlustada, et konverentsile teistkordselt 26. okt. kell 13.50 aulataguses auditooriumis ilmuksid kõik rühma delegaadid. Teaduskonna parteibüroo.
Lp. rühmajuhendaja. Palun oma rühmale meelde tuletada, et kehaline kasvatus on ka koht, kus tuleb käia. Teisipäeval on viimane võimalus saada suusatamise arvestus. Oleks hea, kui pärast seda päeva suusatamises võlgnikke ei ole. Tänan! Dekaan.

Pidevalt tuli rühmajuhendajal kirjutada aruandeid, sageli koguni mitmeid kordi kuus. Kriitilisemateks perioodideks olid esimene ja viimane õppeaasta. Tavaliselt loobus esimesel õppeaastal palju tudengeid ülikoolis käimisest ja loomulikult oli just rühmajuhendaja see, kes pidi dekaanile iga loobuja kohta selgitusi jagama:

Nr	Nimi	Põhjus
1	Jüri	Nõrk õppeedukus, ei ilmunud eksamitele
2	Kalev	Puudus tundidest sageli, ilmselt puudus õppimistahe, luges TPI-s õppimist liiga raskeks
3	Jaan	Nimetas põhjuseks majanduslikke raskusi perekonnas
4	Vladimir	Läks juba õppeaasta algul üle automaatika erialale
5	Jaan	Kukkus kahel eksamil läbi, luges takistuseks õppimisele majanduslikke raskusi
6	Enno	Tuli puudu tahtmisest jätkata õppimist, ühel eksamil kukkus läbi
7	Tiina	Lõtv suhtumine õppetöösse, loobus loengutel käimisest
8	Leili	Loobus arsti soovitusel halva tervise tõttu
9	Ants	Leidis kohe alguses, et valis vale ala (huvitas enam matemaatika)
10	Ain	Nimetas loobumise põhjuseks majanduslikke raskusi seoses abiellumisega

Ülikooli lõpetamise eel tuli rühmajuhendajatel vastata ka näiteks niisugusele järelpärimisele dekanaadist:

Lp. rühmajuhendaja. Palun Teid hiljemalt 25. veebruariks saata dekanaati nende Teie õpperühma üliõpilaste nimed, kes Teie arvates võivad tulevikus sobida juhtivale tööle. Palun anda 1-2 lauseline põhjendus iga näidatud üliõpilase kohta. Dekaan.

Eks siis tuli vastata dekaanile umbes järgmiselt:

Nr	Üliõpilane	Põhjendus
1	Jelena	Rühmavanem, saab oma juhtimisega seotud ülesannetega hästi hakkama
2	Ilona	On olnud töökas komsomolibüroos, on aktiivne, teisi kaasa haarav
3	Irina	Aktiivne, iseseisev, oskab koordineerida inimeste grupi tööd
4	Niina	Töötab kultuuriorganisaatorina, tegutseb aktiivselt, kaasa haaravalt
	Üldiselt on rühm siiski passiivne. Ja ka nimetatud on antud mõttes „head“ mitte „väga head“	

Rühmajuhendaja tööd hõlbustas mõnevõrra see, kui ta delegeeris oma kohustuse anda iseloomustusi rühmale endale. Sageli oli niisugune tagasiside rühma üliõpilastelt päris huvitav, sisaldades näiteks selliseid nende hinnanguid üksteise kohta:

[4] ALMAVÜ – Armee, Lennuväe ja Merelaevastiku Abistamise Vabatahtlik Ühing.

Peer review:

- Ei kuulu NLKNÜ-sse.[5] Korduseksameid oli üks – keemia. Ei ole olnud ei karistusi ega kiitusi. Ei ole siiani täitnud erilisi ühiskondlikke ülesandeid, kuid ei ole ka nende vastu midagi.
- Töökas, kohusetruu, aus, tagasihoidlik.
- Aus, südamlik, elav, kuid võiks natuke rohkem tööd teha õppimise kallal, sest võimeid tal on.
- Rahulik, alati heas tujus, saab kõigiga hästi läbi, kuid võiks hoolsam olla teadmiste omandamisel.
- Arvestab iseendaga rohkem kui teistega.
- Teda jätkub kõikjale, on väga aktiivne, kogu rühma hing, ei kujutaks ilma temata üldse ette meie rühma; kui on midagi vaja, on jälle R. see, kes asja korda ajab, töökas, aus – mees omal kohal.
- Täidab kõik ülesanded, mis on saanud, kuid aktiivsust ei ilmuta, aus, seltsiv.
- Puudub järjekindlus ja tahe, järgneb kiiresti halbadele eeskujudele, aus.
- Suure tahtejõuga, osutab alati abivalmidust, püüab alati suunata teisi paremusele.

Väga „ilmekateks ja loomingulisteks" kujunesid mõnikord ka seletuskirjad üliõpilastelt, kel olid võlgnevused õppeaineteks. Olgu siin näitena toodud mõned seletused, kuidas põhjendati oma puudumisi kehalise kasvatuse tundidest:

Mina T, olen käesoleval semestril kehalise kasvatuse tundidest puudunud 9-l korral. Neist 4-l korral võin sellist käitumist seletada ainult üldinimliku nõrkuse – laiskusega, s.o. sooviga hommikul võimalikult kauem magada (ükskord oli põhjuseks siiski ka äratuskell, mis oli öösel maha kukkunud ja õnnetul kombel katki läinud).

Kolm varahommikut olen mööda saatnud individuaalõmblusvabriku „Lembitu" ateljee ukse taga, soovides ja lootes omale uut ülikonda saada (seni tagajärjetult).

Kord teisipäeva hommikul saabus mulle ootamatult külla üks minu klassikaaslane ja lapsepõlvesõber, kes äsja oli lõpetanud teenistuse Põhja-Jäämere (!!) karmidel kallastel (ei vaja kommentaare).

Ühel hommikul hilinesin tundi c 5 min. Kahjuks ei leidnud ma oma gruppi enam ei suusabaasist ega staadionilt. Hiljem selgus, et poisid olid sel ajal Mustamäe nõlval suusarada ehitanud.

Kõiki eelnimetatud kahetsusväärseid juhtumeid püüan heaks teha õppejõuga kokkulepitud laupäevastel päevadel.

Mina, K, olen puudunud kehalise kasvatuse tundidest järgmistel põhjustel: 4 tundi puudusin põhjusel, et ei leidnud sobiva suurusega sportlikke jalanõusid, 6 tundi puudusin haiguse tõttu, 2 tundi põhjusel, et sõitsin koju ja tagasi sõiduks ei saanud piletit, mistõttu jõudsin kohale päevase hilinemisega.

Mina L, olen puudunud kehalise kasvatuse harjutustundidest 20 tundi, sellest 4 põhjusega (olin vabastatud õppetööst seoses abiellumisega). Ülejäänud 16 tundi ei ole dokumentaalselt põhjendatud puudumine. Olin seotud pulmade ettevalmistamisega ning seetõttu olin sunnitud mitmel korral õppetööst puuduma. Õppejõuga on saavutatud kokkulepe puudutud tundide järeletegemiseks arvestuse saamiseks.

Õpetamise efektiivsuse tõstmisest

1975. a. sügissemestril oli selgunud, et kateedri profileeritav eriala oli sattunud TPI vähepopulaarsete erialade nimekirja. See kutsus esile arutelusid kateedri koosolekutel ja igapäevatöös, kuidas asja parandada.

[5] Kahekordne huumor: niisugust lühendit ei eksisteerinud. Komnoorte ühingu nimeks oli ELKNÜ. Viga viitas kas peenele nükkele või poliitilise hariduse "vajakajäämisele"...

Tapa sõjaväelaager 1973. Ees vasakult Peeter Jakovlev, Vladimir Viies, Peeter Kitsnik, Mait Kornet, taga Riho Pikkor. Aastaid hiljem: VV-st saab Omandireformi Ameti looja Tallinnas; Koonderakonna peasekretär PJ aitab kinnitada MK Harju maavanemaks; MK annab VV-le omandireformi läbiviimiseks eriõigused.

Tuli konstateerida ka seda kummalist aspekti, et TPI arvutuskeskus on vähe kaasa haaratud kateedri erialases õppetöös. Seda on ka näha eelpool toodud tabelis, mis iseloomustas arvutuskeskuse koormatust. Kui näiteks erialase väljaõppe jaoks oli erialadele TI (infotöötlus) ja LS (juhtimissüsteemid) nii arvutile Minsk-32 kui ka arvutile EC-1020 planeeritud kummalegi 100 tundi semestris, siis elektronarvutite kateedri eriala LI oli sellisest tähelepanust ilma jäetud. See oli seda kummalisem, et ehkki kateedris viidi läbi väga intensiivset uurimistööd, mis põhines just arvuti kasutamisel – uute tarkvaratööriistade väljatöötamisel ja mahukate simuleerimiseksperimentide läbiviimisel, siis ometigi oli võimaldatud kateedri õppejõududel ja teaduritel ligipääs arvutitele vaid üldistel alustel.

Järgnevatel kateedri koosolekutel arutatigi, kuidas paremini kaasata arvutuskeskust ja selle ressursse kateedri erialasesse õppetöösse.

Uute koostöövormidena viidi sisse I kursuse kevadsemestri aine *töö arvutuskeskuses*, II kursuse suvepraktika ja erialaainete uute simuleerimisel põhinevate laboritööde läbiviimine.

Eriala renomee tõstmiseks võeti samuti ette mitmeid aktsioone, nagu eriala intensiivsem tutvustamine keskkoolilõpetajate seas, erialaolümpiaadi korraldamine (seoses sellekohase üleliidulise ürituse korraldamisega), erialapäeva ettevalmistamine. Põnevaks ettevõtmiseks kujunes erialakonkursi korraldamine I ja II kursuse üliõpilastele, kus kateedri liikmetel tuli välja mõelda võimalikult huvitavaid küsimusi või ülesandeid arvutustehnika elementaarteadmiste raames. Kateedrijuhataja, olles ise mitmeid populaarseid raamatuid kirjutanud arvutustehnika teemal, rõhutas eriala populariseerimise vajadust ajakirjanduses, viitamaks seejuures eriliselt Eestis kujunenud arvutite konstrueerimise ja tootmise perspektiive.

Nr.	Aktsioonid eriala tudengite kontingendi komplekteerimise parandamiseks ja nooremate kursuste õppimishuvi tõstmiseks	Vastutaja
1	Intensiivistada eriala tutvustamist keskkoolilõpetajate hulgas, tõmmates sellesse kaasa ka praeguseid selle eriala üliõpilasi	Ubar
2	Muuta eriala populariseerimine ajakirjanduses sihipärasemaks	Agur
3	Taotleda vene õppekeelega päevase õpperühma vastuvõtu taasavamist, tuginedes vabariigis loodud Arvutustehnika SKB vajadustele	Kateedri-juhataja
4	Välja töötada abinõude graafik üliõpilaste haaramiseks erialasesse töösse 3. semestril: praktiline tegevus laborites, konsultatsioonid arvutite rakendamiseks	Kateedri-juhataja
5	Planeerida üldreeglina I kursuse rühmajuhendajale õppetöö omaenda rühmaga: Programmeerimise loengud või harjutused, töö arvutuskeskuses	Kateedri-juhataja
6	Tõmmata erialapäevade läbiviimisele kaasa I ja II kursuse üliõpilasi	Mägi
7	Korraldada erialaseid referatiivseid konkursse I-III kursuse üliõpilastele Aktsioonid õppeprotsessi täiustamiseks	Kateedri-juhataja
8	Tugevdada koostööd arvutuskeskusega (arvutipraktika, laboritööd)	Kateedri-juhataja
9	Koos automaatika kateedriga uurida võimalusi miniarvuti saamisel selle ühiseks ekspluateerimiseks õppetöö huvides	Ubar
10	Sõlmida leping Leningradi Konstrueerimis-tehnoloogilise Bürooga õppetööks sobiva miniarvuti saamiseks, võtta sellele laboritöödeks vajaliku tarkvara väljatöötamine kateedri teadusliku töö plaani	Kateedri-juhataja, Maran
11	Jätkata pingutusi stabiilse praktikabaasi leidmiseks erialasele tehnoloogilisele praktikale; kasutada praktikabaasina ka Küberneetika Instituudi Arvutustehnika EKB laboreid ja töökodasid	Kateedri-juhataja

Kokkuvõtlik kateedri abinõude plaan eriala „elektronarvutid" õpetamise efektiivsuse parandamiseks on esitatud järgnevas tabelis:

Ülalkirjeldatud plaan arutati läbi ja võeti vastu elektronarvutite kateedri koosolekul 24. mail 1976. aastal. Kuna sama aasta sügisest määrati kateedri uueks juhatajaks dots. **Andres Keevallik**, siis sisuliselt toimus plaani koostamine uue kateedrijuhataja selja taga.

Teiselt poolt aga, seoses Keevalliku siirdumisega aastaks stažeerima Linköpingi Ülikooli Rootsis, määrati dots. **Ustus Agur** ikkagi veel üheks aastaks kateedrijuhatajaks, nüüd küll kohusetäitjaks, mistõttu ei pääsenud ta selle kohustuste plaani elluviimise eest üldvastutaja rollist.

Kateedrijuhataja vahetus tulenes tol ajal kehtivast seadusest, et dotsent tohtis kateedrit juhatada maksimaalselt 10 aastat, mille järel tuli teatepulk üle anda järglasele.

Noorte teadlaste ja spetsialistide nõupidamine (1973), esireas prorektor H. Lepikson

Kateedrijuhatajatele, kellel oli professori teaduslik kutse, selline 10 aastane piirang ei kehtinud. Ja kuna ei kehtinud ka vanusepiiranguid, siis võis üks professor, kes oli oma ameti vääriline ja kel puudusid konkurendid, juhtida kateedrit kuni oma surmani.

Praktikaõppest

Tootmispraktikast

Tolle aja tehnikakõrgkoolide lõpetanutele omistati pärast viieaastast stuudiumi ja diplomiprojekti edukat kaitsmist insenerikutse. Seetõttu pidi lõpetanul olema teoreetilistele teadmistele lisaks ka teatav praktilise töö kogemus oma erialal. Selle omandamiseks oli õppeplaanides kolmandal ja neljandal kursusel ette nähtud tootmispraktika, mille käigus üliõpilased töötasid kas suve algul või suve lõpul, pooleteise või kahe kuu jooksul erialale vastavas tootmisettevõttes.

Arvutite eriala õppeplaanis oli kaks praktikat: kolmandal kursusel arvutite tootmise tehnoloogia praktika mõnes arvuteid tootvas tehases ja neljandal kursusel arvutite ekspluatatsioonipraktika arvutuskeskuses. Praktika programmi täitmise eest vastutas reeglina tehase või arvutuskeskuse peainsener, vahetuteks juhendajateks olid aga tsehhide juhatajad ja meistrid.

Eestis arvuteid tootvaid tehaseid ei olnud. Seepärast tuli tehnoloogiapraktika baase otsida teistest liiduvabariikidest. Meil õnnestus erinevatel aastatel üliõpilasi praktikale viia Venemaale Pensa Elektronarvutite tehasesse, Ukrainasse Kiievi Juhtimisarvutite tehasesse ja Lvovi tehasesse „Elektron", Leedusse Vilniuse Arvutitehasesse ja Armeeniasse Jerevani Arvutitehasesse. Välispraktikale suunatud tudengitele tasuti sõidukulud platskaartvagunis koos päevarahadega. Juhendajatele tasuti aga ka lennupiletid, päeva- ning ööbimisrahad.

Arvuteid tootvas tehases õppis üliõpilane tundma tehase struktuuri, juhtimist, toodangu nomenklatuuri, arvutite tootmise tehnoloogiat, montaaži ja häälestamist. Praktilise töö kogemusi omandas üliõpilane töötades arvutidetaile ja -sõlmi valmistavas tsehhis, montaažitsehhis ja tehnilise kontrolli osakonnas. Seejuures pidi ta töötama vähemalt kolmel erineval töökohal vastavuses selleks koostatud kalendergraafikuga. Praktika käigus esinesid tehase juhtivad töötajad üliõpilastele loengutega, tutvustamaks tehase ajalugu, struktuuri, toodangut ja tehnoloogiat. Igale üliõpilasele anti individuaalülesanne, milleks võis olla mingi arvutisõlme ehituse, valmistamistehnoloogia, häälestamise või kontrollimise üksikasjalik tundmaõppimine. Praktika arvestuse saamiseks pidi üliõpilane esitama päeviku ja praktika aruande ning seda kaitsma tehase spetsialistidest koosneva komisjoni ees.

Tootmispraktika programmi kuulus ka nn ühiskondlik-poliitiline praktika, mis nägi ette üliõpilaste osavõttu tehases korraldatavatest ühiskondlik-poliitilistest üritustest, sellistest nagu riiklikele tähtpäevadele pühendatud miitingud, rahvamaleva reidid avaliku korra kaitsmiseks ja kolhooside abistamine saagikoristusel.

Praktikakohtade leidmine tudengitele oli loomulikult kateedri ülesanne. Ega see kerge ei olnud, sest praktika põhjustas ettevõtetele lisaprobleeme ja -töökulu. Tudengitele tuli määrata juhendajad, kellel loomulikult kannatas seeläbi põhitöö. Juhendamiskoormuse kompensatsiooniks saadav lisatasu ei olnud eriti motiveeriv. Kui juhendatavaid oli alla 10, määrati lisatasuks 10% põhipalgast. Iga järgnev 10 tudengit andis 5% lisa.

Traditsioonilisteks tööstuspraktika kohtadeks Tallinnas olid 70-ndatel mitmed asutuste arvutuskeskused nagu näiteks:

- Metallitoodete Turustuse ja Varustuse EV Valitsuse Arvutuskeskus, kus tutvuti arvutuskeskuses tehtava tööga, õpiti tundma arvutit Minsk-22M ja praktilise tööna projekteeriti ning valmistati toiteplokkide kontrollstend;

- ENSV Ministrite Nõukogu juures asuv Statistika Keskvalitsuse Arvutuskeskus, kus tutvuti informatsiooni töötlemise protsessiga ning arvutustööde organiseerimisega ja juhtimisega;
- Ehituse Organiseerimise Trusti Arvutuskeskus, kus tutvuti keskuses läbiviidavate arvutusülesannetega, mis olid seotud ettevõtte tööd reguleerivate võrkgraafikute analüüsiga, tutvuti arvuti Minsk-22 tehnilise teenindamise ja hooldusega seotud töödega;
- Eesti NSV Maaviljeluse Instituudi Arvutuskeskus, kus tutvuti instituudi struktuuriga, osakondades tehtava tööga. Arvutuskeskuses lahendati individuaalseid ülesandeid, kus tuli tutvuda erinevate arvutiseadmete tööpõhimõtetega;
- Pöögelmanni nimeline Elektrotehnika Tehas, kus tutvuti pooljuhtelektroonika tootmise tehnoloogiliste protsessidega.

Nõudlikumateks praktikakohtadeks olid mitmed teadusliku uurimisega seotud asutused nagu:

- Teadusliku Uurimise- ja Projekteerimis-Tehnoloogia Instituut. Töötati juhtimisprobleemide osakonnas numbriliste seadmete laboratooriumis, kus tutvuti spetsiaalarvuti STEM-2M struktuuri ja tööpõhimõtetega;
- Teadus-Tootmiskoondise „Algoritm" Tallinna Teadus-tootmiskeskus;
- Küberneetika Instituudi Arvutustehnika Erikonstrueerimise Büroo ja algoritmiliste keelte sektor;
- Erandjuhtudel kateedri-sisene praktika TPI-s.

Harilikult sukeldusid tudengid nendes praktikakohtades otseselt teadus- või arendustöösse ja sealt tuldi tagasi juba ka diplomitööde teemadega.

Veel enam, sageli kujunes nii, et diplomieelsest praktikakohast sai tudengile ka tema tulevane töökoht. Ehkki viimasel kursusel toimuv töölesuunamine (nn. „orjaturg") toimus õppeedukuse järgi loodud pingerea alusel, mis võttis tudengitelt valikuvabadust seda rohkem, mida kaugemal nad pingereas seisid, siis tudengite omavaheliste läbirääkimistega õnnestus vahel ikkagi „kätte võidelda" see „eriti soovitud" töökoht.

Ühe praktika juhendamise lugu[6]

1971. a. suvel sõitis minu juhendatav viimane kursus praktikale Armeeniasse tehasesse „Elektron", kus toodeti arvutusmasinaid „Nairi". Tudengid sõitsid rongiga, mina lennukiga ette praktika formaalset külge korraldama. Moskvas tuli vahetada lennuvälja, sõitsin Vnukovost Domodedovosse. Tervelt pool päeva jäi aega Moskvas pisut ringi vaatamiseks ja hiljutiste aspirantuuriaegsete mälestuste taaselustamiseks.

Äkki märkan, et mu rahakott lahtiste hõlmadega pintsakust on kadunud. Koos sellega ka pass, raha ja lennupilet ning mis kõige hullem, ka *dopusk* [7] oli läinud. Esialgu ma *dopusk'*i kaotsiminekule tähelepanu ei pööranud. Nüüd algasid muud probleemid. Pidin kindlasti olema järgmisel päeval Jerevanis, et tudengite elamist-olemist korraldada ja neid seejärel jaama vastu võtma minna. Uue lennupileti ostmiseks, kui seda üldse saada oli, pidid aga nii raha kui ka pass olema. Õnneks oli mul Moskvas palju sõpru. Sain telefonile oma kunagise võistluskaaslase võimlemises **Maie Käbbi**, kes samuti Moskvas aspirantuuris oli ja kellest hiljem väga tuntud majandusdoktor ja kõrge ministeeriumi ametnik sai. Oma edasise elu veetiski ta pärast Moskvas. Palusin, et Maie hangiks kusagilt 150 rubla. Nii palju tal polnud, aga poole sain küll. Ülejäänud summa sain Borjalt, oma en-

[6] Katkend pärineb autori mälestusteraamatust „Teadusemees", TTÜ kirjastus, Tallinn, 2011.

[7] *Dopusk* oli luba teaduslikuks koostööks salajaste tööstusettevõtetega (kõik elektroonika-alase tootmise ja väljatöötamisega seotud ettevõtted olid N Liidus salajased).

diselt aspirantuurikaaslaselt. Lennujaamas õnneks veel pileteid oli, aga ilma passita neid ei müüdud. Ostsin šokolaadikarbi lennujaama direktrissile ja sain talt paberi, mille alusel mulle vormistati pilet.

Olin õnnetusest ja kõigest edasisest närveldamisest üsna läbi. Pilet oli nüüd käes, ja paar tundi tuli oodata väljalennuni. Kõndisin sihitult edasi-tagasi mööda hiigelsuurt Domodedovo lennujaama halli. Peatusin ajaleheleti juures, panin kohvri maha ja hakkasin uudistama leti peal lebavat kirjandust. Ostsin vist ka ühe ajalehe ja trügisin siis letti ümbritsevast inimmassist läbi. Jalutasin nüüd teise jaama otsa. Seal äkki märkan, et mul polegi enam kohvrit käes. Ähmi täis, tormasin nüüd inimeste vahel põigeldes tagasi ajalehekioski juurde, kus kümne minuti eest olin ostnud ajalehte. Meetripaksune inimsumm leti ees oli endiselt alles. Läbi trügida ei saa, aga inimeste jalgade vahelt näen üliõnnelikuna seismas üksikut kohvrit. Õngitsen selle kuidagi inimeste vahelt välja.

Jerevanis jõuan kõik vajaliku korda teha, ühiselamu reserveerida ja tehasega kontakti võtta. Õigeks ajaks jõuan ka tudengitele jaama vastu minna. Õhtul korraldame ühikas Armeenia veini ja puuviljadega väikese peo. **Tõnu Juhanson** osutub väga heaks laulumeheks. Ennastunustavalt laulis ta kitarri saatel terve õhtu: „Kolm korda koputan / kopp-kopp-kopp[8]...“

Järgmisel hommikul läksime tehasesse „Elektron“. Kõigepealt pidime tänaval tükk aega sissepääsulubasid ootama. Tudengite grupp koosnes põhiliselt tüdrukutest - kenad, blondid, saledad. Üks armeenlane kõrval pingil silmitses tüdrukuid üksisilmi. Siis astub ta mu juurde ja küsib:

„Kas need on sinu tüdrukud? Kui palju sa tahaksid nende eest?...“

Jerevani Tehnikaülikoolis rääkisin oma õnnetusest Moskvas. Palusin nende abi ka tagasilennuks pileti ostmisel, sest mul polnud ju passi. Prorektor annetas isegi rektori fondist toetuseks 50 rubla. Minu lohutamiseks rääkis ta järgneva loo.

Kord oli ta samuti viibinud Moskvas komandeeringul ja sõitis trammis. Peas oli tal must barett. Ühes peatuses astub trammi ja ümbritseb teda grupp mehi, kellel kõigil on mustad baretid peas. Korraga tunneb ta, et kellegi käsi sorib tal vasakus taskus. Kuna ta teadis, et taskus niikuinii midagi pole, ei teinud ta ka välja ja seisis vagusi edasi. Järgmises peatuses läksid mustade barettidega mehed maha. Kui ta uuesti käe vasakusse tühja taskusse toppis, leidis ta sealt oma üllatuseks eest pataka raha... Ilmselt jagati trammis röövsaaki ja igaüks, kellel oli must barett peas, ka midagi sai. Siit moraal: prorektor soovitas mulle Moskvasse tagasi jõudes kohe must barett muretseda.

Kui Eestisse tagasi jõudsin, karistati mind *dopusk*'i „ärakaotamise“ eest õiguse äravõtmisega seda edaspidi kasutada. Karistus kehtis ühe aasta.

Harri Mägi praktikajuhendamisest Armeenias ja Venemaal

1972. a. suvist välispraktikat Jerevani arvutite tehases „Elektron“ juhendas **Harri Mägi**. See oli seiklusrikas praktika-aasta, mis aga äärepealt oleks osutunud meie tudengitele isegi eluohtlikuks. Praktikajuhendaja jutustab järgmist.

Kord oli üks tudengitest Imre jäänud ühiselamusse naasmisel hilja peale. Aga Jerevan oli tookord linn, kus taksosid ei olnudki, ehk õigem oleks öelda, et kõik, kel oli auto, olid ka taksojuhid. Eks Imre siis hääletaski ja õige pea õnnestus tal pugeda ühe auto tagaist-

[8] Tolleaegne Heldur Karmo sõnadele tehtud lööklaul.

mele kahe armeenlase vahele. Mõni hetk hiljem näitab Imrele üks armeenlastest kinžalli ja ütleb: „Katsu, eks ole, ilus läikiv asi!“ Imre katsub sõnakuulelikult, kohmetub ja annab relva tagasi, aga järgmisel hetkel on noatera juba tema enda kõri peal ja tal kästakse kõik, mis taskus, lagedale tuua. Ega tal polnudki muud, kui komsomolipilet ja talong, mille vastu ta õnneks (!) alles järgmisel päeval pidi stipendiumi saama… Armeenlased said väga pahaseks, et niisuguse tühjade taskutega ohvri peale sattusid ja rebisid viha pärast komsomolipileti pooleks. Aga nad vedasid kliendi siiski ühiselamuni.

Teisest küljest, Armeenia oli ikkagi väga atraktiivne praktikakoht – mäed ja imeilus Sevani järv käega katsuda. Sevani äärde tuli küll sõita rongiga, mis sõitis kuis juhtus ja sõiduplaane polnud. Aga kohalikud rahustasid: „Tuleb jaama tulla ja oodata, küll see rong ka kord tuleb.“ Seisma jäi rong vaid nõudepeatustes. Nii võis ka rongijuht ise suvalises kohas endale peatust nõuda – näiteks kollendava aasa ääres, et kimbukest nurmenukke kallimale korjama minna.

Metrood Jerevanis ei olnud, unistasid aga sellest kõik. Paraku kehtis seadus, et metroo võivad saada vaid need linnad, kus on miljon elanikku. Jerevanil jäi miljonist pisut puudu. Kuid lahendus oli lihtne – tuli vaid sissekirjutus vabaks teha. Ja küladest hakkaski kohe linna voorima rahvast, nii et miljon sai peagi täis. Kõrvalefektina tekkisid äärelinnadesse slummid kiiresti kokkuklopsitud hurtsikutest, osa veel ehitamisel – pool voodit katuse all, pool majast väljas vihma käes. Hurtsikute vahelistel tänavatel aga uitasid kitsed, röhkisid sead, määgisid lambad ja kaagutasid kanad.

Oli loomulik, et ka hotellides ei olnud kunagi vabu kohti. Praktikajuhendaja, otsides endale hotellituba, tegi kaks viga. Esiteks, rääkis liiga hästi vene keelt. Nii ei pääsenud jutulegi. Aga jutule pääsenuna ei tohtinud teha teist viga – kümmet rubla passi vahele pistmata jätta. Kui nüüd aga selgus, et tegemist on veel eestlasega, algas hoopis teine jutt – otsiti välja parim tuba, viimasel korrusel, miljonivaatega Ararati mäele. Ja veel milline privaatsus – terve korrus oli nüüd eestlase päralt, kõik numbrid tühjad (!). Õiget strateegiat ja taktikat pidi teadma, et tuba saada.

Ararat, teisel pool piiri, Türgis, oli armeenlaste uhkus. Igaüks, kellega tänaval jutuks läks, näitas mäe suunas ja ütles: „Vot Ararat! See on meie mägi!“

Veel raskem kui hotellituba leida, oli kojuminekuks lennupiletit saada. Tuli poolest ööst linnakassasse piletisappa minna. Keegi organiseeris ka nimekirja, sest aeg-ajalt taheti ju sabast ära käia. Aga kui uksed avati, algas rüselus ja järjekorra nimekirjast polnud enam asjagi.

Edaspidi praktikakoht muutus – Jerevan Armeenias asendus Pensaga Kesk-Venemaal ja Lvoviga Ukrainas. Pensas praktikat juhendamas käia oli Harril mugav, sest seal oli ülikooli rektoriks tema väitekirja juhendaja **Konstantin Andrejevitš Sapožkov**. Praktikakohaks oli Pensas N Liidu üks suurimaid arvutitehaseid VEM, kus toodeti sel ajal arvuteid URAL.

Venemaa oli kontrastide maa: ühest küljest on linnas tipptööstus, teisest küljest aga oli kogu linna peale asfalteeritud vaid kolm tänavat. Lennuväli oli olemas, aga muldkattega, millest pärast tugevamat vihmasadu tekkis porimülgas. Maandumist see lennukitel ei takistanud. Poriauku maandudes mattus vaid AH-24 lennusalong äkitselt päise päeva ajal ööpimedusse, sest illuminaatorid läksid pori täis. Elekter lõi aga kohe põlema ja esmakordseid Pensa külalisi rahustas stjuuardess, et see olevat neil täiesti tavaline.

Ei puudunud aga palju, et meie praktikandid oleksid rahvusvahelise konflikti põhjustanud. Oli kartulivõtmise aeg ja koos kohalike tudengitega taheti ka tipikaid kolhoosi saata. Meie tudengid aga keeldusid. Probleem eskaleerus ja komsomolikomitee sai väga tigedaks, nimetades meie tudengeid „sihukesteks ebasõbralikeks tüüpideks Pribaltikast". Siis selgus põhjus – me tudengitel polnud ju kaasas vastavat riietust, et porisele põllule tööle minna. Riietuse probleem lahendati ja kogu intsident lõppes koguni üllatusega – meie tudengid demonstreerisid tüüpilist eestlaslikku töökust (töö ei ole narrimiseks), paistsid eriliselt silma kohalikega võrreldes ja neid autasustati selle eest aukirjadega.

Pensa arvutitehasesse juhendaja ei pääsenud, selleks oleks vaja läinud eriluba – *dopusk'*it. Aga ega juhendajal polnudki just ilmtingimata vaja sinna sisse pääseda. Formaalsed protseduurid sai korda ajada tehase vastuvõturuumides. Tudengite jaoks oli kõik organiseeritud: sissepääsuõigus, stipendiumid ja juhendajad. Selline koostöö ülikoolide ja praktikakohtade-tehaste vahel oli korraldatud riiklikult. Selle aga, et tegelikult polnudki sissepääsuks lubasid vaja, õppisid tudengid selgeks kohe esimestel päevadel, kui nad hakkasid tehasest sööklas lõunal läima. Söökla asus keelutsoonist väljaspool ja seda eraldas tehasest kõrge tara. Taras oli auk. Ja selle asemel, et mitusada meetrit läbi valvepunkti ringi käia, oli võimalik sööklasse läbi augu ka otse laborist pääseda. Tudengid seda auku siis ka agaralt kasutasid.

Pensas asuv arvutite tehas ja ülikool osutusid elektronarvutite kateedrile teatavas mõttes „kullasooneks", seda eeskätt tänu **Harri Mägi** tutvusele sealse tehnikaülikooli rektori **Sapožkoviga**. Kateedril oli vaja mikroskeeme, mida tehas tootis, laboribaasi ülesehitamiseks. Mikroskeemide järele saadeti laborijuhataja **Nigul Piht** ja tema abiline laboris **Tõnu Lankots**. Kuid saadikud ei pöördunud kõigepealt mitte tehasesse, vaid ülikooli rektori poole tervitusi Harri Mägilt viima. Rektor helistas tehasesse ja seal tehti mis vaja. Nõukaaegne vanasõna „parem 100 sõpra kui 100 rubla" kehtis 100-protsendiliselt.

Kuid sõprus ja võim on kaks mõistet, mil puudub ühisosa. Kord hiljem, kui Harri jälle kohtus oma juhendajaga, kes siis enam rektor ei olnud, konstateeris viimane kurvalt seaduspärasust: „Kui olin rektor, tiirlesid mu ümber *мебельные друзья*[9], nüüd on alles jäänud tõelised sõbrad."

Diplomiprojekteerimisest ja tudengite teadustööst

Kursuse- ja diplomiprojektide teemasid püüti siduda arvutuskeskuste ja ettevõtete eluliste vajadustega. Nii oli aastatel 1971-1973 valminud diplomiprojektide seas töid, mis käsitlesid tol ajal Eestis laialt kasutatud arvutite Minsk-22, Minsk-32, Ruta-110 ja Nairi töökiiruse tõstmist ja mälu kasutamise efektiivsuse suurendamist, eri tüüpi arvutite koostööd ühtse arvutussüsteemina, aga ka kergetööstuse ettevõtete, raamatukogude, varustus- ja plaaniorganite tööprotsesside juhtimist arvutite ja informatsioonitehnika vahendite abil.

ÜTÜ konverentsi presiidium, kõneleb rektor Boris Tamm

Üldiselt oli see harv juhus, kui tudengid tõid ise diplomieelselt praktikalt kaasa dip-

[9] Vene k. „mööblist sõbrad".

lomitööde teemasid. Põhiliselt oli see ikkagi kateedri ülesanne lõpetajatele diplomiteemad välja mõelda ja laiali jagada. Esimeste lendude puhul saatis kateedrijuhataja posti teel võimalikult paljude ettevõtete juhtidele kirja kaasa aidata diplomiprojektide teemade väljamõtlemisel. Kergendamaks ettevõtete dilemmat selles küsimuses, anti kirjale kaasa ka vihjeid teemade sobivuse kohta, milleks oleksid nt. *elektronarvutitega ja nende rakendamisega seotud insenerlikud probleemid, sh. uurimusliku kallakuga ülesanded: arvutite või nende plokkide ja abiseadmete projekteerimine ning ümberehitus; informatsiooni töötlemis- ja muundamisvahendid; spetsialiseeritud arvutusseadmete (sh. analoogarvutite) projekteerimine; andmetöötluskomplekside rakendamise insenerlikud probleemid, informatsioonisüsteemide struktuuri määramine, andmevoogude analüüs, töötlusskeemide ja algoritmide valik; seadmete valik informatsioonisüsteemile ja nende sobitus jms.*

Ega selle „ettekirjutusega" abipalve veel ei lõppenud. Kiri hoiatas veel ette, et *sõltuvalt teemast võib juhtuda, et pöördume Teie poole hiljem palvega eraldada diplomiprojektile ka ametlik juhendaja (loomulikult tunnitasu alusel)*. Samuti rõhutati kirjas soovi, et teema pakkumisega oleks hea ühendada diplomieelne praktika.

Teiselt poolt, kuna asutused olid selleks ajaks juba kätte saanud info neile eraldatud lõpetajate kohta, siis olid niisugused „õnnelikud" asutused sageli ise huvitatud diplomieelse praktika läbiviimisest ja ka diplomiprojekti teema väljaandmisest.

Selline aktiivne pöördumine ettevõtete poole andis häid tulemusi ja lõpetajad said endale huvitavaid lõputööde teemasid. Olgu näitena siin toodud loetelu elektronarvutite eriala II lennu diplomiprojektidest (1972):

Nr	Lõpetaja	Teema	Juhendaja
1	Hirve, Peeter	Andmetöötlussüsteem TPI vastuvõtu komisjonile	Dots. U. Agur
2	Juhanson, Tõnu	Infoedastussüsteem arvuti Minsk-32 sidumiseks ettevõtte dispetšerpuldiga	Ins. A. Maranik
3	Jänes, Mart	Programmeerimisklass arvuti Minsk-22 baasil	Dots. U. Agur
4	Karelson, Asta	Abiseade ISO-7-bit-koodi sisestamiseks arvutisse Minsk-22	Ins. M. Lepik
5	Klement, Krista	Informatsioonivahetuse juhtimine arvuti Minsk-32 ja ettevõtte dispetšerpuldi vahel	Ins. R.Ratassepp
6	Kobin, Mihkel	Perfolindi sisestus-väljastuskompleksi moderniseerimine arvutile Minsk-22.	Ins. A. Talkop
7	Kollo, Kersti	Reaprinteri MP-16-2 phendamine arvutiga Nairi-3	Ass. G. Raus
8	Kraavik, Aet	Arvuti Minsk-22 vigade avastamise testide väljatöötamise võimaluste uurimine	Van.-õp. R. Ubar
9	Nittim, Maie	Digitaalse informatsiooni edastusüsteemi laboratoorne makett	Ass. K. Talvik
10	Põldma, Reet	АЦПУ-128-2 ühendamine arvutile Nairi-3	Ass. G. Raus
11	Rebane, Tiit	Magnetlintseadme НМЛ 4-2 salvestustiheduse suurendamine	Ins. J. Varda
12	Reisberg, Meeli	Ruumide paigutamise algoritm haldus-olmehoonete arhitektuurseks planeerimiseks	Van.-õp. R. Ubar
13	Rätsep, Ülo	Magnetlintide selektorkanal arvutile Nairi-3	Ass. G. Raus
14	Siida, Tiit	Väikearvuti mikro- ja makrojuhtimise väljatöötamine	Dots. A. Ariste
15	Sild, Ene	Aruannete generaator moodulprogrammeerimise süsteemile	Juh. K. Tinn

Kuna kateeder oli alles arenemisetapis, siis vajasime ka ise endale täiendavat kaadrit juurde ja sellele tuli juba aegsasti mõelda ning hakata võimalikult vara kandidaate välja valima. Nii püüdiski kateeder agiteerida tudengeid aktiivselt osalema ÜTÜ töös, mille egiidi all korraldati TPI-s iga-aastaseid konkursse. Konkursile võis esitada teadustöid, mis olid valminud kahe viimase õppeaasta jooksul. Elavdamaks nooremate kursuste üliõpilaste teaduslikku tegevust, võisid nende konkursitööd olla ka referatiivset laadi. Tööd pidid olema esitatud muidugi masinkirjas, kuid erandina lubati esitada ka käsitsi kirjutatud tekste eeldusel, et käekiri on selgelt loetav.

Parimad tööd pälvisid lisaks diplomitele ka rahalisi auhindu (kolm esimest preemiat vahemikus 10-30 rubla). Lisaks anti auhinnatud tööde eest ka punkte: I koht – 0,2, II koht – 0,15 ja III koht – 0,1 punkti. Punktid liideti õppeainete keskmisele hindele ning saadud summa oli aluseks üliõpilaste edukuse hindamisel.

Vasakul: diplomitöö kaitsmine 70-ndatel. Paremal: elektroautomaatika teaduskonna riiklik diplomikaitsmise komisjon 1975, paremalt sekretär Helin, Simmu Seppel, Teolan Tomson, Arnold Reitsakas (esimees), Andri Ariste ja Hanno Sillamaa.

Näiteid õppeuurimistöö teemadest aastatel 1973-1976, kus tudengid osalesid suure huviga ning viisid oma uurimused lõpuni kas diplomitöö või -projekti näol, on toodud all tabelis:

Nr	Üliõpilane	Töö nimetus	Juhendaja
1	Ants Alev	Automaatse diagnostikasüsteemi väljatöötamine arvutile STEM	Ubar
2	Urve Heiter	Kombinatsioonskeemide testide genereerimise algoritm	Viilup
3	Jaan Inno	Seade loogikaskeemide automaatseks testimiseks	Ubar
4	Urmas Kaur	Operatsioonautomaatide tootlikkuse arvutamine	Jänes
5	Tiit Kirss	Laboratoorsete tööde välja töötamine aines Digitaalarvutid	Ubar
6	Peeter Kitsnik	Loogikaskeemide rikete modelleerimissüsteem	Ubar
7	Mait Kornet	Automaatse diagnostika realiseerimine väikearvutis	Ubar
8	Mihkel Linros	Miniarvuti käsusüsteemi modelleerimine	Maran
9	Riho Pikkor	Laboratoorsete tööde välja töötamine aines *digitaalarvutid*	Ubar
10	Ahti Põldma	Magnetkassettmälu projekteerimine	Talvik
11	Tõnu Raag	Asünkroonsete protsesside modelleerimine	Plaks
12	Jaan Ritso	Miniarvuti käsusüsteemi modelleerimine	Altma
13	Lauri Siem	Testprogrammide genereerimine miniarvuti diagnostikaks	Viilup
14	Ülle Tiido	Automaatne kombinatsioonskeemide tester	Ubar
15	Einar Vaino	Deduktiivne modelleerimine kombinatsioonskeemides	Kitsnik
16	Arvo Vorsman	Spetsiaalne järjestikuline aritmeetikaseade	Mägi

Osa nendest töödest (nt. **Alev, Kitsnik**, **Kornet**, **Siem**, **Tiido**) olid seotud otseselt kateedri lepinguliste töödega, nt. projektiga, mis viidi läbi tellimustööna M. I. Kalinini nim. Elektrotehnika Tehasest, osa tudengite uurimistöid aga olid pühendatud kateedri laboribaasi arendusele (nt. **Kirss**, **Pikkor**). Parimaid ÜTÜ töid esitati üleliidulistele või regionaalsetele tehnikakõrgkoolide üliõpilaste konverentsidele. Nii näiteks ühelainsal 1974. aastal pääsesid tervelt 7 üliõpilase teadustööd elektronarvutite kateedrist 20. Balti riikide ja Valgevene tehnikakõrgkoolide konverentsile, mis avaldati ka konverentsikogumikus.[10] Nimetatud tööd on esitatud järgnevas tabelis.

Nr	Üliõpilane	Töö nimetus	Juhendaja
1	Leo Siem	Digitaalne filter madalsagedusliku müra mõõtmiseks	H. Mägi
2.	Tõnu Ottoson	Mõõtekalibraatori aritmeetikaseade	H. Mägi
3.	Virve Vaher	Arvutiskeemide diagnostikatestide funktsionaalne simuleerimine	R. Ubar
4.	Imre Pall	Testide genereerimine kombinatsioonskeemidele	R. Ubar
5.	Toomas Puntso	Kombinatsioonskeemide testide paralleel-interpreteeriv simuleerimine	R. Ubar
6.	Margus Suga	Loogikaskeemide diagnostikasõnastike kokku pakkimine	R. Ubar
7.	Pjotr Jakovlev	Väikearvuti multiplekserkanali organisatsioon	M. Jänes

Täiesti loomulik, et need ÜTÜ raames valminud tööd said aluseks ka diplomitöödele. Olgu seejuures märgitud, et **Virve Vaheri** 1974. a. konverentsile esitatud töö käsitles bi-

[10] Студенческая Научно-Техническая Конференция Вузов Прибалтийских Республик, Белорусской ССР и Молдавской ССР. 8-10. Апреля 1974 г. Таллин, 1974.

naarseid otsustusdiagramme, mis oli tookord täiesti tundmatu matemaatika, millest aga 12 aasta pärast kujunes arvutiteadustes buum.

Seminaridest ja teadustööst

Kateedri seminarid

1973. aasta sügissemestril viis kateedrijuhataja sisse ühe uuenduse kateedri koosolekute stiili, mis seisnes teadusseminaride ja seni põhiliselt kateedri tegevusjuhtimisele pühendatud koosolekute ühendamises. Kateedri teadustöö temaatikast ja õppejõudude kaasamisest teadustöösse 1973/74. õppeaastal annab ülevaate järgmine seminaride tabel:

1973/74. õ.-a. sügissemester		
Kuup.	Esineja	Ettekanne
28.09.	R. Ubar	Meetod diagnostikasõnastike ekvivalentseks teisendamiseks
	H. Mägi	Ülevaade kvalifikatsioonitõstmise kursustest
26.10.	H.Mägi	Signaalide digitaalsest töötlemisest. Kiire Fourier' teisenduse protsessor
	U. Agur	Elektronarvutite rakendusvõimalusi teadmiste kontrolliks Ülevaade NSVL ja Saksa DV töödest
23.11.	A.Viilup	Mikrodiagnostika projekteerimise probleeme mikroprogramm-juhtimisega arvutitele
	R. Ubar	Kombinatsioonskeemide diagnostika
28.12.	T. Plaks	Mitmenivoolised hierarhilised juhtimissüsteemid
	N. Piht	Digitaalarvuti mäluseadmete diagnostika
1973/74. õ.-a. kevadsemester		
22.02.	P. Kitsnik	Modelleerimissüsteem diagnostikatestide analüüsiks loogikaskeemides
	R. Ubar	Loogikaskeemide funktsionaalsest modelleerimisest (graafide meetod)
29.03.	T. Plaks	Väikearvuti sisetarkvara
	M. Jänes	Spetsialiseeritud väikearvuti aeglase kanali organiseerimine
19.04.	T.Altma, K.Grigorjeva	Väikearvuti käsusüsteemi modelleerimisest
	R. Ubar	Digitaalarvuti mikrodiagnostika modelleerimine
17.05.	K. Talvik	Ühest arvutustehnika komplekslaboratooriumi struktuurivariandist
	H. Mägi	Digitaalvoltmeetrite kalibreerimise automatiseerimine

Tabelist on näha, et kateedris hakkasid juba sel perioodil välja kujunema kaks diagnostikateemalist uurimissuunda: loogikaskeemide diagnostika (**Ubar** ja **Kitsnik**) ning mikroarvutite diagnostika (**Ubar**, **Viilup**, **Grigorjeva**, **Altma**). Arvutiarhitektuuride uurimisele pühendusid Plaks ja Jänes, elektroonika-alaste uuringutega tegelesid **Mägi** ja **Talvik**.

Olgu märgitud, et 22. veebruari seminar 1974. a. osutus sündmuseks, kus esmakordselt võeti digitaalskeemide diagnostiliseks modelleerimiseks kasutusele binaarsed otsustusdiagrammid (tookordse nimetuse all – *alternatiivsed graafid*). Järgmise aasta kevadel kaitses **Virve Vaher** sel teemal oma diplomiprojekti, millega kaasnes ka publikatsioon.[11] Kaks aastat hiljem, 1976. a. ilmus TPI toimetistes esmakordselt maailmas artikkel[12], mis käsitles digitaalskeemide struktuurset modelleerimist rikete diagnostika eesmärgil binaarsete otsustusdiagrammide abil. Artikkel oli venekeelne.

Kateedri õppejõud pidasid loengukursusi ka laiemalt kui oma siseseminaridel. Nii näiteks viis **Andres Keevallik** 1976. a sügisel läbi loengute seeria automaatide teooriast tervele teaduskonnale ja Raimund Ubar pikema kursuse diagnostikast Arvutustehnika EKB organiseerimisel Küberneetika Instituudis.

[11] В. Вахер, Р. Убар. О функциональном моделировании диагностических тестов в схемах ЦВМ. Тезисы докладов 20-й Конференции технических университетов Балтийского, Belorussion и Молдавской государств, Таллин, 1974, стр. 133-134.

[12] R. Ubar. Test Generation for Digital Circuits with Alternative Graphs. Proceedings of TTU, No.409, 1976, Tallinn, pp. 75-81 (vene k.)

Andres Keevalliku kursus „Lõplike automaatide algebralisest dekomposistsiooniteooriast“ koosnes peatükkidest: *automaatide võrk kui mudel, dekompositsiooniülesande püstitus, tükelduste paaride algebra, üldine dekompositsiooniteoreem, dekompositsiooniülesanded piiravate tingimustega automaatide võrgu struktuuril, algebralise dekompositsiooniteooria rakendusi*.

Raimund Ubari loengute tsükkel Küberneetika Instituudis kattis ära järgmise programmi: *tehnilise diagnostika põhialused, matemaatiline aparatuur, digitaalseadme diagnostikamudel, testide genereerimine, testide simuleerimine, rikete diagnoos*.

Väliskontaktidest

Kateedri sisemiste seminaride kõrval hakkasid värvi andma ka külalisõppejõudude loengud nii Läänest kui Idast, kuigi Lääs ei ulatunud kaugemale kui rahvademokraatia riigid. Kateedrijuhataja **Ustus Agur** oma suurepärase saksa keele oskusega ja ka muidu erudeeritud ja huvitava natuurina sõlmis edukalt töiseid kontakte näiteks Saksa DV-s ja Ungaris. Tänu nendele kontaktidele sai ka kateeder osa sellest rahvusvahelisest suhtlusest.

Prof. Jürgen Meinhardti (paremal) külalisena tema kodus

Nii külastas meid näiteks 1975-ndal aastal prof. **Jürgen Meinhardt** Dresdeni Kõrgemast Tehnikakoolist, kes oli enne ülikooli õppejõuks asumist saanud suure praktilise kogemuse Saksa DV kuulsas arvutifirmas Robotron. Prof. Meinhardt pidas meile loengu „Õppetöö Saksa DV kõrgkoolides elektrotehnika ja elektroonika aladel“. Loeng toimus vene keeles (!). See oli üsnagi levinud, et Saksa DV intelligents oskas vene keelt ja seal oli ka rohkesti saksa professoreid, kes olid oma kõrghariduse saanud Venemaal. Ettekandele lisandus ka diapositiividega illustreeritud ülevaade Saksa DV vaatamisväärsustest, mis oli väga tänuväärt kingitus kateedri rahvale, kellele muu maailm oli riigipiiridega suletud.

Arvutiinimestele oli väga huvitav kuulda muidugi arvutitehnika arengust üldse Saksa DV-s ja eriti sellest, kuidas Robotronis ehitati saksa ühtsusseeria arvutit ESER *(Einheitliches System Elektronischer Rechenmaschinen)*, millist nimetust kasutati Vastastikuse Majandusabi Nõukogu riikides ühtsusseeria arvutite EC tähistamiseks. Robotronis toodeti ka väikearvuteid, mis tekitas meile erilist huvi, kuna kateedri teadustöö suunaks olidki kujunemas ühelt poolt miniarvutite arhitektuurid ja teiselt poolt miniarvutite autodiagnostika (enesetestimine).

Markantne lugu juhtus ühe **Ubari** loenguga aines s*issejuhatus erialasse*, mida külastas huvipärast ka prof. Meinhardt. Kuna loeng toimus vene grupile, seega ka vene keeles, siis sobis see loeng hästi ka külalisele. Loengu teemaks oli ülevaade arvutite ajaloost, kus Ubar rääkis USA arvutist ENIAC kui esimesest programmeeritavast laiaotstarbelisest elektronarvutist maailmas. Saksa professori rahvustunne sai sellest puudutatud ja pärast loengut tuli ta lektori juurde ning korrigeeris: „Esimese programmeeritava arvuti maailmas konstrueeris sakslane **Konrad Zuse**.“

Idasakslastele oli rahvuse probleem, just ajaloo seisukohalt, väga valulik küsimus. Sageli ütlesid nad frustreeritult: „Meil ei olegi ajalugu, meil ei ole ei **Goethet** ega **Wagnerit**, meie ajalugu algab alles 1949. aastal…“ Nii ütlesid nad aga rohkem protestiks, sest sügaval hinges oli ikkagi kõik teisiti ja seepärast oli loomulikult väga oluline, et just Konrad Zuse oli esimene, aga mitte ENIAC. Saksa DV-ga olid kateedril väga tihedad töösuhted. Dresdeni Tehnikaülikoolis viibis 1974/75. õppeaastal Raimund Ubar 10 kuud stažeerimisel, aga Dresdeni Kõrgemas Tehnikakoolis õppis terve rida eesti tudengeid. 70-ndatel ja 80-ndatel levisid kateedri töösuhted paljudesse teistesse ülikoolidesse Saksa DV-s – Ilmenausse, Berliini, Leipzigisse, Magdeburgi, Rostocki, Wismarisse ja mujale.

Ungariga tekkisid kateedril kontaktid Budapesti Tehnikaülikooli professori **Toth**'i kaudu, kes oli samuti väikearvutite arhitektuuride asjatundja ja kes pidas kateedrile huvitava loengu miniarvutite mikrokäsu sõna optimaalse pikkuse leidmise teemal.

Tuntumatest N Liidu teadlastest, kes sel perioodil meid külastasid ja mitmeid loenguteseeriaid pidasid, olid akadeemik **Arkadi Zakrevski** Minski Informaatika Probleemide Instituudist ja prof. **Samari Baranov** Leningradi Täppismehaanika ja Optika Instituudist. Mõlemad on rahvusvaheliselt väga tuntud arvutiteadlased ja avaldanud palju monograafiaid ning mõlemaga lõi esimesed kontaktid kateedri hilisem juhataja prof. **Andres Keevallik**.

Akadeemik **Zakrevski** oli väljapaistev küberneetik ja diskreetse matemaatika spetsialist kes, töötades Tomski Ülikoolis ja hiljem Valgevenes, rajas väga tugeva koolkonna. Zakrevski tuntumaks teoseks tema kokku 26 monograafia hulgas on *Diskreetsete automaatide sünteesi algoritmid*, mille põhjal ja tema juhendamisel loodi terviklik automaatne diskreetsete automaatide sünteesi süsteem. See tarkvara sai väga populaarseks paljudes N Liidu ülikoolides ja projekteerimisorganisatsioonides.

Akadeemik Zakrevski juures Valgevene Küberneetika Instituudis õppis aastatel 1978-1982 aspirantuuris praegune kateedri õppejõud **Aleksander Sudnitsõn**. Zakrevski on oponeerinud ka mitmel korral kateedris kirjutatud kandidaadi- ja doktoriväitekirju.

Prof. **Baranoviga**, kes praegu elab Kanadas on kateedril (praegu instituudil) tihedad töised kontaktid veel tänasenigi. Professori panuseks arvutiteaduses on struktuursete automaatide sünteesi teooria ja projekteerimise metoodika

Aastal 1976 külastas kateedrit Rootsi teadlane prof. **Harold Lawson** Linköpingi Ülikoolist, kelle „maaletoojaks“ oli kateedri dotsent **Andri Ariste**. Lawson oli väga tuntud tarkvara insener ja arvutite arhitekt ning teda teatakse eelkõige sellise tarkvaratehnika mõiste nagu *pointer* kasutusele võtu tõttu. Selle leiutise eest autasustati teda 2000. a. IEEE auhinnaga *Computer Pioneer Award*. Prof. Lawson pidas 8. detsembril 1976. aastal tervele ülikoolile väga meelde jäänud loengu arvutistruktuuridest ja mikroprogrammeerimisest.

Kontaktidest N Liidu avarustel

Mõne aja jätkus koostöö Baumani nim. Tehnikaülikooliga, kus **Raimund Ubar** oli oma väitekirja kaitsnud. Õige pea aga alustasime koostööd Pirita tee Teadusliku Uurimise ja Projekteerimis-Tehnoloogia Instituudiga (TUPTI) esialgu väikearvutite diagnostika teemal. Kuna arvutite diagnostika oli meile tookord ikkagi suhteliselt uudne valdkond, siis tuli selle teema käivitamise algperioodil päris palju ringi sõita mööda Venemaad ja külastada mitmeid uurimisinstituute, kus tegeldi selle temaatikaga, nagu näiteks ИНЭУМ, НИИЦЭВТ, ИПУ, МИИТ Moskvas, ЕрНИИММ Armeenias ja mujal.

Eriti head kontaktid tekkisid meil Elektroonsete Juhtimismasinate Instituudiga ИНЭУМ, kus ka Küberneetika Instituudil oli häid sidemeid. Instituut oli orienteeritud spetsiaalarvutitele, eeskätt testimissüsteemidele (АУПК, М-4000) ja neil olid suured kogemused testimise valdkonnas üldse, just selles, kus meil oli vaja juurde õppida ja kogemusi saada. Külastastatud sai seal mitmel korral kuulsat Grobmani laborit, kus meil arenes sõprus mitmete N Liidu juhtivate teadlastega testimise valdkonnas. **D. Grobman** juhtis diagnostika-alast uurimistööd terves instituudis ja oli väga hea asjatundja statistiliste meetodite kasutamise alal testide kvaliteedi hindamise eesmärgil. **B. Sergejev** ja **M. Brodski** tegelesid akseleraatorite ehitamisega, **Mihhail Joffe** oli üks pioneere N Liidus digitaalskeemide kolmemõõtmelise simuleerimise alal ja tundis hästi rikete simuleerimismeetodeid, **Boris Basok** tegeles viiterikete testimisega ja **V. Zolotarevski** mudelite optimeerimisega (hiljem läks Valgevenesse ja lõi seal oma uurimisgrupi).

Juhtimisprobleemide instituut ИПУ (endine АТИ – Automaatika ja Telemehaanika Instituut) eesotsas **Pavel Parhomenko** juhitava laboriga nr. 27 dirigeeris kogu diagnostikat N Liidus, korraldades muuhulgas ka iga-aastaseid diagnostikakoole, kuhu oli väga raske osalema pääseda. See oli selle ala teadlaste omaette elitaarne klubi. Pärast seda, kui 1976. a. ka elektronarvutite kateeder oma esindajaga oli pääsenud sellesse „klubisse" (mis põhjustel, sellest on juttu hiljem), laienes meie kontaktide ring N Liidus väga kiiresti.

Pavel Pavlovitš Parhomenko (keda kutsuti „P kuubis") oli nn. *küsimustike teooria*[13] maaletooja N Liitu (pärast seda, kui tal oli õnnestunud aasta Prantsusmaal stažeerida). Ka tema enda väitekiri ja paljud teadustulemused põhinesid küsimustike teoorial. Hiljem sai sellest instituudist ja tervest laborist nr. 27 väga hea koostööpartner arvutite kateedrile, nii mitmelgi korral saime sealt väitekirjade oponente. Jegor Sogomonjan, Läti päritolu teadlane, kes aga üldse läti keelt ei osanud, oponeeris **Raimund Ubari** doktoritööd, Pavel Parhomenko ise oponeeris **Mari Plaki** kandidaadiväitekirja, käesolevate ridade kirjutaja oponeeris **Igor Litikovi** doktoritööd, mis oli isetestivate süsteemide valdkonnast (BIST – *Built-in Self-Test*), temaatikas, mille ta avaldas ka monograafiana 1990. a. (koos tänusõnadega oma oponendile Eestist). Minul kahjuks oma 1986. a. kaitstud doktoritööd raamatuna avaldada ei õnnestunud, ehkki oli 3 toetuskirja N Liidu akadeemikutelt. Tihedaid kontakte oli meil veel **Viktor Haltševi**, **Mihhail Žukoviga** ja **A.Tjuriniga**. Viimane oli üks esimesi maailmas, kes oli saanud lootustandvaid tulemusi rikete paralleelse simuleerimise alal. Kahjuks hukkus see noor talent autoõnnetusel.

Külaskäik Moskva Raudteetranspordi Inseneride Instituuti pani aluse kontaktideks **B. Kaganiga**, kes koos oma õpilase **I. Mkrtumjaniga** oli välja arendanud uudse meetodi arvutite enesediagnostikaks nn. *laieneva tuuma meetodi*, mis sai ka meile lähtepunktiks arvuti STEM mikrodiagnostika väljatöötamisel. Mkrtumjaniga jätkusid kontaktid veel hiljemgi, kui ta oli koju instituuti ЕрНИИММ Armeenias tagasi läinud. B. Kagani teise aspirandi, **Galina Šeikinaga** diskuteerisime kirjavahetuse teel pikemat aega Boole'i diferentsiaalalgebra teemadel. 1978. a. töötas B. Kagani grupp välja formaalse keele MODIS-B mikroprotsessorsüsteemide modelleerimiseks kolmel tasemel, millega nad olid väga väljapaistval positsioonil maailmas, sest just nendel aastatel hakkas kogu maailmas arenema väga tormiliselt niisugune valdkond nagu mikroprotsessorite diagnostika.

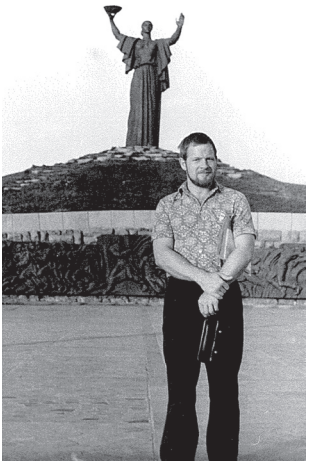
[13] C. F. Picard. Graphes et questionnaires. Paris: Gauthier-Villars, 1972.

Pärast 1976-ndat aastat käivitus elektronarvutite kateedril väga tihe koostöö ja konkurents Vladivostokis – NL Teaduste Akadeemia Kaug-Ida Teaduskeskuse Automaatjuhtimise Instituudiga just sellessamas valdkonnas. Labori juhatajaks oli seal **Valeri Tšipulis**, Leedu päritolu teadlane, kes aga üldse leedu keelt ei osanud. Koos **Sergei Šaršunoviga** arendasid nad täpselt samasuguseid mikroprotsessorite diagnostika ideesid, mida **Jacob Abraham**[14] koos oma õpilase **Sattish Thatte**'ga USA-s, mis on täna enim tsiteeritum artikkel mikroprotsessorite diagnostikas, ainult nad jäid mõned aastad avaldamisega hiljaks. Eks meiegi oma kateedris jäime selles võidujooksus kahjuks aasta võrra[15] alla. Aga oma kaotusest saime teada veel aasta hiljem (nii aeglaselt liikus siis info Läänest Itta).

Kolleegid Vladivostokist. Vasakult Malõšenko, Tšipulis, Nemolotšnov (1980).

Aljoša Žirabok ja **Jura Malõšenko** tegelesid analoogsüsteemide diagnostikaga, millest meie, digitaalinimesed, käisime ringiga mööda. Žirabokiga on aga senini veel tihedad sidemed **Ülle Kottal** Küberneetika Instituudist. **A. Razdobrejevi** kandidaaditööd käisin oponeerimas Vladivostokis 1980. aastal.

Mitmel korral oli võimalus kohtuda konverentsidel prof. **Kustas Jõuduga**, eesti teadlasega, esimese eestikeelse raamatu autoriga juhtimissüsteemide ja töökindluse alal, kes kolis hiljem Moskvasse ja töötas Moskva Avioinstituudis. Temaga vahetasime agaralt õppevahendeid, meid huvitas arvutite töökindluse õpetamine, teda aga arvutite testimine ja diagnostika.


Agu Viilup Kiievis konverentsil (1978)

Iga-aastaseid kevadisi masinprojekteerimise alaseid konverentse organiseerisid meie Leedu kolleegid Kaunase Polütehnilisest Instituudist (KPI), mis olid üleliiduliselt väga populaarsed ja hinnatud. Osalesime seal esimest korda 1974. aastal, luues kontakte eeskätt Leedu diagnostikutega. Esimese oma ettekandeni[16] jõudsime sellel konverentsil alles 1977. aastal koos aspirantide **Kitsniku** ja **Viilupiga**.

Kõige töisemaid kontakte hoidsid meiega üleval prof. **L. Abraitis**, prof. **Rimantas Sheinauskas**, prof. **Genovaite Jasinieviciene**, hilisem KPI prorektor **Aleksandras Targamadze**, **Kestutis Motejunas**, **Jevgeni Metsajev** jt. Prof Abraitis oli Peeter Kitsniku kandidaaditöö oponent, Rimantas Sheinauskas oli **Teet Evartsoni** ja **Helena Kruusi** väitekirjade oponent, **Raimund Ubar** aga oli Jasinieviciene ja Targamadze doktoritööde oponent.

---

[14] S. Thatte, J. Abraham. Test Generation for Microprocessors. IEEE Trans. on Computers, Vol. C-29, 1980.

[15] R. Ubar. Vektorielle Alternative Graphen und Fehlerdiagnose für digitale Systeme. Nachrichtentechnik/ Elektronik, (31) 1981, H.1, pp. 25-29.

[16] А. Виилуп, П. Китсник, Р. Убар. Дедуктивный анализ тестов в синхронных цировых схемах без обратной связи. Вычислительная техника, Каунас, 1977, с. 178-181.

Taganrogis konverentsil. Tšehhovi maja. Raimund Ubar paremal koos kolleegiga Leedust (1974).

Laual lebab Kaunase Polütehnilise Instituudi 1976. aasta lepingulise uurimistöö aruanne Vilniuse Automaatikaseadmete Erikonstrueerimisbüroole. See on korralik trükis, varustatud riikliku registreerimisnumbriga. Samasuguseid aruandeid õnnestus meil pidevalt tellida 70-ndate aastate esimesel poolel Üleliiduliselt Teadus-tehnilisest infokeskusest VNTIZ näiteks Harkovi Avioinstituudilt, Moskva Raudteetranspordi Inseneride Instituudilt, kuulsalt Moskva Insenerifüüsika Instituudilt MIFI, aga isegi poolsalajastepoolavalike instituutide aruandeid, nagu näiteks INEUM. Nende tööde tellijatena oli enamasti märgitud mingi salajane tehas või uurimisasutus tähistatuna postkasti numbriga, näiteks P/K G-4677 vms. Niisuguste aruannete saamisega Moskva infokeskusest VNTIZ kaasnes ka palve täita küsitluslehti selle kohta, kui palju meil sellest või teisest teadustööst kasu oli. Niiviisi toimus teadusinfo ringlemine NL-is, küll aeglaselt, aga siiski päris aktiivselt. Imestan vaid selle üle, et TPI-s trükkisime oma analoogilisi aruandeid vaid 1-2 eksemplaris, mis jäid riiulile seisma ega tulnud neid kuhugi edasi levitamiseks saata peale vastava töö konkreetsete tellijate.

Niisugune lai kontaktide võrk, mis hiljem täienes ja pidevalt avardus, soosis kahtlemata meie teaduslikku uurimistööd kateedris, ei lasknud stagneeruda ja aitas meil sedavõrd, kuidas tulemusi kogunes, tunnustust leida. Polnud parata, et pidime piirduma põhiliselt ainult Venemaaga, selle piirdumise määrasid riigipiirid.

Teadustöö käivitamisest kateedris

Kateedri esimene lepinguline töö: trikotaažitootmiskoondisele „Marat" valmistatud andmehõivepult

Nagu eelpool juba mainitud, algas teadustöö suunaline tegevus kateedris lepinguliste tööde sõlmimise näol **Ustus Aguri** initsiatiivil trikotaažitootmiskoondisega Marat. Töö sisuks oli andmesisestusseadmete ning infosüsteemi väljatöötamine operatiivse info saamiseks koondise toodangust ja selle haldamiseks. Tegemist oli praktilise arendustööga, kus teadusprobleeme ei püstitatud. Püüdes siiski ka selles tegevustikus leida teaduslikke väljakutseid, tulime mõttele, et tootmisressursside ja toodangumahtude haldamine koos laomajandusega pakub ju päris huvitavaid optimeerimise probleeme.

Olles Moskvas optimeerimisülesannete lahendamisel mõningaid kogemusi saanud ja ka avaldanud töid sel teemal[17], oli nüüd huvitav oma teadmisi käsil oleva lepingu raamides

[17] Р. Убар. О выборе контролируемых параметров. Автоматика и вычислительная техника. Академия Наук Латвийской ССР, 1971, 3, с. 28-32.

rakendada Marati laomajandussüsteemi optimeerimiseks. Aga see tegevus kujunes väga lühikeseks episoodiks, sest tegelikult polnud keegi huvitatud kulutuste minimeerimisest ega ruumide kokkuhoiust, mida meie optimeerimise algoritmid üritasid saavutada.

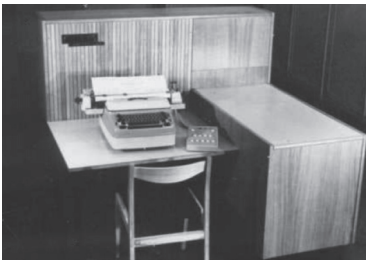
Meie teadustöö oli 70-ndatel ja ka hiljem koordineeritud hierarhiliselt kolmel tasemel: teadussuund, teadusteema ja uurimistöö. Puudus suundade ja teemade nimetuste eriline klassifikatsioon, kuhu oma uurimusi mahutada, mistõttu oli võimalus valida suundi ja teemasid ning anda neile nimetusi suhteliselt vabalt.

Kateedri teadustöö oli koordineeritud väga üldise uurimissuunaga „Süsteemide ja vahendite väljatöötamine tööstusprotsesside juhtimiseks elektronarvutite abil.“

Kateedris oli 1972. aastal kaks uurimisteemat: *„Väikearvuti tarkvarakompleksi väljatöötamine“*, mille juhiks oli **Raimund Ubar** ja *„ Automaatse kontrollisüsteemi ning mõõteaparatuuri väljatöötamine elektronarvuti baasil“,* mida juhtis **Harri Mägi**.

Esimese teema alla kuulusid neli uurimistööd: XO-4093 (juht: Raimund Ubar), XO-4094 (**Mart Jänes**), XO-4095 (**Tiit Altma**) ning XO-386 (**Ustus Agur**). Teise teema alla kuulus töö XO-4096, mida juhtis **Kalle Talvik**.

Esimese lepingu tööstusettevõtetega digitaalarvutite diagnostika teemal sõlmis elektronarvutite kateeder 5. juulil 1972. aastal tähtajaga 31. detsembrini 1973. aastal M. I. Kalinini nimelise Elektrotehnika Tehasega. Teema nimetuseks oli *„Automaatne rikete diagnostika spetsialiseeritud väikearvutile STEM-2“*. Töö teoreetilisteks eesmärkideks oli metoodika väljatöötamine arvutirikete modelleerimiseks ning algoritmide loomine nende rikete avastamiseks ja diagnoosimiseks. Rakenduslikuks eesmärgiks oli mikroprogrammi väljatöötamine, mis võimaldas arvutil ennast ise testida. Projekti asus juhtima Raimund Ubar ja tema uurimisgruppi kuulusid kaks aastat tagasi Ungaris oma diplomitöö teinud ja Tallinnas kaitsnud **Agu Viilup**, kateedri diplomand **Peeter Kitsnik** ning kateedri insener **Aleksander Kronk**.



Arvuti STEM aastal 1964

Projekti raames läbiviidud uuringute abil saadi kolm väärtuslikku teadustulemust: (1) töötati välja väikearvuti enesetestimise kontseptsioon ja metoodika rikete diagnoosiks (Ubar), (2) töötati välja metoodika ja selle alusel diagnostika mikroprogramm arvuti STEM-2 juhtosa testimiseks ning (3) loodi algoritmid ja programmide süsteem rikete simuleerimiseks digitaalskeemides, mis võimaldas hinnata testimise kvaliteeti.

Selle esimesese diagnostikaalase uurimistöö tulemused said aluseks kogu hilisemale uurimistööle kateedris digitaalskeemide ja -süsteemide diagnostika vallas.

Töö väikearvuti STEM-2 mikrodiagnostika väljatöötamiseks toimus tihedas koostöös Küberneetika Instituudi EKB-ga. Elektronarvutite kateedri diagnostikute olulist rolli kirjeldab ilmekalt EKB Tehnikanõukogu istungite näidistööplaan 1976. a. IV kvartalis: Kolm teemat neljast selles EKB tööplaanis puudutasid TPI elektronarvutite kateedrit. Leping nr. 18 puudutas otseselt diagnostika töögrupi ülesandeid.

Andri Ariste teemaga olime seotud niivõrd, kuivõrd diagnostika mikroprogrammi väljatöötamine sõltus aparatuurist ja kõigist neist muudatustest, mida EKB pidevalt aparatuuri sisse viisid. Kui esmaspäeval saime aparatuuri sisse viidud uued muudatused ja reedeks olime lõpetanud oma mikroprogrammide parandamise, siis esmaspäeval, selle

Nr	Istungi teema	Aeg	Ettekandja
1	Väikearvutite riistvara arendamise põhsuunad ja perspektiivplaan lähemaks 3-ks aastaks	3. nov.	Andri Ariste
2	Väikearvutite sisemise ja instrumentaalse tarkvara arendamise põhisuunad ja perspektiivplaan lähemaks 3-ks aastaks	11. nov.	Jüri Šaraškin
3	Lepingu nr. 14 (magnetkilel baseeruva mälu) töötulemused	9. dets.	Mark Sinisoo
4	Tööde seis ja tulemused numbriliste automaatide diagnostikaaparatuuri väljatöötamisel (Leping nr. 18)	16. dets.	Harry Tani Raimund Ubar

Istungid toimuvad Lenini pst. 10, III korrusel, aspirantuuri saalis
Tehnikanõukogu esimees Kalju Lepik

asemel, et valmis töö Aristele rõõmsalt ette näidata, viidi meid fakti ette, et kõik tuleb ringi teha, sest vahepeal olid juba tekkinud uued muudatused. Projekti logiraamatu koltunud lehtedel on niisugune märge: „Uusi muutusi me sisse enam ei vii, kuna pole selge, mis STEM-2 meestel lõpuks peale jääb või ei jää.“ Samas aga seadis aeg ette piirid.

Jüri Šaraškini teemaga olime seotud otseselt selles mõttes, et meie rikete otsimise strateegia ja algoritmid tuli realiseerida Jüri töögrupi inimestel. Regulaarsetel kokkusaamistel Jüriga tema laboris (ehk siis kappidega eraldatud pisikesel „privaatpinnal“) Lenini pst. 10 asuvas endises Teaduste Akadeemia aktusesaalis arutasime kui raske on ühte või teist algoritmi ära programmeerida. Et ükski tähtis mõte, järeldus või otsus kaduma ei läheks, oli Jüril tavaks meie vestlusi magnetofoniga lindistada.

Elektronarvutite kateedris töötasid usinalt nende projektide kallal **Agu Viilup** ja **Peeter Kitsnik**. Agu ülesandeks oli arvutile STEM-2 diagnostika mikroprogrammide projekteerimine, Peetri ülesandeks aga testide simuleerimine funktsionaalsel tasandil ja vigaste mikrokäskude avastamine. Arendasime selleks protsessori „laieneval tuumal“ põhinevat diagnostikateooriat ja algoritme, mille baasil valmis ka meie esimene ühisartikkel rahvusvahelisel konverentsil Tallinnas.[18]

Agu tegi kiireid edusamme ja ja tema jaoks planeeritud esimene versioon väitekirja plaanist kannab daatumit 9. mai 1977, mille järgi töö oleks pidanud valmima 1980. a. lõpuks. Paraku kujunesid asjad teisiti. Esimesena kaitses meie diagnostikagrupist kandidaadi väitekirja **Peeter Kitsnik** 1982. aastal. Peeter oli väga sihikindel ja eesmärkidele orienteeritud, ei teinud rohkem kui täpselt vaja, mis tagas lõppkokkuvõttes ka edu. Samas kui Agu huvid valgusid pidevalt laiali, probleemide lõpuni lahendamise asemel püstitas ta endale üha uusi ja uusi probleeme ja väitekirja kirjutamine aina venis.

Kateedrijuhataja vahetub

1976. a. valiti elektronarvutite kateedri juhatajaks dots. **Andres Keevallik** seoses kateedri asutaja-juhataja dots. **Ustus Aguri** teise valimisperioodi lõppemisega. Kuna aga Keevallik siirdus 1977. a. algul 10 kuuks stažeerima Linköpingi Ülikooli, siis jätkas kateeri juhatamist rektori käskkirja alusel veel aasta jooksul Agur. Pärast Keevalliku naasmist Rootsist lahkus Agur TPI-st ja siirdus tööle Eesti Informatsiooni Instituuti teadusdirektori ametikohale. Hiljem töötas ta samas instituudis direktorina, jätkates samal ajal ka pedagoogilist tööd kateedri juures kohakaasluse alusel.

Uute õppejõududena asusid kateedris tööle **Leo Siem** (alates 1977. a.) **Peeter Kitsnik** ja **Agu Viilup** (alates 1978. a.), **Paul Leis** (alates 1979. a.), **Margus Kruus** (alates 1980. a) ja veel hiljem alates 1983. a. **Aleksander Sudnitsõn** ning **Kalle Tammemäe**.

[18] R. Ubar, A. Viilup, P. Kitsnik. Simulating System for Minicomputer Diagnostic Programs. Preprints of IFAC/IFIP 1st Int. Symp. – SOCOCO-76, Tallinn, August, 1976, pp. 115-117.

1983. a. moodustati TA Küberneetika Instituudi juures automaatikateaduskonna küberneetika baaskateeder, mille koosseisus hakkasid elektronarvutite kateedri õppetööd läbi viima dots. **Ants Wõrk** ja van.-õp. **Vaike Mere**. Baaskateedri koosseisus jätkas tööd ka dots. **Andri Ariste**.

Koos erialaainete õpetamisega kateedris 1969. a. alustati aktiivselt ka õppealase laboratoorse baasi loomist. Aastatel 1970-71 projekteeriti ja 1972-73 ehitati kateedri oma jõududega valmis stendide kompleks arvutielementide laboratoorse praktikumi läbiviimiseks. 1973. aastal ilmusid kateedrisse esimesed arvutid MIR ja Iskra.

1970-ndate lõpul projekteeriti ja valmistati jällegi kateedri oma jõududega universaalsed laboristendid, mis võimaldasid läbi viia kõiki „Arvutielementide" kursuse ja osaliselt ka „Arvutiteooria" kursuse laboratoorseid töid.

Alates 1980. a. asus kateedris tööle TUS juhtiva insenerina **Arvo Toomsalu**, kelle ülesandeks sai hakata lugema „Arvutite perifeerseadmete" kursust. Oma kursuse laborite läbiviimiseks projekteeris ta ja ehitas lühikese ajaga valmis spetsiaalse laborimakettide komplekti. Toomsalu tegeles väga aktiivselt leiutamise ja ratsionaliseerimisega ning pälvis peagi TPI parima leiutaja ja ratsionaliseerija aunimetuse.

Aastatel 1980-1982 projekteeriti ja ehitati valmis koostöös Taganrogi Raadiotehnika Instituudiga akadeemik **Anatoli Vassiljevitš Kaljajevi** juhendamisel õppeotstarbeline mikroarvuti УЭВМ ning koostati sellel teostatavate laboritööde metoodilised juhendid[19]. Kateedri poolt osalesid selles töös dots. **A. Keevallik** ja **A. Sudnitsõn**.

Kateedri laboratoorse baasi arendamise ja ülesehitamise organiseerimisel on andnud suure panuse laboratooriumi juhatajad **J. Raja** (1966-99), **Eino Mäesalu** (1969-71), **Nigul Piht** (1971-75, 1985-92), **Juhan Kull** (1976-1984).

Uus kateedri juhataja Andres Keevallik

Kateedri õppejõud tegutsesid algusest peale väga aktiivselt õppe-metoodilise tööga. Lisaks uute loengukursuste ja laboritööde tsüklite ettevalmistamisele loodi pidevalt õppekirjandust ja metoodikamaterjale nii erialaainete toetamiseks kui ka nende arvutustehnikaalaste ainete õpetamise tarbeks, mis olid määratud automaatikateaduskonna teistele erialadele ja majandusteaduskonna infotöötluse erialale.

Arvestades arvutustehnika kiiret arengut, tuli pidevalt uuendada nii õpetatavate kursuste sisu kui ka õpetamise metoodikat. Esimese 10 aasta jooksul andis kateeder TPI rotaprindil välja ühtekokku 13 nimetust konspekte ja õppematerjale. Kirjastuse „Valgus" poolt anti 1976. a. välja **Ustus Aguri** monograafia *Andmetöötluse riistvara* ning U. Aguri ja **V. Hansoni** ühistöös kirjutatud *Vene-Eesti-Inglise väike arvutisõnastik.* Viimane oli Ustus Aguri aastaid kestnud eestikeelse arvutiterminoloogia alase töö tulemus.

[19] М. Каральник, А. Кеэваллик, О. Макаревич, А. Судницын, „Микропроцессорные системы. Учебно-методическое пособие", Таллинн, 1983, 99с.

Harri Mägi: Kateedri esimese kümnendi kroonika

Alljärgnev materjal on lühikokkuvõte ülevaatest, mille koostas dots. **Harri Mägi** TTÜ arhiivis säilinud kateedrikoosolekute protokollide põhjal ajavahemikust 1969 kuni 1977, mil kateedrit juhatas dots. **Ustus Agur**. Kuni õppeaastani 1969/70 tegeles TPI informatsioonitehnika kateeder ainult üldelektrotehnika õpetamisega. Selles kokkuvõttes on tähelepanu pööratud olulisematele ja märgilisematele sündmustele kateedri elus, personaalia kujunemisele, jättes kõrvale standardse olmetemaatilise materjali ja korduva ning sageli formaalse tüüparuandluse.

1969/70. Informatsioonitehnika kateeder alustab tegelemist lisaks senisele ka erialase õpetamisega. Õppejõudude vahel jagatakse välja tööülesanded, mis haaravad loengute ettevalmistamist, metoodilisi probleeme ja laboribaasi ülesehitamist, aga ka arvutustehnika üldkursuste läbiviimist ülikooli ulatuses. Eriline rõhk on digitaalarvutite laboritööde nomenklatuuri ja juhendite väljatöötamisel. Korraldatakse tööstuspraktikat.

1970/71. Kateedri koosseis: dots. Agur, dots. Mežburd, dots. Võrk, v.õp. Davõdov, v.õp. H. Mägi, v.õp. V. Mägi, ass. Raus, ass. Kõiv, ass. Talvik, v.õp. Ubar. Õppeaastat alustavad 27 esmakursuslast. Õppetöö hakkab toimuma uuel auditoorse töö graafikul – loeng 50 min. ja vaheaeg 10 min. ÜTÜ konverentsile Riiga saadetakse 4 üliõpilastööd: Toomsalu, Räisa, Astanovski ja Plaks. Esimene diplomiprojektide kaitsmine: 13 hinnet „5“, 15 hinnet „4“, 5 hinnet „3“. Kiitusega lõpetajaid on 6.

1971/72. Laborijuhatajaks asub Piht. Lahkus ass. Kõiv, juurde tuleb ass. Pärlist. Lõppenud aastal 1971 kaitsesid edukalt kandidaadiväitekirju Ubar ja Mägi. Tähelepanu juhtimine Davõdovile ja Talvikule, et nad samuti oma väitekirjad kaitsmiseni viiksid. Eriala laboristendide väljatöötamise ülesanne antakse H. Mägile. Eesmärgiks seatakse 4 universaalstendi valmistamise arvutielementide ja -sõlmede uurimiseks. Lõpetanutega sidemete parandamine: moodustatakse grupp, kuhu kuulub vähemalt üks aktiivne lõpetanu igast rühmast: 1971. lend – Altma, 1972. lend – Kronk, Jänes. 03.07. R. Ubari ülevaade tööstuspraktikast Jerevanis: individuaalne juhendamine on hea, režiim on range, elamistingimused – halvad, palgalise töö võimalust ei ole. Käivitatatakse uus lepinguline töö 264 TUPTI-ga diagnostika alal (Ubar).

1972/73. Üldelektrotehnika õpetamine „lahkub“ kateedrist ja antakse üle koos õppejõududega (Mežburd, Võrk, Davõdov, Pärlist) elektrimasinate kateedrisse. Lahkusid V. Mägi ja Raus, lisandusid värsked lõpetanud Jänes ja Altma. Kasvatuslik prohmakas: rida IV kursuse erialarühma üliõpilasi pidasid võimalikuks ilmuda endise rühmakaaslase kiriklikule laulatusele (pealegi vormimütsides). Kateedris on 2 lepingulist tööd: „Maratile“ – „Kompleksne andmetöötluse ja optimaaljuhtimise süsteem elektronarvuti baasil“ (Agur) ja TUPTI-le „Automaatne rikete diagnostika arvutile STEM“ (Ubar). Rõhutatakse vajadust kasutada loengutes põhiliste tehniliste õppevahenditena diapositiive. Kiitusega lõpetas Kitsnik, väga häid hindeid oli 52%.

1973/74. Kateedri koosseisu on lisandunud: sekretär Marve Keel, Kronk, Grigorjeva, Viilup, Kitsnik, tunnitasulisena Ariste. Vastuvõtul konkurssi ei olnud, sisse pääseti hindega 3,25. Kõrge väljalangevus, vaid 14 lõpetanut. Laboritööde baas täienes: väikearvuti Mir ja analoogarvuti MH-10. Digitaalarvutite elementide stendide ehitus on lõppjärgus (Mägi). Teadustöös tuleb kaasata rohkem tudengeid. Kiidetakse Ubarit, kes on haaranud sellesse terve õpperühma. Kuna tunnitasufond on väike, siis tuleb diplomiprojekteerimisse tööstuse esindajate asemel kaasata rohkem õppejõude. Noortel õppejõududel leida kiiremas korras endale väitekirjade teemad. Jänese aruanne ÜTÜ ringi tööst: 10 liiget, edukaim neist Kitsnik, kelle tööd hinnati TPI XXVI ÜTÜ konverentsil ja XIX Balti liiduvabariikide konverentsil diplomitega. Kokku esines konverentsidel 5 tudengit. Muret tekitab laboristendide kommutatsiooni halb seisukord – pistikukontaktid kuluvad kiiresti, laboritööde ajal tekib palju tõrkeid. Tootmispraktikaga probleem: seniselt partnerilt Jerevani tehaselt „Elektron“ ei ole vastust nõusolekuks.

1974/75. Tõsise uurimise all on diplomipraktika ja diplomiprojekteerimine (Piht). Erialapäeva ettevalmistamisest: otsustatakse läbi viia esimene erialapäev 1975. a. kevadel. Moodustatakse initsiatiivgrupp lõpetanutest: 1971 – Altma, Leis, Tooming, Mihhailov; 1972 – Grigorjeva, Reisberg, Suurväli; 1973 –

Kitsnik; 1974 – Lankots. Siemile ülesanne: korrastada lõpetanute kartoteek. Personaalia muudatused: Ubar siirdub aastaks Saksa DV-sse, Jänes ja Kitsnik – astuvad aspirantuuri, õppeaasta keskel tuleb Moskvast aspirantuurist Mihkel Maran. Tööle võetakse Lankots. Praktikabaasina loetakse Jerevan ebarahuldavaks – juurdepääs paljudesse tsehhidesse väga piiratud, elutingimused rasked. Uueks praktikakohaks leitakse Kiievi Juhtimisarvutite Tehas. Talviku aruanne rühmajuhendamisest: parimad rühmas on Arulaane, Evartson, Kirsberg.

1975/77. Protokollid puuduvad

1977/78. Kateedri koosseis: Agur (kat. juh. asetäitja Keevalliku asemel, kes stažeerib Rootsis), Ubar, Melnikov, Siem, Plaks, Plakk, Viilup, Kitsnik, Jänes, Piht, sekretär Jevgenja Keeroja. Asuvad tööle värsked lõpetanud Arulaane ja Evartson. Lõpetas 16 diplomandi (64% sisseastunutest). Jänes ja Kitsnik lõpetasid aspirantuuri. Uued aspirandid on Plakk ja Siem (LITMO juures Leningradis). Laborimakettide trükkplaatide valmistamine „Lääne Kaluris" edeneb, osa kõlblikke plaate on juba käes. Makettide kastide valmistamisega on raskusi: lubadused saada RET-i SKB-st haihtusid seoses Rebase ja Rüsterni lahkumisega Küberi EKB-sse. Ubari laborite arengukava tuleb muuta seoses mikroprotsessori saamisega, mistõttu ei ole vaja protsessorit ise valmistada. Ubar ja Ariste esitatakse dotsendi kutse omistamiseks.

30.12.1977. Kateedri koosolek. Kohal on: Agur, Keevallik, Ubar, Mägi, Arulaane, Evartson, Viilup, Jänes, Grigorjeva, Plakk, Lankots, Piht, Keeroja; Küberi EKB-st: Tani, Ariste, Lohuaru, Märtson, Toomsalu. Aspirant Jänes teeb ettekande vastvalminud dissertatsioonist. Arvutipäeva 1978 ettevalmistamisest: see üritus tuleb teha iga-aastaseks. See on viimane dots. Ustus Aguri allkirjaga protokoll. Kateedri juhatamise võtab üle dots. Andres Keevallik.

1966–1991
Meenutusi kateedri noorusajast

Selle raamatu jaoks materjalide kogumine algas juba aastaid tagasi, kui **Harri Mägi** emeriteerus ja tal hakkas olema rohkem aega arhiivide külastamiseks. Tänu Harri ülestähendustele ongi siia raamatusse kokku kogutud lühiülevaated kateedri koosolekute kohta perioodidel 1968-1977, kui kateedrit juhatas **Ustus Agur** (1. peatükk), 1978-1986, kui kateedrijuhatajaks oli **Andres Keevallik** (3. peatükk) ja **Raimund Ubari** kateedrijuhatamise perioodist 1987-1991 (4. peatükk). Harri Mägi omaenda mälestustest kateedri algusaastate kohta on osa koondatud 1. peatükki, mille oleme nõnda siis ühiselt kirja pannud. Tema rohkem isiklikumat laadi mälestustega aga algab käesolev peatükk. Edasi järgnevad selles peatükis veel teisedki kirjatükid kolleegidelt, kellele jääme tänu võlgu nende meeleolukate lugude ja meenutuste eest. Selles raamatus tuleb ette paraku palju kordumisi, aga me teame kõik, et kordamine on tarkuse ema.

Harri Mägi: Kuidas kõik algas

Arvutiajastu algusaastad NSV Liidus....

Möödunud sajandi 50-ndate aastate lõpuks sai nii N Liidu kui end muust maailmast raudse eesriidega eraldanud suurriigi paljudele teadus- ja tehnikavaldkondade spetsialistidele kui ka kõrgkoolides tehnikaõpetust jagavatele õppejõududele ja teadlastele selgeks, et tolleks ajaks Läänes juba märgatavaid edusamme teinud moodsa elektronarvutustehnikata pole edasine teaduse ja tehnika areng enam võimalik. 40-ndate lõpul kommunismi ideoloogide poolt küberneetika kuulutamine valeteaduseks ja arvutite ehk „mõtlevate masinate“ Kremli vande alla panemine oli selleks ajaks oma töö teinud: Nõukogude Liit ja selle koosseisus ka Eesti olid erinevate ekspertide hinnangul arvutustehnika alal arenenud lääneriikidest maha jäänud.

Tänu 50-ndate keskel alanud Hruštšovi „sula-ajale“ õnnestus teadlastel vabaneda kommunistliku ideoloogia ahelatest sel määral, et sai hakata arendama arvutustehnikat ja selle rakendamist teaduses ja tehnikas. Arvutientusiastid, kes seni olid pooleldi põranda all tegutsenud ja sedagi vaid teoreetiliselt, said võimaluse hakata arvuteid projekteerima ja ehitama. Parteil ja valitsusel tuli oma viga tunnistada ja asuda toetama arvutiteadust ning organiseerima arvutite tootmist. Parem hilja kui mitte kunagi! Partei ja valitsuse kõige kõrgematest instantsidest hakkas alla sadama kõikvõimalikke otsuseid, määruseid ja direktiive, mis kohustasid alamalseisvaid organeid võtma kasutusele kiireloomulisi meetmeid arvutustehnika igakülgseks arendamiseks ja rakendamiseks rahvamajanduse kõigil aladel.

Et riigis puudus selleks vajalik nii teaduslik, tehnoloogline, tehniline kui ka materiaalne baas ja ei olnud piisavalt ka selle ala spetsialiste, siis võttis nende ülalt alla tulnud direktiivide ellurakendamine väga visalt vedu. Olgugi, et arvutit soetada soovivaid ettevõtteid, õppeasutusi ja uurimisinstituute oli palju, ei olnud arvuteid võimalik hankida,

kuna puudus neid valmistav tööstus, mida alles hakati looma. Seetõttu ehitati arvuteid üksikeksemplaridena kohapeal, neid eriti vajavates ettevõtetes. Sellisteks olid esmajoones mitmesuguse teadusliku suunitlusega uurimisettevõtted, kus uurimistööd sageli takerdusid või osutusid hoopiski võimatuks, kuna polnud võimalik piiratud aja vältel sooritada nii suurt arvutuste mahtu, kui seda nõudsid uuringud.

Ülalkirjeldatud NSV Liidu taustsüsteemis algas arvutiajastu ka tolleaegses Eesti NSV-s. Arvuti hankimise ideega tuli 1958. aastal välja Eesti NSV Teaduste Akadeemia korrespondentliige **Nikolai Alumäe**, kes juhtis sel ajal TA Energeetika Instituudi mehaanikasektorit, kus teadustöö käigus tuli pidevalt lahendada kaheksanda ja veel kõrgema järgu diferentsiaalvõrrandeid *Feliks*-tüüpi mehaanilistel käsiarvutitel.

Tolleaegse N Liidu avarustel ringi vaadates, leidsid mehaanikasektori teadurid, et ainus arvuti, mida äsja oli tootma hakatud, on väikearvuti *Ural*. Arvutusvõimsuselt väike, kuid mõõtmetelt paras monstrum, mida valmistas Penzas asuv arvutitehas VEM (*Zavod Võtšislitelnõh Elektronnõh Mašin*). Ural-tüüpi arvuti ostis, installeeris ja 1959. a. lõpul ka käivitas Tartu Ülikool.

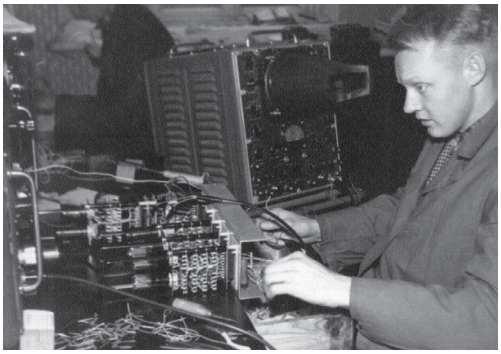
Ural oli esimene Eestis tööle rakendatud arvuti, millega otseselt seondus ka peagi ajakirjanike poolt kasutusse võetud tegusõna *raalima* s.o. arvutil ülesannet lahendama, programmi läbi laskma jne. Arvuti üldnimetusena hakkaski ajakirjanduses levima sõna raal, mis tänaseks on küll ununenud, kuid mida vanu ajalehti sirvides võib sageli leida. Seda terminit on püütud ajakirjanduses uuesti „elustada" seoses sülearvutiga, nimetades viimast *rüperaaliks*.

Kuna TA Energeetikainstituudile Ural oma näitajate poolest ei sobinud ja teisi sama klassi arvuteid ei toodetud, siis edasised otsingud viisid väikearvutite klassi kuuluva M-3 jälile, mis oli loodud NSVL Elektrotehnikatööstuse Ministeeriumi Teadusliku Uurimise Instituudis akadeemik **A. Jossifjani** juhtimisel. Arvutit M-3 seeriaviisiliselt ei toodetud. Väljatöötatud dokumentatsiooni järgi, mida instituut oli nõus väljastama, ehitati ainult selle arvuti üksikeksemplare instituutides ja tehastes. Kuna M-3 tehnilised näitajad rahuldasid tol ajal TA Energeetikainstituudi teadureid, siis langetati otsus soetada just seda tüüpi arvuti. Moskvast saadud dokumentatsiooni alusel otsustatigi hakata kohapeal arvutit ehitama. Selleks sõlmiti leping Tallinna raadiotehasega RET (tol ajal Punane RET), ainsa tehasega Eestis, kes oli nõus ja võimeline tolle aja kohta sellist unikaalset tellimust täitma. Moodustati kaks brigaadi: üks tellijapoolne, kes pidi pärast arvuti valmimist seda ekspluateerima hakkama ja teine RET-i poolne, kes pidi arvuti valmis ehitama.

Arnold Reitsakas oma poegadega Elbruse saalis (umbes 1990-ndate algus). Vasakult Jüri, Aleksander, Arnold ja Tiit Siida (2. lend).

Ehitajate meeskonda kuulusid noored insenerid **Arnold Reitsakas**, **Anna Reitsakas**, **Ants Koort**, **Arno Puskar**, **Heino Ivask**, **Voldemar Raag** (grupi juht), **Harri Mägi** (käesoleva loo kirjutaja) ja tehnoloog **Hendrik Anni**.

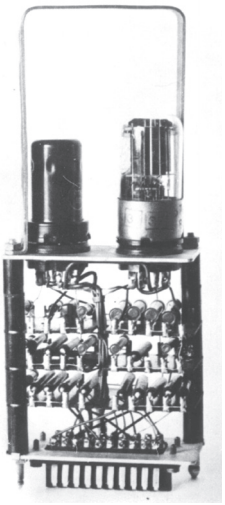
Tulevased arvuti kasutajad olid samuti noored insenerid **Mark Sinisoo**, **Henn Salum**, **Jüri Pukk**, **Arvo Siimon** ja **Heiki Sumre**, kes olid akadeemia palgal, kuid võtsid sellele vaatamata kogu ehitusperioodi vältel nõu ja jõuga ehitamisest ja sellele järgnevast häälestamisest osa. Nemad olid need, kes algul dokumentatsiooni hankisid ja juba N Liidus töötavate M-3-de juures kestvatel komandeeringutel kätt harjutamas käisid. Arvuti valmis ja anti ekspluatatsiooni 1960. a. lõpus.



RET insener Harri Mägi häälestab arvuti M-3 aritmeetikaseadet (1959)

Harri on siinkohal detailsemalt kirjeldamata jätnud, kuidas kõik see arvutiehitamine algas ja kuidas Harri ise arvuti M-3 ehitajate gruppi sattus, millest ta aga õllekannu juures on mitmeid lugusid jutustanud.

Arnold Reitsakas ja **Harri Mägi** olid ülikoolikaaslased, mõlemad lõpetasid Brontš-Brujevitši nimelise Leningradi Sideinstituudi, Arnold 1957, Harri aasta hiljem. Mõlemad asusid tööle RET-is – Reitsakas mõõtelaborisse, Harri aga mõõteriistade tsehhi, kus tegeles valmistoodangu häälestamisega. Kõige markantsem oli tema lugu ajukasvaja lokaliseerimiseks ehitatud seadmest, mis töötas raadioaktiivse kiirguse põhimõttel. Kõigepealt söödeti mingit spetsiaalset radioaktiivset ainet vähki haigestunud inimesele. Sellel ainel oli omadus koguneda just kasvajasse, muutes sel moel kasvaja ise kiirguse allikaks. Kiirguse avastamiseks ning kasvaja asukoha määramiseks ajus oli RET-is projekteeritud ja ehitatud eriline Geigeri loenduril põhinev seade, mis reageeris kiirgusele ainult teatud kitsast suunast. Mõõtes selle seadmega kasvajast lähtuva kiirguse intensiivsust mitmest erinevast suunast, oli võimalik lokaliseerida ka kasvaja asukoht. Seadme häälestamiseks ja testimiseks oli aga vaja kasutada mingit välist raadioaktiivse kiirguse allikat. Ühtegi julget meest selleks häälestamistööks peale Harri Mägi aga RET-is ei leidunud. Kui Harri käivitas eksperimendi, jooksid kõik need, kes olid juures seisnud, kohe laiali...



Arvuti M-3 triger

Ühel päeval, see oli 1958. a. lõpul, astus Reitsakas Harri juurde ja ütles: „Me hakkame nüüd arvutit ehitama, kas tahad kampa lüüa?“ Arnold Reitsakasele olid ülemused teinud ülesandeks organiseerida grupp, kes hakkaks Küberneetika Instituudile arvutit M-3 ehitama. Harri töötas insenerina ja sai 90 rubla palka. Reitsakas lisas juurde: „Kui tuled meiega, saad kohe vaneminseneriks ja hakkad 30 rubla kuus rohkem saama.“ Kuigi digitaaltehnikast ei teadnud Harri tookord veel midagi, oli ta kohe nõus seiklusse astuma. Nii asuski grupp noori inimesi, kes äsja veel tudengid olid, esimest eesti arvutusmasinat ehitama. Digitaalsüsteeme nad ei tundnud, aga elektroonikat selle-eest hästi ja eks üksainus aritmeetikaseadme järgukoht kujutaski endast kopsakat elektroonikaplokki.

Umbes samasuguse skeemi järgi, nagu ülalpool kirjeldatud, toimuski tol ajal arvutite „põlve otsas ehitamine“, hankimine ja evitamine kõikjal üle suure Nõukogude Liidu. Kulus veel peaaegu kümme aastat enne, kui arvuteid tootev tööstus Liidus enam-vähem jalad alla sai.

Rajati rida arvuteid tootvaid tehaseid, kusjuures üks suuremaid ehitati Minskisse, olgugi, et esialgu kavatseti see tehas hoopis Tallinna rajada, kuid Moskva otsustas siiski ümber. Ka Vilnius sai oma arvutite tehase, mis pärjati endise NSV Liidu esitšekisti

Feliks Džerzinski nimega. Arvatavasti peeti seejuures silmas seda, et esimene juba enne sõda Venemaal massiliselt toodetud mehaaniline vändaga lauaarvuti (*aritmomeeter*) FELIKS kandis tema eesnime.

Alates 60-ndate keskpaigast kuni 70-ndate lõpuni olid Minski kaubamärgiga arvutid: Minsk, Minsk-2, Minsk-22 jne. N Liidus kõige levinumad. Ka Tallinna Polütehniline Instituut sai 1967. a. aprilli lõpul oma esimese arvuti ja selleks oli Minsk-22, mis juba sama aasta 24. juulist alates tööle rakendati. Seda kuupäeva võib lugeda **TPI Arvutuskeskuse** avamise tähtpäevaks.

1967. a. lõpuks töötas Eesti avalikes asutustes ja õppeasutustes umbes 10 arvutit, neist kaks Ural-tüüpi (mudelid 4 ja 11), ülejäänud Minsk-tüüpi (mudelid 22 ja 32). Selle kohta, kui palju neid rakendati arvukates üleliidulise alluvusega kinnistes nn. numbritehastes ja asutustes, ajalugu vaikib.

1969. aastal avaldatud andmete põhjal oli Nõukogude Liidu elektronarvutite pargi võimsus 35 korda väiksem kui Ameerika Ühendriikides. Mahajäämuse vähendamiseks planeeriti suurendada arvutite tootmist aastatel 1969-1975 6-kordseks. 1975. a. pidi see küündima 5000 arvutini aastas. Selle kasvu taustal prognoositi samaks ajaks Eesti arvutipargi suuruseks 128 arvutit.

Juba 1950-ndate lõpul kerkis teravalt üles arvutustehnika spetsialistide ettevalmistamise probleem. Selle lahendamise kiirendamiseks organiseeriti N Liidu juhtivate tehnikakõrgkoolide juures elektrotehniliste erialade (*elektroonika, elektriside, raadiotehnika*) inseneride ümberkvalifitseerimise kursusi. Mitmed eesti elektriinsenerid saidki oma esimese arvutustehnikaalase ettevalmistuse Leningradi Polütehnilise Instituudi juures 1960. a. avatud 2-aastastel kursustel, mis said hüppelauaks arvutustehnika valdkonda niisugustele tuntud oma ala spetsialistidele, nagu tehnikadoktor akadeemik **Enn Tõugu**, tehnikakandidaadid **Harry Tani**, **Andri Ariste** ja **Kalju Leppik**.

Ettevalmistused arvutiinseneride koolitamiseks Eestis

1960-ndate keskpaigast alates astuti ka TPI-s esimesi samme arvutiõpetuse alal. Õppekavadesse ilmusid sellised ained nagu *matemaatilised masinad ja programmeerimine, arvutustehnika*, *arvutus-lahendusseadmed* jne., mis olid mõeldud peamiselt üliõpilaste tutvustamiseks moodsa arvutustehnikaga. Üha suurenev arvutite hulk Eestis hakkas nõudma selle ala väljaõppinud spetsialiste, nii insenere arvutite töökorras hoidmiseks kui ka arvutite kasutajaid matemaatikuid- programmeerijaid. Tolleaegse N Liidu normatiivid nägid ette 4-5 inseneri arvuti kohta. Peagi see arv küll kahanes 2-3-ni, kuid arvestades 1975. aastal rohkem kui saja arvutiga oleks juba ainuüksi insenere tarvis läinud üle 300, rääkimata programmeerijatest. Puudusid ka kvalifitseeritud õppejõud arvutiinseneride ja programmeerijate koolitamiseks.

Arvutispetsialistide kasvavale defitsiidile hakati Eestis mõtlema juba 1950-ndate aastate lõpus. Rahvamajandusnõukogu moodustamisega laiendati Eestis kohaliku alluvusega aparaadiehituse ettevõtteid, mis vajasid kõrgharidusega spetsialiste. Selle asemel, et hakata neid suure N Liidu avarustelt otsima ja Eestisse tooma, otsustati rajada nende emakeelne väljaõpe kohapeal, tuginedes peamiselt TPI-le (seda enam, et siia rajatud üleliidulise alluvusega suurettevõtted olid juba mõnda aega üha tõusvamas tempos migratsioonipumpadena töötanud ja siia massiliselt umbkeelseid spetsialiste, oskus- ja lihttöölisi sisse

toonud), kus oli plaanis hakata avama uusi erialasid nagu *automaatika ja telemehaanika*, *raadiotehnika*, hiljem *elektronarvutid* ja *automatiseeritud juhtimissüsteemid*. Varem oli nende erialade spetsialiste vähesel arvul ette valmistatud õppima suunamise teel N Liidu juhtivatesse kõrgkoolidesse, enamasti Leningradi ja Moskvasse. Kandidaadikraadiga õppejõudude ettevalmistamiseks tuli valida sihtaspirantuur nendes N Liidu kõrgkoolides, kus leidus piisavalt doktorikraadi omavaid juhendajaid.

Ühe arvutiteadusse pürgiva sihtaspirandi lugu

Piisavat erialast tööstaaži (miinimum 2 aastat) omavate noorte inseneride sihtaspirantuuri suunamise võttis oma südameasjaks tolleaegne Elektritööstuse Tehnoloogia Uurimisinstituudi (asukoha järgi Pirita tee instituut) direktor **Aleksander Voldek**. Suvel 1960. a. kutsus ta võimalikke kandidaate ükshaaval enda juurde jutule, et neilt õppimaminekuks nõusolekut saada. Nende ridade autor oli üks neist, kes ettepaneku vastu võttis ja aspirantuuri sisseastumise dokumente vormistama hakkas. Septembriks olid paberid koos ja mõne aja pärast ka kutse sisseastumiseksamitele ilmumiseks käes.

Eksamite eduka sooritamise korral seisis mul ees kolm aastat aspirantuuri Leningradi Elektrotehnika Instituudi (LETI) arvutustehnika kateedris. Erialaeksamit võttis vastu kateedri juhataja **Vladimir Borissovitš Smolov** isiklikult. Esimese küsimusena pidin talle selgitama ühekohalise kahendsummaatori tööd. Kui ma sellega olin hakkama saanud, palus ta mul jutustada arvutist M-3, mille ehitamisest ma olin osa võtnud. Ka LETI arvutustehnika kateeder tegi alles neil aastatel algust digitaaltehnika õpetamise ja uurimise alal, olles senini tegelenud peamiselt analoogarvutustehnikaga. Sellest ka Smolovi huvi M-3 vastu. Kui eksam oli sooritatud ja „5“ kirjas, küsis Smolov, kas ma **Viktor Kesküla** nimelist meest TPI-st tunnen. Kuna mul TPI-ga sel ajal veel mingit kontakti polnud, siis oli vastus eitav. Ja siis jutustas Smolov mulle pikalt loo sellest, kuidas ta sõja ajal Viktor Keskülaga ja teiste veel teismelises eas eesti poistega oli kohtunud.

LETI arvutustehnika kateedri personal (1962), kus Harri Mägi (ülal paremal äärmine) aspirantuuris oli. All paremalt kolmas – kateedrijuhataja arvutikorüfee V. Smolov ja viies Harri doktoritöö juhendaja – K. Sapožkov.

See kateeder oli loodud 1931. aastal suurtükitule juhtimisseadmete õppeüksusena (*kafedra priborov upravlenija strelboi – PUS*), tema ülesandeks oli välja töötada ning varustada sõja ajal piiramisrõngas olnud Leningradi suurtükiväge tulejuhtimisseadmetega ja õpetada välja spetsialiste nendel seadmetel töötamiseks.

Alates 1960-ndate algusest hakkas kateeder orienteeruma üha enam digitaaltehnikale, võttes vastu üle kümne aspirandi, et valmistada ette arvutustehnikas uut suunda viljelevaid teadlasi ning õppejõude. Ka mind võeti kõhklusteta vastu, kuna olin juba puht praktilisel tasemel digitaalarvutit „nuusutanud“, võttes osa meie akadeemiale M-3 ehitamisest.

Minu kui sihtaspirandi staatus erines kohalike, peamiselt LETI-s kõrghariduse omandanud aspirantide omast selle poolest, et pärast aspirantuuri lõpetamist olin kohustatud tagasi pöörduma Eestisse. Ka väitekirja teema leidmisega oli raskusi. Kui kohalikel oli selles osas mingi eeltöö tehtud, mõnel isegi juba teema olemas, siis mina olin selle kohapealt täielikult „puhas leht". Lootus saada teema kateedrist kustus seetõttu, et staažikad professorid ja dotsendid olid analoogtehnikale pühendunud teadlased, noored aga sama „rohelised" digitaaltehnikas nagu minagi. Juhendajaks määrati mulle kateedri kauaaegne dotsent **Konstantin Andrejevitš Šapožkov**, kes oli digitaalarvutitega mõningal määral kokku puutunud seoses sellega, et oli käinud ühe töögrupi koosseisus Hiina Rahvavabariigis mingit N Liidus valmistatud arvutit (arvatavasti Ural-tüüpi) installeerimas ja häälestamas. Ka tema oli üsna nõutu seoses mulle teema otsimisega ja soovitas kõigepealt käia ära koduses Tallinnas ja seal ringi vaadata, et ehk õnnestub midagi leida. Nii ma siis võtsingi komandeeringu Tallinna, eesmärgiga külastada äsja loodud (1. sept. 1960.) ENSV Teaduste Akadeemia Küberneetika Instituuti ja uurida, kas ehk neil on mõni minule sobiv väitekirja teema välja pakkuda.

Sattusin jälle sinna, kust olin kuu aega tagasi lahkunud aspirantuuri pärast arvuti M-3 montaaži lõpetamist. Nimelt andis just arvuti M-3 valmimine tõuke Küberneetika Instituudi tekkele. Mitmed elektrotehnika, raadio, side ja füüsika eriala noored insenerid olid selle ehitamise käigus iseõppimise teel kvalifitseerunud eesti esimesteks arvutustehnika inseneridеks, ehk nüüdisaegselt väljendades riistvara spetsialistideks. Instituuti koondunud matemaatikud, automaatreguleerimise ja -juhtimise ning rahvamajanduse juhtimise spetsialistid hakkasid M-3 peal mõistust ja kätt proovima programmeerimise, algoritmiliste keelte ning operatsioonsüsteemide valdkonnas ja paljud neist kvalifitseerusid peagi tunnustatud tarkvara spetsialistideks: **Malle Kotli**, **Vello Kuusik**, **Leo Heinla**, **Aino Männil** ja **Sulev Ulm**.

Kuna olin lõpetanud Leningradi Bontš-Brujevitši nim. Sideinstituudi raadioside- ja raadioleviinseneri diplomiga ning M-3 ehitamisel end täiendanud arvutite riistvara valdkonnas, siis minule vastuvõetav väitekirja teema pidi kindlasti olema sellest valdkonnast. Riistvaraalast uurimistöö teemat aga polnud kuidagi võimalik formuleerida tavalistel raadiolampidel töötava arvuti M-3 ehitamise problemaatikast, kuna lampide aeg oli ümber saamas, teisel pool raudset eesriiet aga ehitati arvuteid juba tansistoridel ja viimaseid valmistuti asendama integraallülitustega.

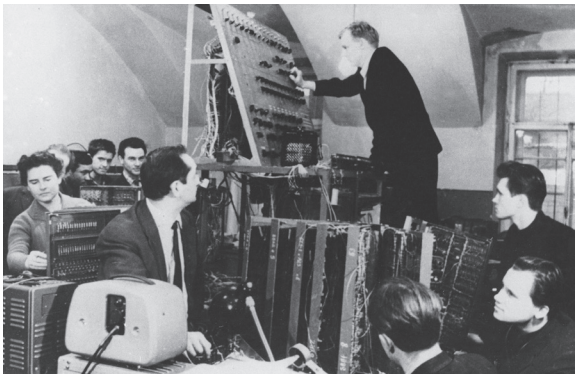
Selle teadmisega naasin komandeeringust tagasi LETI-sse ja asusin kandidaadimiinimumi eksamiteks valmistuma. Eksameid oli neli: teoreetiline elektrotehnika, elektronarvutustehnika alused, filosoofia ja võõrkeel. Filosoofias loeti aspirantidele loenguid võõrkeeles, milleks mul oli inglise keel, toimus auditoorne õppetöö, elektrotehnika ja arvutustehnika eksameiks valmistusin iseseisvalt. Esimese õppeaasta lõpul, 1961. aasta kevadel sooritasin kandidaadimiinimumi eksamid ja oleksin võinud hakata väitekirja kallal töötama, kuid mul puudus ikka veel teema. See oli paljude väljastpoolt suunatud aspirantide häda. Minu juhendaja, saanud teada lootuste luhtumisest Eestist sobivat teemat leida, hakkas maad kuulama Leningradi uurimisinstituutides ja tööstusettevõtetes, kus tal oli sidemeid ja tutvusi.

Pärast üle poole aasta kestnud otsinguid oli 1961/62. õppeaasta alguseks teema leitud. Nimelt tegeldi ühes Leningradi kinnises (postkast mingi numbriga) uurimisasutuses

keraamiliste (s.o. *polükristalsete*) *senjettelektrikute* (ingl. k. terminoloogias *ferroelektrikute*) valmistamise ja kasutamisvõimaluste uurimisega. Minu uurimisteemaks saigi niisiis *„Senjettkeraamika kasutamise võimaluste uurimine kahendinformatsiooni salvestamiseks"* ehk lihtsamalt väljendudes selle kasutamise võimalikkusest arvutite mäluelementidena. Minu vahetuks juhendajaks määrati laboratooriumi juhataja, professor Tatjana Nikolajevna Verbitskaja, kes oli tol ajal NSV Liidus üks juhtivaid senjettelektrikute uurijaid. Kõik üliõpilased ja aspirandid, kes tema juures uurimistööd alustasid, pidid kõigepealt ise valmistama uuritavad elemendid ja alles seejärel said hakata neid katsetama ja uurima. Kuna ma pidin hakkama uurima õhukeste senjettelektriliste kelmete mäluomadusi, siis kõigepealt tuli mul õppida seda kelmet ise valmistama. Seega tuli mul kvalifitseeruda keraamikuks (s.o. keraamika valmistajaks).

Kuna keraamilise kelme valmistamise protsess eriti keeruline ei olnud, siis omandasin selle tehnoloogia umbes nädalaga. Pöörleva aluse tsentrisse oli kinnitatud plaatinast plaadike, millele tuli tilgutada pipetiga $Pb(Zr,Ti)O_3$ lahust. Iga plaadikesele langev lahuse tilk kattis selle tsentrifugaaljõu mõjul ühtlase kihina. Iga kiht pidi enam-vähem kuivanud olema, enne kui järgmist võis peale kanda. Kelme paksus sõltus kihtide arvust, mis minu katsetatud elementidel oli paarikümne ümber. Pärast vajaliku paksuse saavutamist ja õhu käes kuivatamist kuumutati kelmet umbes 1000^0C juures. Mahajahutatud kelmele kanti vaakumpihustamise meetodil metallelektroodid ja element oligi uurimiseks valmis.

Edasised katsetused seisnesid mäluelemendi polariseerimises ja ümberpolariseerimises täisnurksete pingeimpulssidega, mis võimaldas uurida kelme ümberpolariseerumise dünaamikat ja polariseeritud oleku säilimist. Katsete tulemused võimaldasid välja töötada kelme ümberpolariseerumise protsessi teoreetilise mudeli, mis oligi minu kandidaaditöö peamine tulemus.



Harri Mägi (kõige kõrgemal) koos aspirantuurikaaslastega LETI arvutustehnika kateedris arvutit „Lainer" häälestamas

Samal ajal jäi veel käia pikk tee praktilist kasutust leidva senjettkeraamilise kelmemälu valmistamiseni. Uurimistööd selles valdkonnas aeglustusid maailmas aga seetõttu, et pikkade sammudega hakkas arenema pooljuhttehnoloogia, mis tõotas palju nobedamini jõuda kiiretoimeliste, kompaktsete ja ökonoomsete mäluseadmete praktilise teostamiseni. Seepärast kuulutati N Liidus senjettelektriliste mäluseadmete arendamine 1970-ndate aastate lõpus isegi väheperspektiivseks ja uurimistöid selles suunas piirati. Vaatamata kõigele, õnnestus mul siiski 1971. aastal oma kandidaaditöö LETI nõukogu ees edukalt ära kaitsta, tervelt kaheksa aastat pärast aspirantuuri lõpetamist.

Nii suure hilinemise põhjuste selgitamiseks tuleb pöörduda tagasi aspirantuuris õppimise algusse. Kõigepealt kulus tervelt aasta selleks, et leida teema ja vormistada juurdepääs uurimisasutusse, kus selle temaatikaga tegeldi. Seejärel tuli süveneda senjettelektriliste materjalide ja nende valmistamise valdkonda, mis oli minu jaoks täiesti uus. Salastatuse teise astmega kaitstud töödele juurdepääsuloa (vorm nr. 2) vormistamine võttis aega kuid.

Samal ajal sõlmis LETI arvutustehnika kateeder lepingu Leningradi Tsiviillennuväe Uurimisinstituudiga reisilennukite tsentreerimisotstarbelise spetsiaalarvuti projekteerimiseks ja töötava maketi ehitamiseks. Kõik kateedri noored õppejõud ja aspirandid olid kutsutud selle projekti, koodnimetusega „Lainer", elluviimisest osa võtma. Ei saanud ka mina ära öelda ahvatlevast võimalusest proovida kätt arvuti ehitamisel, mis pidi töötama transistoridel. Kuna lamparvuti M-3 ehitamise kogemus mul juba oli, siis lampide asemel transistoride kasutamine ei paistnud raskusi tekitavat. Meid vormistati tööle instituudi teadusliku uurimise sektori juurde poole kohaga nooremteaduritena palgaga 50 rubla kuus. Nii täienes meeldiv ka kasulikuga. Kui meeskond oli koos, toimus ülesannete jaotamine seadmete kaupa. Minu ülesandeks sai juhtpuldi ja püsimälu projekteerimine ning hilisem reguleerimine ja häälestamine. Arvuti konsool, juhtpult ning kõik seadmed ja plokid monteeriti instituudi eksperimentaaltöökodades. Meie ülesandeks jäi kõikide seadmete eraldi häälestamine, nende omavaheline ühendamine tervikuks, selle kompleksne häälestamine ning lõpuks kontrollülesannete lahendamine.

Kuna arvuti töötamise algoritm ja struktuur olid täiesti originaalsed, siis taotlesime selle kui leiutise registreerimist, mis ka teoks sai. NSV Liidu Leiutiste ja Avastuste Komitee poolt 28. mail 1963. a. välja antud tunnistusel on kirjas kõigi täitjate nimed.

Osavõtt „Laineri" ehitamisest oli kahtlemata samm, mida ma ei kahetse, olgugi et pidin selle eest lõivu maksma oma kandidaaditöö venimisega. Kuid praktilised erialased kogemused, mis selle juures omandatud sai, kaalusid kandidaaditööle ajutise tähelepanu vähenemise kuhjaga üles. Rääkimata sellest, et meeskonnatöö käigus sai sisse elatud kateedri töödesse ja tegemistesse sel määral, et tundsid end võrdväärse liikmena kollektiivis, kes sind kunagi hätta ei jätta. Kogesin seda hiljem, kui jätkasin tööd väitekirja lõpetamise kallal, töötades samal ajal täiskoormusega õppejõuna TPI-s.

Olles suunatud pärast aspirantuuri lõpetamist 1963-64. õ.-a. tööle TPI-sse arvutustehnikat lugema, oli mulle kevadsemestriks planeeritud kogu aastane koormus: 36 tundi loenguid nädalas algajale õppejõule, mis oli liig mis liig. Tulemuseks oli tõsine haigestumine kevadel ja rivist väljalangemine terveks järgmiseks semestriks. Tööle naasin järgmise õppeaasta kevadsemestriks, olles üsna pessimistlikus meeleolus, kuna väitekiri oli lõpetamata ja õppekoormuse osas mulle ka mingeid mööndusi ei tehtud. Tekkis tahtmine kõigele käega lüüa.

Kuid just siis sain ma julgustava kirja oma juhendajalt **Sapožkovilt**, kes oli mu kurvavõitu saatusest teada saanud, milles teatas, et nii tema, kui ka kogu LETI kateedri kollektiiv eesotsas prof. **Smoloviga** teevad kõik, et mu kandidaaditöö igal juhul lõpetatud ja kaitstud saaks. Vaatamata sellele, et **Sapožkov** oli vahepeal edutatud LETI arvutustehnika kateedri dotsendi kohalt Penza Polütehnilise Instituudi (PPI) rektoriks, ei olnud ta mind unustanud. 1968. a. sain temalt kirja, milles kutsus mind kiiremas korras Penzasse väitekirja kiire lõpetamise plaani koostama. Materjalid portfellis istusin Moskva rongi ja kahe päeva pärast olin kohal. Asjalik nõupidamine juhendajaga andis toppama jäänud töö vormistamiseks tugeva tõuke. Kolme järgneva aasta jooksul pendeldasin Tallinna ja Penza vahet, iga kord kaasas järjekordse peatüki versioon, mille sisu ja vormi sai koos põhjalikult vaagitud. Korduvalt kutsus ta mind esinema Penzas korraldatavatele konverentsidele ja seminaridele väitekirja teemaliste ettekannetega, mis läksid kirja kui publikatsioonid. 1971. aasta suveks oli töö kaante vahel ja autoreferaat trükitud ning

retsensentidele laiali saadetud. 1971.-72. õppeaasta alguses viisin töö Leningradi tutvumiseks ametlikele oponentidele, kelleks olid kinnitatud LITMO (*Leningradskij Institut Totšnoj Mehaniki i Optiki*) arvutustehnika kateedri juhataja, üleliiduliselt tunnustatud arvutustehnika eriteadlane, prof. **Sergei Aleksandrovitš Maiorov** ja tehnikakandidaat dotsent **Li Si Ken**, rahvuselt korealane, pärit Põhja-Koreast, kes õpinguaastatel Leningradis abiellus venelannaga, kaotades sellega õiguse pöörduda tagasi kodumaale, kus kehtib kirjutamata seadus, mis keelab välismaalast naiseks võtta. Nii sai temast Nõukogude Liidu kodanik ja kõrgkooli õppejõud.

Panin need read kirja selleks, et oma kogemuse põhjal luua lugejale ettekujutus, milliseid raskusi tuli ühel teaduskraadi taotlejal eesmärgini jõudmiseks ületada juhul, kui aspirantuuri astumisel puudus valitud erialal piisav teoreetiline ettevalmistus, Eestis aga ei olnud veel välja kujunenud arvutustehnika teadlaste koolkonda, kellele toetuda. Kuna digitaalarvutustehnika oli 1950-ndate lõpul veel kõikjal üsnagi lapsekingades, ei olnud ka Leningradis ja mujalgi jõudnud tekkida selle ala koolkondi. Olid vaid doktorikraadiga professorid, kel oli õigus küll aspirante juhendada, kuid kes olid oma kraadid kaitsnud analoogtehnika valdkonnas, digitaaltehnikas aga olid samasugused algajad nagu nende juhendatavad aspirandidki.

Minu katsumused lõppesid 14. novembril 1971. aastal tehnikakandidaadi kraadi eduka kaitsmisega LETI arvutustehnika nõukogu ees. Sellele järgnes väitekirja kaitsmise tulemuse kinnitamine Moskvas VAK-is (*Võssaja Atestatsionnaja Komissija* – Kõrgem Atesteerimiskomisjon), kelle otsust tuli halvimal juhul oodata kuni aasta. Alles pärast VAK-i positiivset otsust anti kätte kõvade kaantega teaduste kandidaadi diplom, mille alusel sai selle omanik kõrgkooli tunnustatud õppejõuks, kellel oli õigus taotleda dotsendi kutset. Minul vedas, kuna sain VAK-i kinnituse nelja kuuga.

Ette nähes 1960-ndate lõpul tekkivat vajadust erialaõppejõudude järele seoses arvutite eriala avamisega, suunati 1968. aastal TPI elektrotehnikateaduskonna poolt sihtaspirantuuri kaks noort inseneri. TPI-s automaatika eriala lõpetanud **Raimund Ubar** alustas tööd väitekirja kallal Moskva Baumani nim. Tehnikaülikoolis, LETI-s raadioeriala lõpetanud **Kalle Talvik** aga jätkas oma armsas *alma mater'*is, kuid nüüd juba arvutustehnika erialal.

Harri Mägi: Arvutiõpetus tuleb TPI-sse

Arvutustehnika ärkamisaeg

Kui alljärgnevate ridade kirjutaja 1964. a. 7. veebruari hommikul Toompeal Stenbocki maja kolmandal korrusel asuvasse auditooriumi astus, oli õppeaasta juba ammu alanud, täpsemalt oli poole peal, sest algas kevadsemester ja ühtlasi ka minu esimene tööpäev õppejõuna tolleaegses TPI-s, mis on kestnud järjepidevalt kuni tänase päevani. Loeng, millega ma sel päeval peenmehaanika eriala neljanda kursuse õpperühma MP-91 üliõpilastele esinesin, oli sissejuhatus elektronarvuteid tutvustavasse 24-tunnisesse kursusesse. Õppeaine venekeelne nimetus oli sõnastatud selliselt, et tolleaegne masinaehituse tehnoloogia kateedri juhataja **Igor Štšeglov** seda eesti keelde tõlkida ei suutnud. Oma kirjalikus taotluses (10.01.64.) õppeprorektor **Eduard Šmidt**`ile, palus **Štšeglov,** et seda ainet hakkaks lugema äsja matemaatika kateedris ametisse määratud assistent **Harri Mägi**, kes on saanud aspirantuuris vastava erialase ettevalmistuse.

Ladina tähtedega kirjapanduna kõlas õppeaine nimetus vene keeles kui: *stšetno-rešajuštšie ustroistva* (mis sõna-sõnalises tõlkes võiks olla, kui *arvutus-lahendusseadmed*). Seejuures arvutusseadmete all tuli mõista digitaalarvuteid, lahendusseadmed aga on sisuliselt matemaatilisel analoogial põhinevad pidevatoimelised seadmed, ehk lühidalt analoogarvutid. Kursus oli ette nähtud üliõpilaste tutvustamiseks nii analoog- kui ka digitaalarvutite ehituse, tööpõhimõtete ja kasutamisvõimalustega. Muidugi oli seejuures mõeldud elektronkomponentidel töötavaid arvuteid, ehk ühise nimetusega *elektronarvuteid*. Siinjuures on asjakohane mainida ka seda, et enne elektronkomponentide kasutuselevõttu ehitati nii digitaal- kui ka analoogarvuteid mehaanilistel, elektromehaanilistel, pneumaatilistel jt. komponentidel ning kõik olid tol ajal veel kasutuses.

Teine elektronarvutustehnikat tutvustav õppeaine, mis 1960-ndate alguses kõrgkoolide tehnikaerialade õppeplaanidesse ilmus, oli *matemaatilised masinad ja programmeerimine*. Selle kursuse kuulamine oli kohustuslik nii energeetika- ja elektrotehnika-, kui ka ehituse-, keemia- ja mehaanikateaduskonna üliõpilastele. Samaaegselt hakati ka majandusteaduskonna üliõpilastele tutvustama elektronarvutustehnika kasutamise võimalusi oma erialal.

Maailma esimene eletronlampidel toimiv arvuti ENIAC läks USA-s käiku juba 1946. aastal. NSV Liidus aga ilmus avalikku kõnepruuki mõiste „elektronarvutid" alles 1950-ndatel. Elektronarvutite kasutuselevõtuga vabanes ka Läänes juba laialt levinud universaalne juhtimisteadus *küberneetika* lõplikult marksismi-leninismi-stalinismi jutlustajate poolt kleebitud väärteaduse sildist. Juba 1940-ndatel olid piiri tagant NSV Liitu imbunud sõnumid seal leiutatud „mõtlevatest masinatest". Marksismi dogmaatikud aga kinnitasid asja sisusse süvenemata järjekindlalt, et mõtlemisvõimet võib omada ainult inimaju, mitte aga mingisugune inimese poolt valmistatud masin. Nii sattusid küberneetika kui teadusharu ja sellega seotud elektronarvutid pikaks ajaks NLKP Keskkomitee põlu alla. Olgugi,et arvutitega tegelemine ei olnud otseselt keelatud, riik sellealast uurimistööd avalikult ei rahastanud. Kõigele vaatamata leidus siiski teadlasi, kes julgesid küberneetikaga varjatult edasi tegeleda, kasutades selleks lähedaste teadusharude nagu elektroonika ja raadiotehnika, arendamiseks eraldatud vahendeid. Tänu neile valmis 1952. aastal ka N Liidus esimene suur elektronarvuti BESM (*Bolšaja Elektronnaja Štšetnaja Mašina*). Kuid see, mida NSV Liidul enam tagasi võita ei õnnestunud, oli kaotatud aeg. 1950-ndate lõpus töötas maailmas juba üle 6000 suurarvuti. Samal ajal võis N Liidus töötavaid arvuteid loendada vaid kahe käe sõrmedel.

Et peatada üha süvenevat mahajäämust maailma juhtivatest kapitalistlikest riikidest, püüdsid partei ja valitsus, pärast küberneetika rehabiliteerimist 1950-ndate keskpaiku, hakata palavikuliselt toetama arvutustehnika arendamist. Paraku toimus see esialgu küll vaid verbaalselt, N Liidu valitsuse ja kompartei keskkomitee tasemel regulaarsete, pea iga paari aasta tagant avaldatavate otsuste, direktiivide ja suunistega. Nende kiireks elluviimiseks aga puudusid riigil nii materiaalsed vahendid ja tehnoloogia kui ka väljaõppinud teaduslik ja insener-tehniline kaader. Alustada tuli kaadri väljaõppest ja elektroonikatööstuse ümberseadistamisest arvutite tootmiseks, mis nõudis aastaid.

Aspirantuur Venemaal

Arvutustehnika spetsialistide koolitamiseks hakati alates 1960-ndate algusest kogu N Liidu ulatuses organiseerima elektroonika ja sidetehnika inseneride arvutitealast täiendõpet.

Kõrgharidusega matemaatikuid suunati arvutite programmeerimise alastele kursustele. Tehnikakõrgkoolides avati arvutustehnika kateedreid ning alustati üliõpilaste vastuvõttu arvutitehnikat käsitlevatele erialadele. Õppejõudude ettevalmistamiseks loodi aspirantuurikohti juhtivate tehnikakõrgkoolide elektroonika, raadiotehnika ja elektrotehnika kateedrite juurde ning alustati kateedrite kohandamist arvutitehnika õpetamiseks ja vastavate uurimistöödega tegelemiseks.

Näiteks Leningradis oli tol ajal kolm sellist kõrgkooli: Leningradi Elektrotehnika Instituut (LETI), Leningradi Täppismehaanika- ja Optika Instituut (LITMO) ning Leningradi Polütehniline Instituut (LPI). Osa aspirantuurikohti eraldati neis ka liiduvabariikidele. Nii oli võimalik ka Eestist väljaspool üleliidulist konkurssi suunata insenere õpinguid jätkama aspirantuuri.

Mainitud kampaania käigus avanes ka siinkirjutajal võimalus astuda vabariikliku suunamisega ja pärast sisseastumiseksamite sooritamist LETI arvutustehnika kateedri juures avatud sihtaspirantuuri, mis tähendas, et pärast lõpetamist suunatakse sihtaspirant tööle tagasi Eestisse. Aspirantuuri võeti vastu kõrgharidusega spetsialiste, kes pärast kõrgkooli lõpetamist olid oma erialal töötanud vähemalt kaks aastat. Minul täitus selleks ajaks parajasti teine tööaasta raadiotehases „Punane RET“, kuhu mind oli suunatud pärast Leningradi Elektrotehnilise Sideinstituudi (LEIS) lõpetamist. Olin nähtavasti selleks kõigi näitajate poolest sobiv kandidaat. Võimalike aspirandikandidaatide otsimisega Eestis tegeles aktiivselt Elektrotehnika Teadusliku Uurimise Instituudi (ETUI) tolleagne direktor professor **Aleksander Voldek**, kes oli mures kõrge kvalifikatsiooniga elektrotehnika- ja elektroonikaalase kaadri nappuse pärast Eestis. Ta kutsus aspirantuuri astumiseks küpseid noortest spetsialistidest insenere ja teadureid ükshaaval enda juurde vestlusele, veenmaks neid õpinguid jätkama sihtaspirantuuris NSVL-i tuntuimates kõrgkoolides. Olin üks neist vähestest, kes suurte kogemustega professori soovitusega kohe nõustus ja aspirantuuri astumiseks dokumente vormistama hakkas. Minu õpingukaaslased ja ühiselamutoa naabrid LEIS-i päevilt, **Vello Klanberg**, **Ants Männiko** ja **Raul-Vello Rebane** loobusid mitmesugustel põhjustel kasutamast avanenud soodsat võimalust taotleda teaduste kandidaadikraadi statsionaarses aspirantuuris. Neist Klanberg ja Rebane koostasid oma väitekirja hiljem töö kõrvalt, igapäevase insener-konstruktori tööga seotud uurimistööde põhjal ja kaitsesid edukalt kandidaadikraadi aastaid hiljem.

ETUI direktor Aleksander Voldek

LETI sihtaspirantuuri 1960. aasta suvel sisseastumiseksamitele saabudes selgus, et eestlastest teadusesse pürgijaid oli peale minu teisigi, mälu järgi nii inimest viis-kuus. Neist jäid tegelikult sõelale elektroenergeetika eriala isenerid **Igor Davõdov**, **Vello Kaasik** ja siinkirjutaja. Kolmeaastase aspirantuuri me kolmekesi ka kandidaadimiinimumi eksamite eduka sooritamisega lõpetasime. Kahjuks küll jäi meil aspirantuuri ajal väitekiri pooleli. Selle lõpetamine nõudis igapäevase õppejõu töö kõrvalt veel mitmeid aastaid, enne kui kaitsmisküpseks sai.

Pärast kolme aastat kestnud õpinguid aspirantuuris olin Eestis tagasi. Aspirantuuri astudes lootsin, et pärast selle lõpetamist saan Eestis asuda tööle arvutite projekteerimise ja konstrueerimise alal. Õppima suunamise algatajaks oli ikkagi ETUI, kus vahepeal oli tehtud plaane spetsiaalarvutite konstrueerimise alustamiseks. ENSV Rahvamajandusnõukogu planeeris isegi arvuteid tootva tehase rajamist Tallinna, kuid Moskva seda plaani ei toetanud.

Kaks LETI aspiranti (hilisemad kateedri õppejõud) Karjala maakitsusel metsas: Harri Mägi vasakul, Igor Davõdov paremal

Tõtt öelda olin ebameeldivalt üllatunud, kui sain teada, et olen suunatud hoopis ENSV Kõrgema- ja Keskerihariduse Ministeeriumi käsutusse, kus mind määrati õppejõu kohale TPI-sse õpetamaks tehnikaüliõpilastele arvutite põhitõdesid. Nimelt oli Moskvast tulnud karm käsk alustada 1963/64. õppeaastast arvutustehnika alast õppetööd tehnika- ja majanduse erialadel. Õppejõude aga selle läbiviimiseks instituudis ei olnud. Olude sunnil pidin olema üks esimesi nendest, kes seda koormat pidi vedama hakkama.

Tööle rakendati mind matemaatika kateedri assistendina kuupalgaga 90 rubla, mis oli pedagoogilise staažita assistendil võrdne kõikjal üle NSV Liidu. Aspirandina sain ma stipendiumi 100 rubla kuus, mis oli samuti ühtne kõigis kõrgkoolides Baltikumist kuni Kaug-Idani. Tegelikult olin ma TPI hingekirjas ja palgal juba alates 1. novembrist 1963. aastal. N Liidu kõrgkoolides algas õppetöö aspirantuuris 1. novembril, kestis 3 aastat ja lõppes 31. oktoobril. Kuna mind ei olnud võimalik poole semestri pealt TPI-s niikuinii tööle rakendada, siis lubati mul LETI arvutustehnika kateedri taotlusel töötada veel kolm kuud nende juures, kus parajasti oli lõppjärgus spetsiaalarvuti koodnimetusega *„Lainer"* ehitamine, mille projekteerimisest ja maketi ehitamisest olin algusest peale osa võtnud. Minu tagasihoidlik osa selle arvuti loomisel oli püsimälu ja juhtpuldi konstrueerimine ning häälestamine. Kaks aastat kestnud töö tulemusena andsime 1964. a. jaanuaris tähtaegselt tellijale üle arvuti töötava maketi, olles seega lepingulise kohustuse täitnud.

Veebruari esimestel päevadel 1964. a. jätsin hüvasti LETI arvutustehnika kateedri sõbraliku perega, pakkisin oma peamiselt raamatutest koosneva pagasi ja sõitsin Tallinna, kus mind ootas abikaasa aastase pisipojaga ning töö assistendina TPI-s.

Töökoha vahetus Mustamäelt Stenbocki majja

Iga algus on raske, eriti aga siis, kui tuleb alustada korraga kolme erineva mahuga kursuse lugemist mitme eriala üliõpilastele. Kogu mulle 1963/1964. õppeaastaks planeeritud koormus kanti täies ulatuses kevadsemestrile, mistõttu lisaks ülalmainitud 24-tunnisele kursusele pidin lugema süvendatult sama õppeainet 72 tunni ulatuses ka *automaatika ja telemehaanika* eriala üliõpilastele. Lõviosa koormusest moodustas aga 32-tunnine üldkursus *matemaatilised masinad ja programmeerimine,* mida lugesin nii ehitajatele kui ka keemikutele. Kõik see kokku moodustas minu keskmiseks loengulise töö koormuseks 36 tundi nädalas.

Tolleaegse kõrgkooli seaduse järgi ei olnud assistendil, eriti sellisel verirohelisel nagu mina, õigust üldse loengut pidada. Assistendi ülesandeks oli harjutuste ja laboritööde juhendamine. Käesoleval juhul tekkis siiski möödapääsmatu vajadus kasutada assisten-

H. Mägi asub tööle TPI matemaatika kateedrisse. Pildil: kateedrijuhataja Ants Särev vasakul (1958).

ti lektorina. Selleks pidi kateedrijuhataja dots. **Ants Särev** mingilt kõrgemalt instantsilt taotlema eriloa, mille ta ka tekkinud olukorras sai. Nii et mul ei jäänud muud üle, kui tuli vedada ebainimlikult ränka koormust: 36 : 6 = 6 tundi ehk keskmiselt 3 paaristundi loenguid päevas (NSV Liidus kehtis siis veel 6-päevane töönädal). Lohutuseks patsutati vaid sõbralikult õlale, sõnades – et noor mees, küll sa vastu pead!

TPI-s valitses tol ajal äärmine ruumide puudus, mistõttu õppetöö toimus kolmes vahetuses. Teine krooniline häda oli selles, et auditooriumid paiknesid mööda linna laiali. Loengud olid planeeritud viide eri paika: äsjavalminud Mustamäe V õppehoonesse, energeetikahoonesse (Kopli 82), tolleaegsesse peahoonesse (Kopli 101), Kopli soojusemajja, Stenbocki majja (Rahukohtu tn.), majandusteaduskonna majja (Kohtu tn.). *Matemaatika kateeder* paiknes äsjavalminud Mustamäe V õppehoonet ja veel ehitusjärgus olevat IV õppehoonet ühendava kahekorruselise hooneosa teisel korrusel.

Vahel juhtus ka nii, et kaks üksteisele järgnevat loengupaari (kaks 45-minutilist akadeemilist tundi) oli planeeritud erinevatesse hoonetesse, näiteks Mustamäele ja Koplisse. Siis oli tolleagse ühistranspordiga reaalselt võimatu pooletunnise vaheaja jooksul ühest hoonest teise loengu alguseks kohale jõuda. Pikema kui veerandtunnise hilinemise korral ootas õppejõudu tavaliselt ees tühi auditoorium, kuna üliõpilased ei mallanud kauem õppejõudu oodata. Sellise ebameeldiva olukorra vältimiseks, pidi õppejõud eelmise loengu pisut varem lõpetama, et jõuda järgmise loengu alguseks kohale.

Esimene ja ühtlasi ka kõige hullumeelsem semester, mida mul kogu TPI-s/TTÜ-s töötamise ajal üldse on tulnud kogeda, sai 1964. a. kevade saabudes otsa. Ülepingutuse tagajärjed ei lasknud ennast kaua oodata. Juba enne õppetöö lõppu hakkas tervis streikima. Arsti poole pöördumisel diagnoositi mul munandimanusel selgesti kombatav valuline kasvaja sarnane moodustis, mis arsti sõnul võis olla üks kahest, kas vähk või tuberkuloosikolle. Lõpliku diagnoosi panemiseks soovitati võimalikult kiiret kirurgilist sekkumist. Operatsioon määrati sama aasta septembrisse.

Kui ma 1964. a. 30. augustil Mustamäele matemaatika kateedrisse õppeaasta avakoosolekule tulin, selgus, et vahepeal oli matemaatika kateedri poolitamise teel moodustatud uus üksus – *arvutustehnika kateeder*, mille asukohaks määrati Toompeal asuv Stenbocki maja. Koos terve rea matemaatika kateedri õppejõududega oli ka mind sinna üle viidud. Olin matemaatikute seltskonnas ainus aspirantuuris omandatud arvutitehnikaalase ettevalmistusega õppejõud, kes kateedrile antud nimetust õigustas. Küllap loodeti, et kui on juba nimetus, siis saab muretsetud ka vastav tehnika. Edasine sündmuste areng aga näitas, et kateedri loomiseni, mille sisu vastaks nimetusele, jäi veel käia pikk ja vaevarikas tee.

Äsja loodud *arvutustehnika kateeder* alustas järgmises koosseisus: **L. Liin**, **A. Levin**, **A. Lepamaa**, **M. Furmansky**, **H. Krusberg**, **L. Mihhejeva**, **H. Mägi**, **M. Põld**, **I. Suuder**, **G. Veiner**. Kateedri juhatamine oli usaldatud dots. **Karl Allikule**.

Kahevõitlus haigusega

H. Mägi töökoht saab uue nime – arvutustehnika kateeder. Pildil: kateedrijuhataja Karl Allik keskel. Tulevane prorektor Heino Lepikson vasakul (1950-ndad).

Kahjuks aga pidin vastloodud kateedri juhatajat just algava õppeaasta lävel kurvastama uudisega, et õppetöö asemel tuleb mul hoopis operatsioonilauale heita. Valmistasin sellega äsja ametisse asunud kateedri juhatajale ebameeldiva üllatuse, kuna ta pidi hakkama äsja lõpetatud sügissemestri õppejõudude koormuse jaotust muutma ja minule asendajaid leidma. Üldkursuse *matemaatilised masinad ja programmeerimine* loengud jagati õppejõudude **L. Liini** ja **L. Mihhejeva** vahel. Kursuse programmi koostamine oli mul pooleli. Lõpetasin seda olles juba haiglas operatsioonieelsetel uuringutel. Kateedrijuhataja **Karl Allik** külastas mind korduvalt haiglas, et programmi sisu üle nõu pidada ja see lõpuks trükki toimetada. „Arvutustehnikat" hakkasid tunnitasu alusel lugema **Andri Ariste** ja **Harry Tani**. Mulle aga sooviti operatsiooni õnnestumist ja kiiret paranemist. Siirdusin oma elu esimesele haiguslehele ja seda kogu sügissemestriks. Tallinna Tõnismäe Haigla uroloogiaosakonnas dr. **Lavretsovi** poolt kohaliku tuimestusega teostatud operatsioon õnnestus. Operatsioonijärgsed uuringud näitasid, et tegemist on siiski vaid tuberkuloosiga, mis küll nõuab pikaajalist intensiivset ravi, kuid ei ähvarda ilmtingimata fataalse lõpuga. Järgnes kolm kuud kestev ambulatoorne tabletiravi: 12 tabletti korraga, kolm korda päevas. Sellele järgnes kaks kuud sanatoorset ravi Sõmera sanatooriumis Saaremaal, mille vältel tuli neelata vaheldumisi mitut eri liiki ravimeid. Kevadsemestriks 1964/65. tunnistati mind arstide poolt jälle töövõimeliseks ning olin lubatud õppejõuna tööd jätkama.

Üldse kestis järk-järgult väheneva intensiivsusega ambulatoorne ravi ja perioodiline tervise kontroll ligi viis aastat. 1970. aasta lõpus tuvastati enam-vähem täielik tervenemine ja mind võeti dispanseris arvelt maha. Seega taastati mu üks olulisemaid inimõigusi – võimalus sõita välismaale. Nimelt kehtis Nõukogude Liidus õigus maailmas ringi reisida ainult füüsiliselt tervete jaoks. Kehtiva seaduse järgi olid teatud kroonilisi ja nakkushaigusi põdevad kodanikud sellest õigusest ilma jäetud. Aktiivset tuberkuloosi põdevad haiged olid arvel tuberkuloosidispanseris ja neile oli kehtestatud välismaale sõidu keeld samuti nagu vaimuhaigetelegi. Näiteks, kui keegi taotles luba sõiduks välismaale, tuli tal peale arvukate iseloomustuste ja soovituskirjade, mis kinnitasid tema moraalikindlust, poliitilist teadlikkust ja truudust „suurele kodumaale", hankida tõendid ka psühhoneuroloogia haiglast ja tuberkuloosidispanserist selle kohta, et ta mainitud raviasutustes arvel ei ole. Kogesin seda omal nahal, kui üritasin vormistada dokumente küllasõiduks oma aspirantuurikaaslasele **Dmitr Nikolovile** Bulgaariast, kellega olime kolme aasta vältel arutlenud teaduse probleemide üle, jaganud ühiseid vaateid elule ja ka tuba ühiselamus. Oma sõbraga õnnestus mul kohtuda alles rohkem kui kümme aastat hiljem, 1977. aastal turismigrupi koosseisus.

Mõni aeg pärast operatsiooni selgus, et minu haigestumise põhjus ei olnud pelgalt tööalane ülekoormus, kuna see võis olla vaid soodustav tegur. Peamine põhjus oli ikkagi

otsene nakkus. Nimelt olin üks neist 1958. a. tehasesse Punane RET suunatud noortest spetsialistidest, kes parema eluaseme puudumise tõttu olid sunnitud elama ebasanitaarsetes tingimustes RET-ile kuuluvas nn. noorte spetsialistide ühiselamus Kauba tn. 16a, mis kujutas endast sõja ajal ehitatud saepurutäidisseintega barakki. Hiljem selgus, et üks meie seast, Tartu Ülikooli lõpetanud füüsik, põdes lahtist kopsutuberkuloosi, millest meil polnud aimugi. Pärast Tallinna tööle suunamist jättis ta ravi pooleli. Pärast minu haigestumist ja operatsiooni hakkasin koos teiste baraki elanikega taotlema normaalseid elamistingimusi. Pöördusin tuberkuloosidispanserisse palvega tulla tutvuma millistes tingimustes elavad RET-i suunatud noored spetsialistid.

Vahepeal ägenes ka minu korterinaabri haigus sedavõrd, et ta oli sunnitud haiglaravile siirduma. Mina aga olin tervelt aasta vältel olnud pea igapäevaselt kontaktis nakkuselevitajaga. Tulemus oligi see, et endasse kogutud Kochi kepikeste hulk ületas haigestumiseks vajaliku kriitilise piiri. Nakatumist soodustas ilmselt ka ülemäära suur töökoormus ja ebaregulaarne toitumine, mis olid mu organismi immuunsüsteemi nõrgendanud.

Pärast Sõmera sanatooriumis veedetud kahte kuud naasin 1965. aasta veebruaris kevadsemestriks enam-vähem töövõimelisena, et jätkata tööd arvutustehnika kateedris.

Esimene arvutiost

Kateeder oli vahepeal saanud endale ruumid Toompeale, Stenbocki maja kolmandale korrusele, mis oli tol ajal TPI majandusteaduskonna kasutuses. Samal korrusel asus ka raamatupidamise kateeder, mida juhatas **Uno Mereste**. Neil oli õnnestunud hankida tolle aja kohta moodne elektromehaaniline lauaarvuti *„Rheinmetal"* , mis sooritas automaatselt nelja aritmeetikatehet, tehes seejuures üsna valju müra, kuid võimaldas siiski raamatupidamise arvutustöid kuigivõrd kiirendada. Kadestasime isegi neid veidike, kuna arvutustehnika kateedril ei olnud samal ajal peale tavalise arvelaua ühtegi arvutusseadet.

Igal aastal laekus kateedrisse uute seadmete tellimisleht, mis sisaldas pakutavate aparaatide ja seadmete loetelu koos hinnakirjaga. Võttes arvesse kateedrile seadmete ostmiseks eraldatud kasinat summat, otsustasime kasvõi kateedri nimetuse õigustamiseks tellida elektronlampidel töötava analoogarvuti MH-7. Mis sest, et analoogarvutid hakkasid maailmas oma kohta loovutama märksa universaalsematele digitaalarvutitele. See oli ikkagi elektronarvuti ja hind ka vastas enam-vähem kateedrile seadmete ostuks eraldatud summale. Selle võimalused piirdusid vaid kuni kuuenda järgu harilike diferentsiaalvõrrandite lahendamisega, kuid see oli ikkagi rohkem kui mitte midagi. Arvuti töötas lampidel ja koosnes kahest osast: lauale asetatavast arvutikorpusest ja selle kõrval paiknevast ostsilloskoobist. Viimane kujutas endast arvuti väljundseadet, mille suure järelhelendusega ekraanilt oli võimalik jälgida võrrandi lahendit. Kuvatava graafiku kuju järgi sai hinnata modelleeritava protsessi iseloomu (perioodiline, aperioodiline, või siis järk-järgult kustuva amplituudiga perioodiline). Protsessi parameetreid sai arvutada mastaabikoefitsentide abil.

Rohkem kui aasta oli möödunud tellimuse esitamisest, kui saabus ainult ostsilloskoop. Arvuti aga jäigi teadmata põhjusel saamata, sest kõik telefoni teel tehtud järelpärimised sumbusid suure Venemaa avarustel. Seda juhtus nõukogude ajal tellimuste täitmisega üsna sageli, kui asju kirja teel aeti, nagu tegi seda TPI varustusosakond. Selleks et tellitud kaupa enam-vähem kindla peale kätte saada, tuli tootvasse tehasesse sõita, kaasas „Kalevi"

kommikarp või/ja pudel likööri „Vana Tallinn". Täiesti kasutu ostsilloskoop jäigi ehtima meie ruumi, kui ainus tehniline vahend, millel arvutustehnikaga oli väga vähe pistmist.

Peagi kolis kateeder Kohtu tänavale majja nr. 4, kus enne sõda asus ja asub ka pärast Eesti taasiseseisvumist Soome saatkond. 1966. aastal aga asus seal TPI majandusteaduskonna dekanaat. Kateedri akendest avanes maaliline vaade all-linnale ja Tallinna lahele. Avara õue tänavapoolses hoones paiknesid auditooriumid. Enne sõda oli selles Eesti Riigivanema **Konstantin Pätsi** linnakorter.

Arvutustehnika kateedrist arvutusmatemaatika kateedriks

1965/66. õppeaastal, kui arvutustehnika kateeder asus veel Toompeal Stenbocki majas, oli kateedri juhatajaks **Karl Allik**.

Selle õppeaasta sügissemestril lugesin automaatikute IV kursusele arvutustehnikat nii eesti kui vene rühmale, nii päevastele, kui õhtustele üliõpilastele. Loengute sisuks oli digitaal- ja analoogarvutite ehitus- ja töötamispõhimõtted. Üksikasjalikku käsitlemist leidsid mõlema arvutitüübi koosseisu kuuluvad elemendid, sõlmed ja seadmed. Sellest ajast on meelde jäänud, et automaatikute suhtumine õppetöösse oli tõsine, kusjuures õhtuses rühmas õppijate huvi oli isegi suurem ja loengute külastatavus parem kui päevases õpperühmas. Ka eksamitulemused olid õhtustel paremad. Loengutelt puudumisi esines harva. Tolleaegsed õhtused üliõpilased olid oma eriala valiku teinud juba ammu enne kõrgkooli astumist ning oma erialal töötanud aastaid. Valitud eriala oli enamusele neist ka huviala. TPI-sse oli neid toonud kindel soov oma teoreetilisi teadmisi täiendada. Sellest ka tõsine suhtumine õppetöösse. Siia tuleks lisada ka arvutustehnika kui teadusharu uudsus ja selle tihe seos automaatikaga.

Arhiivist õnnestus leida mõningaid arvutustehnika kateedri koosolekute protokolle, kust pärinevad alljärgnevad muutmata sõnastusega väljavõtted:

2. oktoobril 1965. Koosolekut külastas majandusteaduskonna dekaan **J. Toomaspoeg**, kes teatas, et teaduskond hakkab ette valmistama spetsialiste uuel erialal *majandusliku informatsiooni mehaaniline töötlemine* (1738). Seega saab arvutustehnika kateedrist profileeriv kateeder, mille ees seisavad uued suured ülesanded ja kohustused.

23. novembril 1965. Arvutuskeskuse komplekteerimine jääb meie kateedri vastutusele, rääkis Karl Allik, mistõttu tuleb sellega väga tõsiselt tegelema hakata. Eriti kiire on insener-tehnilise kaadri valikuga.

7. jaanuaril 1966. Arutati TPI rektori käskkirja Nr. 160, 24.12.1965, mis kohustas kõiki õppejõude aktiivsest õppetööst (loeng, harjutus, labor) vabal ajal tegelema teadusliku tööga kateedri ruumides kogu tööpäeva (s.o. 8 tunni) jooksul.

Kateedri koosolek leidis, et teadusliku töö tegemiseks kateedri käsutuses olevas ühesainsas ruumis puuduvad selleks kõige elementaarsemad tingimused: puudub raamatukogu ja igal õppejõul ei ole isegi oma töölauda, vaid peab seda kolleegiga jagama, rääkimata tehnilistest vahenditest. Peagi see totter käskkiri tühistati.

30. märtsil 1966. Võeti teadmiseks info selle kohta, et v-õp. **H. Mägi** dissertatsioonitöö teemal *„Senjett-dielektrikute kasutamisvõimaluste uurimine kahendinformatsiooni salvestamiseks"* esitamise tähtaega on dissertandi hiljutise tõsise haigestumise tõttu pikendatud kuni 1966. a. lõpuni. Töö materjali on kogutud 60% ulatuses, eksperimentaalne osa on täidetud.

Alates 1966/67. õ. a. algusest, kui arvutustehnika kateeder oli kolinud Stenbocki majast majandusteaduskonna Kohtu tänava ruumidesse (praeguse Soome Vabariigi

saatkonna hoones) oli õppejõudude abiõppepersonali koosseis järgmine: **K. Allik**, **P. Hanko**, **A. Korjus**, **H. Krusberg**, **M. Furmansky**, **L. Liin**, **A. Lepamaa**, **L. Mihhejeva**, **H. Mägi**, **H. Oru**, **M. Põld**, **I. Suuder**, **M. Teeäär**. Kuna kateedri nimetus ei vastanud valdava enamuse õpetatavate ainete sisule, siis uueks nimetuseks võeti *arvutusmatemaatika kateeder*. Kateedri juhatajaks valiti sellest õppeaastast Tartu Ülikoolist TPI-sse üle tulnud dots. **Leo Võhandu**. Nende ridade kirjutaja oli selle kateedri hingekirjas aga veel vaid 1966. kalendriaasta lõpuni.

H. Mägi töökoht saab jälle uue nime – arvutusmatemaatika kateeder. Pildil: kateedrijuhataja Leo Võhandu.

Veel mõned väljavõtted arhiivis säilinud koosolekute protokollidest:

19. oktoober 1966. Kateedri uue juhataja Leo Võhandu teaduslik ettekanne teemal *„Kauguse mõiste rakendamisest“.*

28. detsember 1966. Kateedri juurde taotleda 3 õppelaborit: elektronarvutite labor, informatsiooni vahetamise labor, kõrgema matemaatika õppevahendite loomise labor.

Vahepeal möödunud aega distantsilt vaadatuna oli õppelaborite avamise taotlus naiivsevõitu mõtteavaldus, mille teostumisse keegi tegelikult ei uskunud. Selleks puudusid esiteks, TPI-l rahalised vahendid ja teiseks, isegi nende olemasolul poleks laborite sisustust olnud kusagilt hankida.

Arvutite tootmine tolle hetke Nõukogude Liidus oli alles organiseerimisel, mistõttu kõrgkoolidel polnud sealt midagi oodata. Pealegi ei olnud veel kaugeltki selge, millised kateedrid ja millises suunas arvutustehnikat õpetama hakkavad. Mõisted *arvutite riistvara- ja arvutite tarkvara* olid veel tundmatud. Nii maailmas kui ka ENSV Teaduste Akadeemia Küberneetika Instituudis tehti alles esimesi lootustandvaid samme arvutite teooria ja programmeerimiskeelte loomisel.

Ainuke reaalne väljavaade laboritööde sooritamiseks oli arvuti elementide, plokkide ja seadmete uurimiseks ja katsetamiseks mõeldud makettide kohapeal nö „põlve otsas“ valmistamine. Kuna tolle aja (1960-ndate keskpaik) arvuteid ehitati NSVL-s veel diskreetsetel skeemikomponentidel (transistorid, dioodid, resistorid, kondensaatorid), siis oli see täiesti võimalik. Tuli hankida vaid piisavas koguses skeemikomponente ja montaaživahendeid, kateedri jõududega projekteerida maketid ja esitada TPI eksperimentaaltöökodadele tellimus nende valmistamiseks. Kuid veel enne makettide projekteerimisele asumist sai selgeks, et selleks ajaks, mil maketid valmivad, diskreetsetel komponentidel töötavaid arvuted isegi N Liidus enam ei toodeta. Lääneriikide arvutitööstuses oli juba kasutusele võetud integraallülitused. Oli vaid lähiaastate küsimus, millal need ka N Liidu arvutitööstusesse jõuavad. See sõltus lääne tehnoloogia kopeerimise ja tootmise käivitamise kiirusest nõukogude spetsialistide poolt. Esimesi nõukogude markeeringuga integraallülituste koopiaid õnnestus meil tutvusekanalite kaudu hankida Penza arvutitehasest VEM alles 1970-ndate alguses.

Laboratooriumide puudumise tõttu koosnes kateedri poolt läbiviidav arvutialane õppetöö esialgu vaid loengutest ja oli mõeldud üliõpilaste esmaseks tutvustamiseks elektronarvutite ehitusega (riistvara) ja töötamispõhimõtetega, programmeerimise alustega (tarkvara) ning kasutamisvõimalustega. Selleks, et abstraktset loengumaterjali reaalse tehnikaga veidigi siduda ja anda üliõpilastele võimalus arvutit ka „näpuga katsuda", korraldasime laboritöödeks ettenähtud tundide arvelt arvutuskeskuste külastusi. 1960. aastal oli Tallinnas ainult üks tegutsev arvutuskeskus: Teaduste Akadeemia Küberneetika Instituudis, kus oli äsja käivitatud tehases „Punane RET" ehitatud arvuti M-3.

Automaatika kateeder haarab ohjadest

Seoses sellega, et 1966. aastal avati uus eriala *elektronarvutid* (0608), mida profileerima hakkas automaatika ja telemehaanika kateeder, viidi mind alates 1.jaanuarist 1967. a. sellesse kateedrisse vanemõpetaja kohale üle.

Minu üleviimine oli täiesti loomulik, sest juba kaks aastat olin lugenud arvutustehnikat *automaatika* eriala üliõpilastele. Rektori käskkirjaga 20. veebruarist 1967. a. viidi arvutustehnika õpetamine üle automaatika ja telemehaanika kateedrisse, mistõttu arvutustehnika kateeder oli nüüd oma nimele vastava sisu minetanud ja nimetati seetõttu ümber *majandusmatemaatika kateedriks*, kuuluvusega majandusteaduskonda. Selles kateedris jätkati majandusteaduskonna üliõpilastele matemaatika õpetamist ning alustati arvutite programmeerimist käsitlevate ainete õpetamist.

Enne „lõppsihtkohta" elektronarvutite kateedrisse jõudmist töötab H. Mägi mõnda aega ka automaatika kateedris. Pildil: kateedri 15 analoogarvutit.

TPI Mustamäe hoonete kompleks valmis järk-järgult ajavahemikul 1964-68. Hooned valmisid numeratsioonile vastupidises järjekorras. Kui 1964. aastaks anti käiku V õppehoone, siis I hoone koos aula ja administratiivhoonega valmis viimasena ja anti ehitajate poolt üle 1968. aastal, mil TPI-s toimus ülemaailmne põlevkivi sümpoosion. Ruumid automaatika, elektroonika, füüsika, informatsioonitehnika ja raadiotehnika kateedritele olid ette nähtud 1967. aastal valminud II õppehoonesse. Informatsioonitehnika kateedrile eraldati seal ruumid järgmiselt: 216, 217 – eriala õppelaborid, 218 – õppejõudude ruum, 219 – kateedrijuhataja, 220 – laborijuhataja ja sekretär, 222 – töökoda. Ruumidesse 116 ja 117 paigutati üldelektrotehnika laborid. Seoses TPI arvutuskeskuse loomisega 1968. aastal, paigaldati kateedriga külgnevatesse ruumidesse TPI esimene arvuti Minsk-22. Arvutit teenindava personali majutamiseks võeti kateedrilt 70-ndate alguses ära ruumid 116, 117, ja 217. Nende asemele saadi elektroonika kateedri arvelt ruumid 211 ja 223.

Nagu eespool juba mainitud, eriala 0608 *arvutustehnika seadmed* (hilisem nimetus *elektronarvutid*) profileerijaks planeeriti automaatika ja telemehaanika kateeder, mida juhatas sel ajal dots. **Wilhelm Kracht**, kes alles äsja oli selle tiitli pärinud teadustööle pühendunud kateedri loojalt dots. **Hanno Sillamaalt**. Eriala 0608 sisu oli NSV Liidus juba välja kujunenud, üleliidulised õppeplaanid koostatud ja kinnitatud ning laiali saadetud.

Nende järgi koolitati juba mitmendat aastat arvutiinsenere paljudes N Liidu tehnikakõrgkoolides. Seega sai automaatika kateeder eriala 0608 õppetöö planeerimist kohe alustada.

Kateedrijuhataja **W. Krachti** ettekandest teaduskonna nõukogule 19. nov. 1968. a. arvutustehnika eriala (0608) väljaarendamise kohta TPI-s on lugeda järgmist:

1. Momendil õpivad kursuste kaupa järgmised rühmad: I kursus – 1 rühm (LK- 11), II kursus – 1 rühm (LK- 37), III kursus – 2 rühma (LK- 51, LK- 57).
2. Õppetöö aluseks on ametlik õppeplaan. Seda plaani on korrigeeritud eesmärgiga maksimaalselt ühildada õppetööd erialadel 0606 (*automaatika*), 0608 (*arvutustehnika*), 0640 (*informatsioonitehnika*) ja 0701 (*raadiotehnika*). Võrreldes ametliku plaaniga korrigeeritud õppeplaanis põhimõttelisi erinevusi ei ole.
3. Arvutustehnika eriala spetsiifilised õppeained ja nende õpetamise kava on järgmine:

Nr	Õppeaine	Maht		Õpetav kateeder	Tegelik maht
		Kokku	Loengud		
1	Arvutite aritmeetika ja loogika alused	105	87	Automaatika	180
2	Programmeerimise ja algoritmiliste keelte alused	76	56	Arvutusmatemaatika	120
3	Digitaalarvutid	168	112	Automaatika (tunnitasu)	600
4	Analoogarvutid	104	74	Automaatika	178
5	Informatsioonitehnika	90	60	Informatsioonitehnika	150
6	Arvutustehnika eriküsimused	60	40	Automaatika (tunnitasu)	90

4. Spetsiifiliste õppeainete õpetamiseks vajalik kaader ei tekita erilisi raskusi, kuna Tallinnas on piisavalt spetsialiste nii arvutustehnika kui ka programmeerimise ja algoritmiliste keelte alal, keda saab edukalt rakendada tunnitasuliste õppejõududena.
5. Õppelaboratoorne baas arvutustehnika alal on nõrk (praktiliselt olematu). Selle väljaarendamist takistab: seadmete defitsiitsus; sihtsummade puudumine; antud ala asjatundjate puudumine TPI varustusosakonnas.
6. Tundub, et juba kõige lähemas tulevikus ei kujune põhiprobleemiks mitte niivõrd arvutuskeskuste komplekteerimine teenindava personaliga, kuivõrd arvutustehnika rakendamine rahvamajanduse paljudes harudes. Kas nimetatud probleem tekib või ei, sõltub eelkõige TPI-st ja nimelt sellest, kas kõikide erialade üliõpilasi suudetakse ette valmistada arvutustehnika rakendamiseks oma erialal.

Selline oli **W. Krachti** nägemus eriala 0608 profileerimise väljavaadetest ja probleemidest vahetult enne erialaainete õpetamise alustamist, kui eriala esimene õpperühm oli jõudnud juba kolmandale kursusele.

Suurem osa erialaainetest olid kohustuslikud ja nende õpetamiseks saatis NSV Liidu kõrgharidusministeeriumi metoodikakomisjon kohtadele õppeprogrammid, mis olid küll koostatud eriala juhtivate kõrgkoolide professorite poolt, kuid sisult olid lünklikud ja metoodiliselt läbi töötamata, mistõttu nõudsid põhjalikku ümbertöötamist, enne kui nende järgi sai õpetama hakata.

Kahe eriala dilemma

1968/69. õppeaasta alguseks ei olnud ikka veel selge, mis saab erialast 0640 ja selle profileerimiseks loodud informatsioonitehnika kateedrist. Uue eriala profiil oli üleliidulises ulatuses ähmane ja sellesse selgust luua ei suutnud ka metoodikakomisjon. Nimetus *informatsiooni kogumise, töötluse ja väljastuse automatiseerimine ning mehhaniseerimine* lahti mõtestatuna sisaldab kogumise ja väljastuse osas vajadust rakendada arvuti sisend-väljundseadmeid koos andmesidega, töötluseks aga kasutada arvuteid. Need probleemid aga kuuluvad kahe juba olemasoleva eriala, *raadio(side)tehnika* ja *arvutustehnika* valdkonda,

Emeriitdotsent Harri Mägi arvutitehnika instituudis koos sekretäri Heljo Saarega (2016)

mistõttu neid ühendava veel ühe eriala loomine tundus olevat mõttetu. Seda kinnitas ka fakt, et nõudlus selle eriala spetsialistide järele oli praktiliselt olematu.

Samal ajal kasvas kiiresti arvutite hulk, mis nõudsid neid hooldavat insener-tehnilist personali ja programmeerijaid. Ainuüksi 1969. aasta jooksul arvutite hulk Eestis kahekordistus. Seega oli ette näha kasvavat vajadust just eriala 0608 inseneride järele, mistõttu tolleaegne ENSV Kõrgema ja Kesk-eriharidu Ministeerium otsustas 1969. aastal viia eriala 0640 õpperühmad üle erialale 0608, eriala profileerimine aga anda automaatika kateedrilt üle informatsioonitehnika kateedrile. Nii sai *elektronarvutite* eriala endale lõpuks ka oma kateedri.

Siinkohal on paslik küsida, miks loobus **Wilhelm Kracht** oma kateedris arvutite eriala profileerimisest, mida ta oli hoolega ette valmistanud? Vastus on üsna lihtne. Nimelt hakati samal ajal üle kogu NSV Liidu paljudes tehnikakõrgkoolides looma uut eriala, mis valmistaks ette arvutite laialdase kasutamise spetsialiste majanduse, tööstuse, tehnoloogiliste protsesside jne. juhtimiseks, nimetusega *automaatjuhtimissüsteemid* ehk lühendatult AJS .Just selle eriala avamises TPI-s nägi Kracht lahendust probleemile, mille ta arvutite eriala profileerimise ettevalmistamisel oli tõstatanud. Selle eriala loojaks ja arendajaks automaatika kateedris ta ka sai, jätkates seda missiooni hiljem arvutuskeskuse juhatajana.

Tegelikult ei sündinud arvutite eriala üleviimise otsus mitte ministeeriumi ametnike initsiatiivil, vaid TPI elektrotehnikateaduskonna nõukogu poolt moodustatud kompetentse komisjoni kahel üksteisele järgneval istungil 9. ja 13. jaanuaril 1969. a., kus osalesid tolle aja küberneetika ja arvutustehnika sellised korüfeed TA Küberneetika Instituudist nagu direktor **Nikolai Alumäe**, direktori asetäitja teaduse alal **Boris Tamm**, sektori juhataja **Ilmar Petersen**, arvutuskeskuse juhataja **Arnold Reitsakas**, Teadusliku Uurimise ja Projekteerimise-Tehnoloogia Instituudi (TUPTI ehk Pirita tee instituudi) osakonnajuhataja **Harry Tani** ja TPI poolt kateedrijuhataja **Leo Võhandu** ning dotsent **Hanno Sillamaa**. Komisjon pidas soovitavaks teha instituudile antud õiguste piirides korrektiive eriala 0608 õppeplaanis ja aineprogrammides sihiga hõlmata nendes ulatuslikumalt informatsioonisüsteemidega seotud küsimusi ja luges otstarbekaks anda eriala profileerimine informatsioonitehnika kateedrile. Samuti luges komisjon vajalikuks lähemate aastate jooksul võtta erialale 0608 päevasesse osakonda vastu 50 üliõpilast aastas.

Arvo Toomsalu: Mida õpetati elektronarvutite erialal aastatel 1966-71

Autoriteetne asendamatu õppejõud Arvo Toomsalu anno 2016

1966. aasta suvi on mällu jäänud kui üks pidev eksamite tegemise aeg. Pärast keskkooli kohustusliku kaheksa lõpueksami (matemaatika suuline ja kirjalik, füüsika, keemia, eesti keel, vene keel, võõrkeel ja ajalugu) läbimist, tõstatus teravalt küsimus – kuidas leida see õige ja sobiv kutseala, millega end edaspidiseks siduda. Kindel eesmärk oli omandada kõrgharidus, kuid tuli langetada otsus, kus jätkata õpinguid ning millisel erialal.

Kuna koolipõlves meeldisid enam reaalained ja väikestviisi sai lihtsamaid elektroonika- ja raadioseadmeid ehitatud, siis oli esialgne kavatsus minna Tallinna Polütehnilisse Instituuti õppima raadiotehnikat. Kuid nagu see elus ikka juhtub, muutuvad mõned plaanid küllaltki ootamatult ja nii juhtus see minugagi.

1966. aastal avati TPI elektrotehnika teaduskonnas vastuvõtt kahele uuele arvutustehnikaga seotud erialale. Nendeks olid pikavõitu nimedega *arvutustehnika seadmed ja aparaadid* (üleliiduline kood 0608) ja *teadusliku informatsiooni töötlemise automatiseerimine* (kood 0640). Uute erialade õpetamiseks moodustati elektrotehnikateaduskonnas ühtlasi uus kateeder – informatsioonitehnika kateeder. Kateedri esimeseks juhatajaks sai dotsent **Ustus Agur**.

Kuna arvutustehnika oli sellel ajal uudne, põnev ja perspektiivikas tehnikaala, mis oli samas tihedalt seotud elektroonikaga, siis tärkas soov end selle valdkonnaga siduda. Loobusin raadiotehnikast ja andsin TPI-sse avalduse *arvutustehnika seadmete ja aparaatide* erialale õppima asumiseks. Kuid selleks, et jõuda üliõpilase staatuseni, tuli läbida veel sisseastumiseksamite kadalipp. Vaevalt kuu pärast keskkooli lõpueksameid algasid sisseastumiseksamid TPI-s.

Tollal oli TPI insenerierialade tudengikandidaatidel ette nähtud viis sisseastumiseksamit – matemaatikas (kirjalik ja suuline), füüsikas, keemias ja emakeeles (kirjand).

Erialale 0608 võeti vastu eestikeelne (eesti) ja venekeelne (vene) õpperühm, kummaski 25 üliõpilast. Õpperühmi tähistati vastavalt koodidega LK11 ja LK17. Lisaks neile kahele õpperühmale võeti vastu veel üks eestikeelne õpperühm (25 üliõpilast) erialale 0640 (rühmakood LI11). Kuna soovijaid oli kaugelt rohkem, kui erialadele ette nähtud õppekohti, siis kujunes konkursisõel võrdlemisi tihedaks.

Augustikuu lõpul avaldati TPI-sse vastu võetud üliõpilaste nimekirjad ja septembris algas esimese kursuse üliõpilastel õppetöö.

Tegelikult tavapärase õppetööga kohe siiski algust ei tehtud. Esmalt saadeti vastsed esmakursuslased kohustuslikus korras kuuks ajaks kolhoosidesse. Ametlikult nimetati seda aktsiooni sotsialistliku põllumajanduse abistamiseks sügiseste koristustööde läbiviimisel.

Kui jätta kõrvale tolleaegse kolhoosielu negatiivsed küljed, siis ega see väga halb variant ei olnudki. Värske õhk ja konte mittemurdev maatöö aitasid taastuda pikast eksamite rallist ja kiiremini tundma õppida vastseid rühmakaaslasi. Ühises töös avaldusid peagi inimeste iseloomud ja tõekspidamised. Kuu aega mõnusas seltskonnas möödus kiiresti ja peagi olime taas tagasi instituudi seinte vahel. Tegeliku õppetööni jõudsime alles oktoobrikuus. Esmalt tuli taas hakata tegelema ainetega, mida sai õpitud ka keskkoolis, kuid nüüd juba oluliselt põhjalikumalt ning kõrgemal (teaduslikumal) tasemel.

Sel ajal viidi NSV Liidu kõrgkoolides õppetööd läbi ühtsete üleliiduliste õppeplaanide alusel. Nagu tänapäevalgi, jagunes õppeaasta kaheks semestriks – sügis- ja kevadsemestriks. Tehnikaerialadel oli õppeaeg viis aastat, neist üheksa semestrit oli ette nähtud õppetööks ja viimane kümnes semester diplomipraktikaks ning diplomitöö või diplomiprojekti koostamiseks. Lõputööde (projektide) kaitsmine toimus riikliku eksamikomisjoni ees.

Eksamisessioonid toimusid vastavalt jaanuaris ja mais-juunis. Osavõtt õppetöö kõigist vormidest oli rangelt kohustuslik. Aeg-ajalt tehti üliõpilaste kohaloleku pistelisi kontrolle ja kui kellelgi üliõpilastest ületas põhjuseta puudutud tundide arv kehtestatud piiri, siis järgnes eksmatrikuleerimine.

Õppetöö alguses rõhutati korduvalt, et TPI valmistab ette laia silmaringi ja oskustega spetsialiste, seetõttu oli õppeplaanidesse lülitatud õppeaineid erinevatest tehnikavaldkondadest.

Arvo Toomsalu noore õppejõuna elektronarvutite kateedris. Temast vasakul Harri Mägi, paremal Uno Kuuskor ja Toomas Kont (1988).

Esimesel kahel õppeaastal oli tähelepanu pööratud eeskätt elektriinseneridele vajalikele üldteadmistele. Õppisime analüütilist geomeetriat, kõrgemat matemaatikat, füüsikat, keemiat, kujutavat geomeetriat, tehnilist joonestamist, teoreetilist mehaanikat, masinate ja mehhanismide teooriat, metallide ja konstruktsioonimaterjalide tehnoloogiat, peenmehaanikat ning võõrkeelt.

Esimese kursuse sügissemestril sai läbitud üks praktilise iseloomuga õpe – töö töökodades. Selle käigus anti elementaarne ülevaade metallide mehaanilise töötlemise võtetest ja vahendeist. Nii mõnelgi neiul tuli elus esmakordselt hoida käes viili ja rauasaagi. Aga töö õpetas ja hakkama (arvestuse) said kõik. Et pingsa õppimise juures tudengite füüsis ei kannataks, selleks olid ette nähtud kehalise kasvatuse tunnid.

Kahe esimese õppeaasta eksamisessioonid tegid arvutustehnika erialade õpperühmades päris tõsist „puhastustööd". Ootamatult paljudel toredatel rühmakaaslastel tuli tudengieluga hüvasti jätta. Kuna üliõpilaste arv, eriti õpperühmas LI, oli kahanenud üpriski väikeseks, siis liideti eestikeelsed õpperühmad LK ja LI kokku ning edaspidi tähistati moodustunud liitrühma koodiga LI. Ühtlasi hakati ka venekeelset õpperühma LK tähistama koodiga LI.

Alates teisest kursusest, eriti aga kolmanda kursuse sügissemestrist, lisandusid õppeained, mis olid otseselt seotud elektrotehnika, elektroonika, informaatika ja arvutustehnikaga.

Tulevaseks erialaliseks tööks vajalikke teadmisi omandasime sellistel kursustel nagu elektrotehnika teoreetilised alused, elektrimõõtmised, elektrilised mikromasinad, elektromagnettehnika (magnetoonika), elektron- ja pooljuhtelemendid, elektron- ja pooljuhtseadmed, automaatreguleerimine, impulsstehnika, infotehnika, informatsiooni-teooria alused ning küberneetika matemaatilised alused. Neid aineid lugesid väga erudeeritud õppejõud, kelle poolt edasi antud teadmistest on hilisemas erialases töös olnud suurt abi.

Õppejõududest on eriti on meelde jäänud **H. Sillamaa**, **L. Einer** ja **H. Ross** automaatika kateedrist, **E. Schults** raadiotehnika kateedrist, **I. Tergem** elektroonika kateedrist.

Õppeaineid, mis seondusid kõige vahetumalt arvutite ja arvutustehnikaga, lugesid valdavalt informatsiooni kateedris töötavad õppejõud. Meeldejäävaid ja väga sisukad loenguid esitasid **A. Ariste** (*elektronarvutite aritmeetika ja loogika aluste* ning *arvutustehnika seadmete konstrueerimise* kursused) ja **H. Mägi** (*numbriliste arvutusmasinate (digitaalarvutite)* ning *arvutustehnika eriküsimuste* kursused).

Huvitav oli *analoogarvutite* kursus, mida esitas elektrotehnika kateedri õppejõud **R. Võrk**. Nüüdseks on see arvutite klass aga oma tähtsuse minetanud ning pakub huvi vaid arvutite ajaloo aspektist. Palju huvitavat saime teada raadiotehnika kateedri õppejõu **E. Hanseni** loengutest, kes esitas *arvutustehnika seadmete tehnoloogia* kursust.

Eraldi teoreetiline kursus oli pühendatud arvutustehnika töökindlusele. Sellel ajal pööra-ti elektroonikaseadmete ja süsteemide töökindluse küsimustele üldse väga suurt tähelepanu. Oli tavaline, et diplomiprojekti seletuskirja ühes peatükis vaadeldi projekteeritud seadme töökindlusega seonduvaid küsimusi.

Paraku tuleb tõdeda, et kui arvutite riistvaraga seonduvaid kursused olid piisava mahu ja põhjalikkusega, siis olulisi vajakajäämisi esines tarkvara temaatika osas. Tarkvaraline ettevalmistus piirdus vaid ühe arvestusega lõppenud kursusega, milleks oli *programmeerimine* ja ühe eksamiga lõppenud kursusega – *programmeerimise ja algoritmiliste keelte alused*. Mõlemat tarkvaraainet õpetas **A. Korjus.** Katta kahe kursusega nii laia valdkonda nagu arvutite tarkvara, ei ole lihtsalt võimalik. Sellele puudusele õppeplaanis viitas korduvalt ka meie õppejõud. Nõrk ettevalmistus tarkvara vallas andis praktilises töös hiljem teravalt tunda ning iseseisvalt tuli veel palju juurde õppida.

Erialaste õppeainete omandamist raskendas sobiva õppekirjanduse puudumine. Põhiline arvutustehnika alane õppekirjandus oli venekeelne ning nendegi väheste raamatute kättesaamine raamatukogudest polnud lihtne. Seepärast tuli loengutes võimalikult palju materjali konspekteerida. Eriti tülikas oli keerukamate lülituste skeemide ja nende talitlust kirjeldavate ajadiagrammide kiire ümberjoonistamine tahvlilt oma konspekti. Kuna väga raske oli loengut jälgida ning samaaegselt seda võimalikult üksikasjaliselt konspekteerida, siis jäid loengute konspektid tihti lünklikeks. Harvad polnud juhud, kui hiljem tekkis raskusi iseenda loengukonspektist aru saamisega. Tavaliseks oli praktika, et kaasüliõpilastelt sai laenatud nende konspekte ning nende abil täiendati oma materjale.

Omaette ploki moodustasid õppeplaanis ained, mis olid seotud ökonoomika ja (sotsialistliku) tootmise korraldamisega – *tööstuse ökonoomika, tootmisettevõtete korraldus ja planeerimine* ning *majandustegevuse juhtimine*. Tinglikult võiks sellesse plokki lisada ka *töökaitse* kursuse. Ökonoomika kursuseid, välja arvatud töökaitse, luges tootmise ökonoomika ja organiseerimise kateedri õppejõud **L. Sarapik**.

Läbi nelja esimese õppeaasta püüti üliõpilastes kujundada „õiget" maailmavaadet. Seda ülesannet olid kutsutud täitma nn „punased" õppeained. Esimese õppeaasta jooksul läbiti *teadusliku ateismi aluste* ja *NLKP ajaloo* kursused. Teisel õppeaastal tutvuti põhjalikumalt *marksistlik-leninliku filosoofiaga*. Kursust esitas tollane ENSV haridusminister **F. Eisen**. Kolmandat õppeaastat sisustas *poliitökonoomia*, neljandal õppeaastal jõuti *teadusliku kommunismi* alusteni. Neist nelja aasta jooksul läbitud kursustest on meelde jäänud, põhiliselt aine sisukuse poolest, ainult filosoofias käsitletud dialektika küsimused. Omaette naljanumbriks oli aga *ateismi aluste* kursus. Kuidas oli korraldatud õppetöö kolmandal ja neljandal õppeaastal, kui õpiti põhiliselt erialaaineid, nädalapäevade kaupa LI-eriala eestikeelsel õpperühmal, see on toodud tabelites 1 kuni 4 lk 79. Nii nagu praegugi jaotus semester paaris ja paarituiks õppenädalateks. Õppetöö toimus esmaspäevast laupäevani, õppepäev algas kell 8.30 ja lõppes tavaliselt kell 17.00. Mis puutub viiendasse õppeaastasse, siis auditoorse õppetöö maht kahanes sellal märgatavalt. Viimane (kümnes) semester oli tervenisti eraldatud diplomipraktikale ja lõputöö (diplomitöö või diplomiprojekti) koostamisele. Lõputööde kaitsmine toimus esindusliku riikliku eksamikomisjoni ees.

Nagu lisatud tabeleist nähtub, oli iga nädala reedene päev pühendatud eriettevalmistusele. Ebamäärase nimega õppeaine *eriettevalmistus* varjas sõjalist õpetust. Nimelt valmistati TPI-s ette Nõukogude armeele reservohvitsere. Kuna tegemist oli rangelt salastatud õppetegevusega, siis isegi 1986. aastal ilmunud juubeliraamatus „Tallinna Polütehniline Instituut 1936-1986" (toimetaja **M. Graf**), ei leidu viidet TPI erikateedri kohta.

Elektrotehnika teaduskonna üliõpilaste sõjaline ettevalmistus toimus eriettevalmistuse kateedri Filtri teel paiknenud hooneis. Kateedrit juhatas tollal robustsevõitu polkovnik **I. Barinov**.

Teadmised, mida tulevastele arvutiinseneridele seal õpetati, olid väga kaugel isegi elektriasjandusest, rääkimata elektroonikast või informaatikast. Kuna meid valmistati ette teenistuseks NSV Liidu insenerivägedes, siis õppekava sisaldas kursuseid *sõjaväe inseneritehnikast* ja selle kasutamisest, algteadmisi *jalaväe taktikast*, *sapööriasjandusest, topograafiast, tsiviilkaitsest* jms.

Muidugi toimus nii õpptöö kui ka suhtlus kateedri õppejõududega üksnes vene keeles. Neil eesti tudengeil, kelle suhted selle keelega polnud just kiita, oli esialgu õpitavast päris raske aru saada. Neljandal kursusel, pärast kevadist eksamisessiooni, toimus kuuajaline sõjaväelaager Tapa sõjaväelinnakus. Selle eesmärgiks oli anda praktilisi oskusi õpitavas sõjalises erialas. Vahetult pärast laagri lõppu toimus Tallinnas veel koondeksam, mille edukalt läbinuile omistati hiljem Nõukogude armee insenerivägede nooremleitnandi auaste. Iseküsimus, mida sellised „kiirküpsetatud" reservohvitserid oskasid ja kuidas nad oleksid reaalses sõjaolukorras suutnud oma ülesandeid täita.

Pärast Eesti taasiseseisvumist võeti 1991. aasta septembris TTÜ nõukogus vastu otsus, et TTÜ-s lõpetatakse reservohvitseride ettevalmistamine ning erikateeder likvideeritakse.

Kui lühidalt kokku võtta arvutieriala esimeste lõpetanute viieaastane stuudium TPI-s, siis igale lõpetanule diplomi juurde välja antud hinnetelehest selgub, tuli selle aja jooksul sooritada eksam 33 aines. Tegelik eksamite arv oli muidugi märgatavalt suurem, sest mahukamad kursused (kõrgem matemaatika, füüsika jt) jagunesid mitme semestri vahel ning igaüks neist lõppes individuaalse eksamiga. Hinnetelehele kanti aga aine eksamite tulemuste koondhinne. Üksteist kursust lõppes arvestusega.

Tab1. Kolmanda kursuse tunniplaan 1968/69. õa, sügis[1]

Esmaspäev	
8.30 – 10.00	Elektrotehnika teor. alused, lab
10.15 – 11.45	Elektrotehnika teor. alused (l)
12.00 – 13.30	– / Elektrotehnika teor. alused (h)
Teisipäev	
8.30 – 10.00	Poliitökonoomia (l) / –
10.15 – 11.45	Programmeerimine (l)
12.00 – 13.30	Informatsioonitehnika (l)
13.45 – 15.15	Arvutusmasinate aritm. ja loogika (l)
Kolmapäev	
8.30 – 10.00	Küberneetika matem. alused (l)
10.15 – 11.45	Elektrotehnika teor. alused (l) / –
Neljapäev	
8.30 – 10.00	Arvutusmasinate aritm. ja loogika (l)
10.15 – 11.45	Poliitökonoomia (l)
13.45 – 15.15	Küberneetika matem. alused (l)
15.30 – 17.00	Programmeerimine (h)
Reede	Eriettevalmistus
Laupäev	
8.30 – 10.00	Poliitökonoomia (sem)
10.15 – 11.45	Informatsioonitehnika (l)
12.00 – 13.30	Arvutusmasinate aritm. ja loogika (l)

Tabel 2. Kolmanda kursuse tunniplaan 1968/69. õa kevad

Esmaspäev	
8.30 – 10.00	Automaatreguleerimine (l)
10.15 – 11.45	Automaatreguleerimine (l) / Elektron- ja pooljuhtseadmed (l)
12.00 – 13.30	Elektron- ja pooljuhtseadmed (l)
13.45 – 15.15	Elektron- ja pooljuhtseadmed (l) / Elektri- ja raadiomõõtmised (l)
Teisipäev	
10.15 – 11.45	– / Poliitökonoomia (l)
12.00 – 13.30	Ühiskondlikud üritused
Kolmapäev	
8.30 – 10.00	Elektron- ja pooljuhtseadmed (l)
10.15 – 11.45	Elektron- ja pooljuhtseadmed (l) / Automaatreguleerimine (l)
12.00 – 13.30	Automaatreguleerimine (l)
13.45 – 15.15	Elektri- ja raadiomõõtmised (l)
15.30 – 17.00	Elektri- ja raadiomõõtmised (l) / –
Neljapäev	
8.30 – 10.00	– / Elektrotehnika teor. alused (lab)
10.15 – 11.45	– / Elektrotehnika teor. alused (lab)
12.00 – 13.30	Elektrotehnika teoreetilised alused (l)
13.45 – 15.15	Poliitökonoomia (sem)
15.30 – 17.00	Mikroelektrimasinad (l)
Reede	Eriettevalmistus
Laupäev	
10.15 – 11.45	Mikroelektrimasinad (l)
12.00 – 13.30	Mikroelektrimasinad (lab)

Tabel 3. Neljanda kursuse tunniplaan 1969/70. õa sügis

Esmaspäev	
8.30 – 10.00	Teadusliku kommunismi alused (l)
10.15 – 11.45	Teadusliku komm. alused (sem) / –
12.00 – 13.30	– / Digitaalarvutid (h)
13.45 – 15.15	Elektromagnetseadmed (lab)
15.30 – 17.00	Elektromagnetseadmed (lab)
Teisipäev	
12.00 – 13.30	Programmeerimine (l)
13.45 – 15.15	Impulsstehn/ Elektromagn.seadm lab
15.30 – 17.00	Impulsstehnika (lab) / –
Kolmapäev	
8.30 – 10.00	Analoogarvutid (l)
10.15 – 11.45	Elektromagnetseadmed (l)
13.45 – 15.15	Elektromagnetseadmed (l)
15.30 – 17.00	Impulsstehnika (l)
Neljapäev	
8.30 – 10.00	Digitaalarvutid (l)
10.15 – 11.45	Digitaalarvutid (l)
12.00 – 13.30	Tootmise ökonoomika (l)
13.45 – 15.15	Tootmise ök. (prakt) / Imp.tehn, lab
15.30 – 17.00	Analoogarvutid (l) / Teadusliku kommunismi alused
Reede	Eriettevalmistus
Laupäev	
8.30 – 10.00	Digitaalarvutite loogika alused / –
10.15 – 11.45	Digitaalarvutite loogika alused / –
12.00 – 13.30	Impulsstehnika (l)
13.45 – 15.15	Digitaalarvutite loogika alused (lab)
15.30 – 17.00	Digitaalarvutite loogika alused (lab)

Tab 4. Neljanda kursuse tunniplaan 1969/70. õa kevad

Esmaspäev	
10.15 – 11.45	Digitaalarvutid (l)
12.00 – 13.30	Tootmise organiseerimine ja planeerimine (l)
13.45 – 15.15	Tootmise organiseerimine ja planeerimine (l/sem)
Teisipäev	
8.30 – 10.00	Arvutustehnika eriküsimused (l)
10.15 – 11.45	Arvutustehnika eriküsimused (l)
12.00 – 13.30	Programmeerimine (l)
13.45 – 15.15	Analoogarvutid (lab a/b)
15.30 – 17.00	Analoogarvutid (lab a/b)
Kolmapäev	
8.30 – 10.00	Digitaalarvutid (l)
10.15 – 11.45	Digitaalarvutid (lab a/b)
12.00 – 13.30	Digitaalarvutid (lab a/b)
13.45 – 15.15	Analoogarvutid (lab a/b)
15.30 – 17.00	Analoogarvutid (lab a/b)
Neljapäev	
8.30 – 10.00	Arvutusseadmete töökindlus (l)
10.15 – 11.45	Teadusliku kommunismi alused (l)
12.00 – 13.30	Programmeerimine (l)
13.45 – 15.15	Analoogarvutid (l)
Reede	Eriettevalmistus

Koostada tuli viis kursuseprojekti – peenmehaanikas, elektron- ja pooljuhtseadmetes, elektromagnettehnikas, elektronarvuteis ja infotehnikas. Lisaks tuli kirjutada ka kolm kursusetööd – ettevõtete korralduses ja planeerimises, elektronarvutite aritmeetika- ja loogika alustes ning masinate ja mehhanismide teoorias. Praktikaid toimus kolm – õppepraktika, tööstuspraktika ja diplomipraktika. Nagu juba mainitud, tuli õpingute lõpetamisel viienda õppeaasta kevadsemestril, koostada spetsialisti küpsust tõestav diplomiprojekt või diplomitöö.

[1] 20. sajandi 60-70ndatel aastatel leidsid digitaalarvutite sõlmedes väga laialdast kasutamist magnetilistel nähtustel põhinevad lülituselemendid. Eeskätt muidugi arvutite mälusüsteemides. Arvutite sisemäludes (püsi- ja muutmälud) kasutati mäluelementidena ferriitrõngaid, välismäludena toimisid aga magnetketassalvestid ja magnetlintsalvestid. Magnetoonika kursuses käsitleti elektromagnetilisi nähtusi erinevates materjalides, magnetahelaid, erinevaid magnetelemente ja nende tööpõhimõtteid.

Kuigi astusime Tallinna Polütehnilisse Instituuti õppima erialal *arvutustehnika seadmed ja aparaadid*, siis stuudiumi lõpetamisel omistati meile elektriinseneri kvalifikatsioon *elektronarvutite* erialal.

Eestikeelses õpperühmas LI101 lõpetas 20 üliõpilast, neist 13 õppisid algselt õpperühmas LK, venekeelse LI107 aga 13 üliõpilast. Aastal 1966 *arvutustehnika* erialadel õpinguid alustanud 75-st üliõpilastest jõudis 1971. aastal inseneri diplomini 33 üliõpilast ehk 44% õpinguid alustanud tudengeist. Kui võrrelda elektronarvutite eriala esimese lennu üliõpilaste väljalangevust praegu *arvutisüsteemide* erialal õppivate üliõpilaste väljalangevusega, siis tulemus polegi vast halb.

Ksenja Grigorjeva: Minu ülikool (1967-72)

Emale ja Garšnekile,
ainsatele ja kordumatutele

Ülikooli astumisest

Minu side Tehnikaülikooliga algas varases lapsepõlves ja tänu Internetile pole lõppenud siiani, olgugi et olen ammu pensionil. Ülikool sai minu elu lahutamatuks osaks. Olin 4-aastane, kui käisin vanaemaga tolleaegses TPI peahoones, kus töötasid mu tädi ja onu. Tädi töötas raamatupidamises – kirjutas välja tudengitele stipendiumi palgalehti. Sealt jäid talle meelde parimate tudengite nimed – **Lippmaa**, **Engelbrecht**, **Keevallik**, **Ubar** … – s.t. need, kes iga kuu said stippi. Ehitajast onu **Sergei Dokelin** oli tollal aspirant ja lõpetas oma kandidaadiväitekirja. Tööruumi oli vähe ja onu katsed oleksidki jäänud tegemata ning kandidaaditöö lõpetamata, kui üllas inimene füüsik **Georg Mets** poleks eraldanud talle ühte nurgakest oma keldrilaboris. Minu emast, kes töötas ülikooli TU sektoris, jäid kindlasti soojad mälestused kõigil, kes tegid ülikoolis teadustööd. **Verner Kikase** laboris hakkas pensionieas töötama laborandina ka minu isa – kogenud ehitusinsener. Tol ajal tohtisid pensionärina töötada ainult töölised ja arstid.

Dots. Georg Mets (vasakul), Pjotr Kapitsa ja Werner Heisenbergi õpilane, tutvumas uue seadmega (1958)

Mina hakkasin kõrgharidusest mõtlema põhikooli viimases, 8.klassis ja nägin ennast elektriinsenerina *automaatika-* või *raadiotehnika* erialal. Arvutitehnikat siis veel ei õpetatud. Keskkooli viimasel kahel aastal käisin pühapäeviti Koplis Rahvaülikoolis füüsikaloengutel. Siit algaski minu tõeline side TTÜga.

Kui lõpetasin keskkooli, siis võeti avaldusi vastu arvutierialale juba teist korda. Siia ma hakkasingi kandideerima. Konkurss oli suur, keskkooli medaliomanikud pääsesid sisse kas hoopis eksamiteta või oli neil eksameid vähem – täpselt enam ei mäleta. Ülejäänud

pidid läbima sisseastumiseksamid matemaatikas (kirjalik ja suuline), füüsikas, keemias, võõrkeeles ja kirjutama kirjandi, samuti läks arvesse keskkooli lõputunnistuse keskmine hinne. Suulistel eksamitel olid eksaminaatoriteks peale ülikooli õppejõudude ka kooliópetajad. Matemaatika eksamil sattusin ühe tuttava „korruptandi" juurde. Päris läbi kukutada ta mind ei saanud, kuid pani „kolme" ja juba samal päeval pakkus mu sugulastele oma „abi", lubades „garanteerida" mulle järgmisel aastal sissepääsu ülikooli… Minu õnneks jäi mul puudu vaid 0.01 palli, millega olin esimene joone all…

Ütlesin „õnneks", sest tänu sellele komistusele avanes mul võimalus astuda sisse eesti õppekeelega rühma *automaatika ja telemehaanika* erialale, kus oli madal konkurss. Lubati minna *arvuti* erialale üle siis, kui rühmas tekib vakantne koht. Seni aga tohtisin tundides käia kas ühe või teise rühmaga. Sama kehtis ka eksamitel. Pidasin nüüd auasjaks õppida vähemalt kodus eesti keeles. Ostsin eestikeelsed matemaatika õpikud ja mõlemad eksamid (*matemaatilises analüüsis ja analüütilises geomeetrias*) sooritasin eesti keeles koos oma ametliku rühmaga. Selleks tuli mul lisaks veelgi pingutada, sest venekeelses voorus loeti tol aastal matemaatikat lühendatud programmi järgi. Lünga likvideerimiseks hakkasin kuulama koos õhtuste tudengitega ka dots. **Frederik Vichmanni** loenguid.

Kõik ained ja õppejõudude nimed ei ole mul ununenud tänu minu matrikli fotokoopiale. Iga arvestuse ja eksami hinne kirjutati sisse nii arvestus-/eksamilehele, kui ka matriklisse. Kuna pidime enne diplomi kättesaamist loovutama matriklid TPI arhiivile, siis soovides jätta mälestuseks minu jaoks mitmed kallid matriklis olnud autogrammid, lasin matrikli ära pildistada. Kõik muud kopeerimisviisid olid eraisikutele tol ajal rangelt keelatud…

Kõrghariduse (s.t. inseneridiplomi) saamiseks oli vaja õppida viis aastat päevases või kuus õhtuses või kaugõppes. Õppeained ei olnud formaalselt jaotatud mooduliteks, kuid 1. ja 2. kursusel olid enamasti üldhariduslikud ained, 3. kursusel algasid aga erialased ained. Ja igal semestril oli kindlasti mõni „punane" aine – nendega oli mul kõige raskem… Esimene katsumus oli *teadusliku ateismi* arvestusel – hakkasin rääkima ettevaatlikult, kuid siiski nii, nagu mina õigeks arvasin. Õnneks **David Erport** vihastus vaid mu terminoloogia peale – vastuse tegelikust sisust ta vist aru ei saanudki…

Paljud meieaegsed ülikoolireeglid olid „ranged nagu Viiburi sõjakoolis", kuid mõned neist olid kindlasti ka mõistlikud:

1. Laupäev, mis oli ammu juba vaba kõikide jaoks, oli õppurite jaoks tööpäev, järelikult ka õppejõudude jaoks.
2. Süüa aga laupäeviti ja pühapäeviti (raamatukogu töötas iga päev) ülikoolis ei saanud. Argipäevadel kuni peakorpuse söökla ehitamiseni Mustamäel sai süüa ainult „keemias" (IV korpuse puhvetis), kus oli 3-4 väikest lauda, kus aga kohvi ei müüdud, kui ei olnud istekohta. Nii et esimesel kursusel tuli meil kas terve päev (vahest hilise õhtuni) nälgida või süüa „kuivalt" koduseid võileibu.
3. Iga semestri viimane nädal oli nn. arvestusnädal, mille jooksul pidid saama sooritatud kõik arvestused ja kaitstud kõik kursuseprojektid ja -tööd. Kui jäi mingi mõjuva põhjuseta võlgnevus, ei lubatud eksamisessile, mis tähendas aga automaatset „eksmatti".
4. Kõiki õppetunde oli kohustus külastada. Rühmal oli päevik, kus registreeriti kohal olnud tudengeid ja kuhu õppejõud pidid oma tundide lõpul panema allkirjad. Mõjuva põhjuseta kolm puudumist tähendas stipist ilma jäämist. Oli küll võimalus taotleda erigraafikut, kuid selleks ei tohtinud olla eelmisel semestril ühtegi kolme (põrumistest rääkimata). Mõnedele õppejõududele ei meeldinud selline „akadeemiline vabadus" ja liiga edukat tudengit võis oodata eksamil/arvestusel kiusamine.

5. Kõikide arvestuste, eksamite ja eksamieelsete konsultatsioonide ajad ning ruumid määras õppeosakond (nagu tunniplaanigi). Õppejõul ja seda enam tudengil ei olnud mingit valikuvõimalust. Eriti agaralt püüti määrata aegu 24. detsembri õhtule ja 25. detsembri hommikule eesti rühmades ning 6. jaanuari õhtule ja 7. jaanuari hommikule vene rühmades. Eksamite vahel pidi olema ettevalmistuseks 3 päeva. Vaba päev oli ainult 1. jaanuar, 31. detsember oli tööpäev ja sel päeval viimased arvestused kestsid sageli õhtuni. Eksamid algasid 2. jaanuaril.
6. Iga eksamisessi jooksul ei tohtinud olla üle kahe põrumise ja needki pidid olema parandatud sessi jooksul, muidu oli tulemuseks jällegi eksmatt. Kõik hinded olid märgitud dekanaadi kõrval rippuvatel eksamitabelitel: 5 – punane, 4 – sinine, 3 – roheline ja 2 – must.
7. Stipi saamiseks ei tohtinud olla ühtegi kolme või pidi olema perekonna keskmine sissetulek alla miinimumi. Neljal esimesel kursusel oli stipp 35 rubla (kõrgendatud – 42), viiendal kursusel oli stipp vastavalt 40 ja 50. Kes oli mingi asutuse stipendiaat (oli töötanud seal vähemalt kaks aastat ja edasi suunatud õppima kõrgkooli) sai stippi oma asutuselt hinnetest olenemata.
8. Pärast kolmandat ja neljandat kursust toimus kuuaegne praktika, enne diplomiprojekti/-töö kirjutamist – diplomieelne praktika.
9. Peale diplomiprojekti/-töö kaitsmist omistati elektriinseneri kutse ja värsked insenerid asusid tööle seal, kuhu nad olid suunatud vastava komisjoni otsusega ja kus pidid töötama vähemalt kaks aastat. Tööle suunamiseks olid vakantsete töökohtade nimekirjad. Üldiselt võisid need kohad olla ükskõik kus tollase NL territooriumil. Kuna mõnikord ei garanteeritud noorele spetsialistile ja tema perele elamispinda või töökohta abikaasale, siis oli võimalik loobuda sundsuunamisest ja saada nn. „vaba diplom“ töökoha valimiseks lisanimekirjast, mida pakkusid Eesti asutused või leida endale sobiv töökoht ise.

Tudengipõlve algusperioodist

Esimese kursuse septembris värskelt immatrikuleeritud tudengid ei õppinud, vaid töötasid kas põllumajanduses saagikoristamisel või ülikoolis majandustöödel. Mina aitasin meie teaduskonna kolimisel uude majja – energomajast (Kopli 82) vastehitatud II korpusesse Mustamäel. Esialgu tuli teha mõned reisid veoki kastis – paigutada sinna pakid aparatuuriga, hoolitseda, et miski ümber ei kukuks ja kohale jõudes ulatada need vastuvõtjatele. Kõik läks ladusalt, kuni tuli iseendal maha ronida – tol ajal oli ju samuti minimood ja auto kõrval irvitasid poisid… Meie tööd juhtinud dots. **Väljamäe** pakkus rüütellikult mulle võimalust teha baleriinihüpe, kuid ma ikka kahtlesin tema balletitantsu võimetes ja ronisin õnnelikult ise alla autokasti teisest otsast, kuhu poiste silmad ei ulatunud…

Oktoobris algas minu jaoks nii õppe- kui ka ametitöö, aga ka eksamite sooritamine. Nimelt pakuti mulle poole kohaga tööd matemaatika kateedri laborandina – teha masinakirjtööd vene keeles. See ei olnud raske ja klaviatuuri kasutamine sai kiiresti selgeks. Ainsaks erandiks oli vahapaberile trükkimine kontrolltöö ülesannete paljundamiseks – seal ei saanud teha parandusi ja iga rikutud lehe hävitamiseks kutsuti kokku kolmeliikmeline komisjon: kateedri esindaja, 1. osakonna juhataja ja ei mäleta kes veel. Seega vahapaberitööd tegi minu asemel ema, mina aga samal ajal kontrollisin tema asemel lepinguliste töötajate töögraafikuid. Vahapaberist koopiate „paljundamise“ tulemuseks oli peaaegu mitteloetav tekst, kuid teist võimalust tollal ei olnud. Hiljem, kui ma ise hakkasin õpetama, valmistasin kõik ülesanded oma kirjutusmasinal läbi kopeerpaberi.

Esimese eksami tudengina sooritasin 16. oktoobril II semestri eest – see oli vene keel (vene rühmades eesti keelt ei õpitud). Sellest ajast peale sai minust igasuguste koosolekute tasuta sünkroontõlkija. Kohustuslik oli tõlkida ikka eesti keelest vene keelde, kuid ma tõl-

kisin jonnakalt ka vastassuunas ja kui mulle püüti selgitada, et see on üleliigne, tegin lolli näo ja küsisin: „Kas meil polegi siis kõik võrdsed?“. Kehitati õlgu ja jäeti mind rahule… See praktika sai aga jällegi mulle väga kasulikuks tulevikus.

Minu õnnetuseks olid „poliitilised“ õppeained igal semestril. Need olid ka ainsad, kus ma ei häbenenud teha „sohki“. Näiteks, filosoofia eksamil **Otto Šteinile** me korjasime kokku nii mitu õppekava brošüüri kui mitu peatükki oli õpikus, lõikasime õpiku katki ja köitsime iga peatüki õppekava kaante vahele. „Õppekavad“ tulid välja üsna erineva paksusega, kuid õnneks märkas Štein seda alles siis, kui eksam oli läbi saanud.

Hiljem tegid minu raadiotehnikutest tudengid teise triki. Tol ajal kandsid poisid pikki juukseid, seega ei olnud näha, et eksamiruumis olid kõik tudengid kõrvaklappidega, koridoris aga istus nende raadioamatöörist kursusekaaslane oma aparaadiga ja dikteeris vastuseid õpikust… Filosoofia eksamieelsel konsultatsioonil juhtus samuti lõbus lugu. Štein hakkas väitma, et miniseelikute kandmine ei ole amoraalne (tol ajal oli see „poliitiliselt korrektne“ arvamus), vaid hoopis demonstreerib „kõrget kommunistlikku teadlikkust“, sest see mood on tekkinud solidaarsusest maailma proletaarlastega, kel pole raha suuremate kehakatete soetamiseks. Rääkides klassivõitlusest sattus Štein aga niisugusse vaimustusse, et haaras tühja tooli ja virutas sellega vastu põrandat – tool lagunes kohe esimesest katsest, misjärel tabas sama saatus veel ühte teist tooli – Štein aga vaatas imestades oma saavutustele ja justkui ei saanudki aru, mis oli toimunud…

Poliitilised olid ka majandusained, kuid mõned õppejõud olid mõistlikud ja ei võtnud kõike väga tõsiselt. Viiendal kursusel just enne eksamit oli ilmunud viisaastakuplaani koostamise uus mudel. Konsultatsioonil rõhutas proua K. mitu korda, et see koosneb seitsmest etapist. Samal ajal tekkis sellest ka anekdoot, mis loomulikult jäi paremini meelde… Eksamil mulle sattuski pilet sellest plaanist. Istun eksamineerija vastas, luuletan midagi kokku, mis sarnaneks anekdoodiga (kuid oleks mitte niivõrd irooniline) ja kõverdasin punkte lugedes näppe… Kui jõudsin seitsmenda punktini, tõstsin pilgu ja nägin, et eksamineerija samuti loeb usinasti vastatud punkte näppude peal… Mõlemad lõpetasime korraga „seitsmenda näpuga“ ja ohkasime kergendusega. Pileti teist küsimust vastata minult ei oodatudki…

Viimasel kursusel oli kaks juuraga seotud ainet – *ohutustehnika* ja *majandusasutuste juhendamine*. Esimest luges dots. **Gunnar Kiivet**, teist – dots. **Heino Tõnismägi**. Kiiveti loengud olid meeldivalt humoorikad, mistõttu seadused (mõnikord paradoksaalsed) jäid kergesti meelde. Tõnismägi oli aga ülimalt range ja nõudis tööseaduste peensusteni tundmist (hiljem sai temast prokurör). Ju ta arvas, et nende seaduste tundmisest oleneb tudengi tulevane tõus karjääriredelil… Kord seisime Pärnu maanteel Linnaapteegi ees ja vaatasime, kuidas töölised eemaldasid krohvi Draamateatri fassaadilt, mille alla oli peidetud Eesti vapp. Kus olid nüüd need seadused? Esimest korda nägin Tõnismäe näol laia naeratust ja mõtlesin, et ka tema vabanes oma krohvist…

Huvitavad lood olid ka kehalise kasvatusega. See oli millegipärast alati teiste tundide vahel. Mäletan, et teisel semestril toimus pärast „kehalist“ keemia vooruloeng. Talvel peale suusatamist tuli istuda väsinuna lämbesse „akvaariumisse“ (niisugune oli III-, IV- ja V-103 audikate hüüdnimi) ja vahel kukkus nii mõnegi uinunud tudengi pea lauale, millele järgnes üldine naerupahvakas. Siis kõik vaibus, et korduda uuesti… Kolmandal või neljandal semestril käisid kõik meie teaduskonna teise kursuse tüdrukud võimlemas vana

elektrijaama saalis. Ruum oli tröötitu – pesemata aknad, nurkades katkised toolid… Et tunni lõpuks meid pisut ergutada, korraldati mäng „tantsud vangilaagris“ – õppejõud lõi katkise tooli jalaga vastu toolipõhja takti, meie aga tantsisime polkat… Pärast tuli joosta trammile, et mitte hilineda järgmisele loengule Koplis.

Omaette katsumuseks olid matemaatika laborid sõna otseses mõttes „raudsete“ *Felixitega* – need olid vanad katkised aritmomeetrid. Arvude valimiseks oli vaja liigutada piludest välja ulatuvad metalseid tihvte, teheteks – keerata vänta. Nii ühed kui teised olid aga kõverad ja kiilusid kinni. Kui ma ülikooli lõpetasin, siis neid laboreid enam ei tehtud.

Võõrkeele tundides enamasti kordasime keskkooliprogrammi, kuna kaugemalt tulnutel ei olnud koolis võõrkeeli õpetatud. Keemia olenes õppejõu initsiatiivist – eesti rühmal oli kõik kooliprogrammi järgi, venelastel aga esimesel semestril vedas – dots. **Help** luges meie teaduskonnale väga huvitavalt keemilist füüsikat. Tehniline joonestamine andis meile vaid kogemusi reisfeedri ja tuššiga töötamiseks. Teoreetiline mehhaanika (eestlasel – dots. **Boris Tiikma**, venelastel – dots. **Ananda Tšistjakova**) oli kõrgel matemaatilisel tasemel ning peamine rõhk asetati seosele automaatjuhtimise teooriaga.

Eriti vedas vene voorul kujutava geomeetria harjutustega. Neid viis läbi dots. **Nikolai Paluver**. Esialgu oli imelik, et kõrgeima tasemega õppejõud tegi „asisstendi tööd“, kuid pärast sai selgeks – ta mitte ainult ei seletanud konkreetsete ülesannete lahendamist, vaid võttis lühidalt ja arusaadavalt kokku ka loengute materjali. Tema tunnid arendasid ruumilist taju. Kahjuks alles aastaid hiljem sain ülikooli lehest teada, et Pariisis (täpselt ei mäleta, missuguses ülikoolis) õpitakse Paluveri meetodit – kodus teda hinnata ei osatud…

Väga hea ja põhjalik oli füüsika kursus – ilma füüsikata insener on „pehmo“! Loenguid pidasid dotsendid **Roul Pakkas** (teisel semestril) ja legendaarne **Georg Mets** (kolmandal ja neljandal). Laborid viisid läbi teisel semestril Loit Pakkas, kolmandal ja neljandal aga **Tõnu Ruus** ja **Maret Rusalep**. Nende viimaste vastu hakkas meid üles ässitama üks energeetikust kursusekaaslane, kes olevat kuulnud, nagu oleksid nad ranged ja neist tuleks vabaneda, kirjutades nende peale ka poliitilise kaebuse Pagari tänavale. See avantüür õnneks vedu ei võtnud... Füüsika harjutused viis läbi dots. **Nikolai Lump**. See oli esimene paar auditooriumis II-308. Akendest oli hästi näha hommikune taevas ja Lump alustaski tunde ilmaennustusega – tema väitekirja teema oli seotud pilvedega.

Georg Mets oli eriti erudeeritud ja aus spetsialist, üllas, omakasupüüdmatu ja suuremeelne inimene ning ustav sõber. Oma esimesel tööaastal (peale ülikooli lõpetamist) oli mul õnnestunud kuulata tema kvantmehaanika kursust füüsika erirühmas. Mäletan millise aukartusega ma hoidsin käes tema konspekti **Werner Heisenbergi** seminarist. Kahjuks samal aastal kõik erirühmad lõpetasid oma eksisteerimise, kuna tudengid ei olnud enam nõus õppima erirühmades ilma kompensatsioonita põhiõppeprogrammi arvel.

Teisel kursusel tuli meile uus rühmajuhendaja – nooruke (ja väga ilus) **Andres Keevallik**. Tüdrukud (rühmas oli neid 2/3) ristisid ta klassi daamiks, kuid pärast hakkasid siiski nimetama „klassi papaks“. Sama aasta kevadel viidi meie rühm informatsioonitehnika kateedri alla, erialakoodiks sai 0608 ja rühmakoodiks – LI, kuid eriala jäi endiseks, eriala sisu muutus hoopis „infotehnikutel“.

Teise kursusega lõppes matemaatika põhikursus ja edasi oli võimalik õppida matemaatikat süvenenult matemaatika erirühmas. Tunnid toimusid õhtuti. Kõige huvitavamad neist olid „elava entsüklopeedia“ dots. **Ants Särevi** omad. Kuna rühmas olid nii eesti

kui ka vene õppekeelega tudengid, siis luges Särev algul vene keeles ja kohe kordas ka eesti keeles, mõnikord aga andis terminoloogiat ka teistes euroopa keeltes. Särevi juurde eksamile minnes soovitati mitte õppida, vaid maha kirjutada – „ärge häbenege, Särev ise hakkab teie asemel häbenema". Ma ei tahtnud, et Särev ka mind petiseks peaks ja otsustasin sooritada eksami ilma ettevalmistuseta. Särev muigas ja lubas. Mulle tuli pilet kõige pikema ja keerulisema teoreemiga. Materjali ma tundsin, kuid peale sekeldusi sisseastumiseksamil olin hakanud eksamitel närveerima. Ka seekord ei saanud kohe keskenduda ja asusin tõestama omamoodi (n.ö. sõitsin Mustamäelt Koplisse Männiku kaudu). Kui ma lõpetasin, ütles Särev: „Noh, võib ka niiviisi… Aga nüüd tõestage nii, nagu mina teid õpetasin." Selleks ajaks olin aga juba rahunenud ja hakkasin tõestama ilma paberita, kirjutades valemeid näpuga laua peale. Särev kontrollis mu vastust jälgides mu näpu liikumist.

Erialasest õppest

Kolmandal kursusel algasid erialaga tihedamini seotud ained. Enamasti olid nad üksteisega loogiliselt seotud, toetasid teineteist, mõned teemad esinesid kahes-kolmes aines, kus neid vaadati erinevast vaatevinklist. Väga põhjalik oli ETA (*elektrotehnika teoreetiliste aluste*) kursus, loenguid ja harjutusi andis kõrgel matemaatilisel tasemel **Ako Pärlist**. Laborid olid energomajas õhtuti, need viis läbi **Lembit Valdur**, kellega me võistlesime huumorimeeles. Näiteks, ühe laboritöö aruandes mul figureeris „akvaarium elektroodidega". Valdur aga omakorda käskis mul tõlkida ühte tiraadi arhailises eesti keeles ja nähes mu kohmetust hõiskas võidurõõmsalt: „Haa! Ei oska – see on Piibliumist!!!".

Kui matemaatika, füüsika ja keemia laboratoorsed/praktilised tööd olid individuaalsed, siis hilisemad (aga need olid juba enamikus erialaained) – olid kollektiivsed (v. a. programmeerimine). Selles olid mõnedele suured plussid – kirjutasid üles teiste poolt dikteeritavad näidud ja sellega nende osalus ka lõppes, teistele – aga vastupidi, sest neile jäid kõik rehkendamised, jooniste ja graafikute joonistamine ning aruande koostamine. Proovisime luua tööde tegemise järjekorda, kuid laisad vedasid alt, see aga ähvardas karistusega – stipist või erigraafikust ilma jäämisega. Ei tea, kumb pool sai sellest rohkem kasu või kahju – ühed harjusid kulutama ennast töötades mitme eest, teised aga – lulli lööma… Hiljem, kui ma ise andsin tudengitele kamba peale suurema ülesande, jagasin selle üksikuteks osadeks ja määrasin kindlaks, kes mida peab lahendama ja esitama.

Automaatreguleerimise ja -juhtimise teooriat luges ass. **Jüri Rebane**, *küberneetika matemaatilisi aluseid* – **Vello Männamaa**. Mõlema loengud olid väga põhjalikult ette valmistatud, ükski peatükk ei jäänud tunni lõpuks pooleli. Nad olid väga ranged, kuid heatahtlikud eksaminaatorid. Rebasele oli omane niisugune muhe huumor, et tema eksamil (aga eksam oli raske) isegi põruti lõbusalt.

Infomatsiooniteooriat luges dots. **Lauri Einer**. Tema pöördus tudengite poole niisuguse elegantse lugupidamisega, et oli lausa võimatu mitte osata vastata tema küsimustele – tahvli juurde tuli minna sirge seljaga ja püsti aetud ninaga. Eineril oli kiilaspea ja tüdrukute arvates see oli väga ilus. Hakati võrdlema teistega – kellel on missugune pealuu…

Informatsioonitehnikat luges kateedrijuhataja/asutaja dots. **Ustus Agur** (hüüdnimed „Uksus" ja „Agurets", viimasest tekkis rühma kokkutulekutel rituaal „sjedanie agurtšika"). Aguri harrastuseks olid sõnastikud, seetõttu loengutel kõik terminid andis ta viies keeles: eesti, vene, inglise, saksa ja prantsuse keeles. Tehnikaalaste sõnastike vähesuse tõttu

see oli isegi kasulik. Aguri teiseks hobiks oli pildistamine slaididele ja tema loengud koosnesidki suurel määral must-valgete slaidide demonstreerimisest ja kommenteerimisest. Kui aega jätkus, näitas Agur loengu lõpus värvilisi pilte, mis ta oli teinud oma reisidel.

Otseselt erialaainega puutusime kokku esimest korda **Andri Ariste** kursusel *digitaalarvutite aritmeetika ja loogika alused*. Tema loengud olid haaravad, arvutid olid veel ikka midagi tundmatut, huvitav oli sellesse süveneda. Järgmisel semestril oli samas aines kursuseprojekt. Viiendal kursusel tuli veel üks Ariste aine – *digitaalarvutite konstrueerimine*. Ariste oli tudengitega alati heatahtlik ja kollegiaalne – see oli tal ilmselt „lastetoast". Sama meeldiv ja kerge oli hilisem koostöö temaga.

Edasi tuli dots. **Harri Mägi** kursus *arvutusmasinad* ja vastavad laborid (ass. **Gennadi Raus**). Harri Mägi oli kõikide lemmik, kohtudes endiste tudengitega tuleb alati esimesena meelde just tema. Laborid aga olid väga pikad seetõttu, et kogu varustus koosnes transistoritest, lambikestest, juhtmetest ja… jootekolbidest – enne millegi katsetamist pidime uuritava skeemi kõigepealt ise kokku tinutama. Siin kulus mulle esimest korda ära keskkooli tööõpetuse praktika RET-i tehases. Järgnes **Vahur Mägi** kursus *arvutusmasinate eriküsimused*. Oli ka *analoogarvutite* kursus (kas keegi veel mäletab niisuguseid?). Seda luges **Rein Võrk**. Teist korda tulid RET-i tunnid kasuks tehnoloogia eksamil dots. **Erik Hansenile**. Siis tuli vaid värskendada mälu keskkooliaegsete konspektide abil ja mõtetes tänada insener **Borzakowskit** tema ranguse eest.

Aines *elektri- ja raadiomõõtmised* pidas loenguid väga heatahtlik dots. **Ants Meister** ja laboreid viis läbi ass. **Madis Toomet**, teda rebiti lausa tükkideks korduvate küsimustega, kuid tema kannatlikkusel ei olnud piiri... *Magnetoonikat* luges dots. **Heino Ross**, tema juhendas ka kursuseprojekti, laborid viis läbi laborijuhataja **Jaak Peterson**, keda laborandid hüüdsid omavahel „papi". *Impulsstehnikas* olid vastavalt dots. **Eduard Schultz** ja ass. **Ülo Rätsep**. Rätsepa laborid olid laupäeviti, tema pidi tulema kaugelt ja hilines iga kord üha rohkem ja rohkem. Kord ootasime me teda üle kahe tunni ja kui nägime teda koridori teises otsas, peitsime ennast nurga taha ning ootasime hiirvaikselt. Rätsep tuli õnnelikult naeratades (ju oli ta kindel, et kõik on ammu laiali läinud), aga meie astusime tema ette alandliku ilmega, et kas tund ikka tuleb… Vaesel Rätsepal näoilme kohe muutus…

Emeriitprofessor Rein Jürgenson saab A. Keevallikult tänukirja (2003)

Aines *elektron- ja pooljuhtelemendid* olid loengud jagatud pooleks – pooljuhtivuse füüsika (**Enn Velmre**) ja nende alusel töötavad skeemielemendid – lambid, transistorid (**Ilmar Tergem**), laboreid viis läbi **Ivar Nurste**. *Elektron- ja pooljuhtseadmeid* luges **Viljo Korsen**. Tema loengutes „sündisid" kõik skeemid tahvlil ilma mingite „spikriteta", ilusad ja sirged ilma joonlauata, kusjuures tihti mitmes variatsioonis – võib teha nii, aga võib ka naa. Laborid viis läbi **Ülo Niine** (tüdrukud hüüdsid teda „Ninotška").

Programmeerimist luges **Tõnu Lume**, harjutusi viis läbi dots. **Rein Jürgenson**. Jällegi oli tööjaotus optimaalne, sest just harjutustel õppisime mitte ainult algoritmikeele grammatikat, vaid ka algoritmimist. Algoritmikeeleks oli eestimaine MALGOL, mis oli

orienteeritud MINSK-22-le. Programmikandjaks oli paberist perfolint, perforeerisime teletaipidel, need olid reas koridoris (vist 6 tükki terve teaduskonna peale), meie aga seisime sealsamas elavas järjekorras… Perfolindirullid andsime üle arvuti operaatorile ja tagasi saime programmi teksti väljaprindi koos esimese vea asukoha märgistusega, vahest aga katkise lindi, sest paber rebenes kergesti. Vea parandamiseks piisas perforeerida parandatud jupike ja liimida vigase asemele. Kiiresti harjusime lugema perfolinti nagu raamatut.

Programmeerimise teoreetilisi aluseid luges **Ain Korjus**. Sinna kuulusid ALGOL, Assembler ja masinkood – kõik ainult paberi peal, sest ülikooli ainsas arvutis ei jätkunud selleks ei aega ega personali. Kõik programmeerimisega seotud teaduslikud uurimistööd tegid teadurid/õppejõud arvutis ise öösiti… Raamatupidamises kasutati ka veel hiljem saksa elektromehaanilist masinat „ASCOTA", kus programm koostati „ratsurite" abil just nagu Charles Babbage omal XIX sajandi alguses… Meie kateedri laboris seisid samuti kaua aega „muuseumieksponaatidena" üks „ASCOTA" ja üks vihmaveetünnisuurune magnettrummel…

Kolmandal kursusel hakkasin töötama lepingul. Kuna päeval toimusid tunnid vastavalt põhiprogrammile ja õhtuti lisandusid kahel korral nädalas veel neli paari erirühma loenguid, tuli paratamatult „laenata" tööaega ööpuhkuselt. Tol ajal see ei tundunudki nii raske, kuid sügissemestril… hakkasin uinuma ka päevastel loengutel. Konspekteerisin seejuures poolunes endiselt edasi nii kuuldut kui ka joonistasin maha tahvlilt skeeme. Mind püüti segada – sosistati kõrva mingit jama, kuid sellele ma ei reageerinud. Konspektid olid täpsed, aga loetavad ainult minu jaoks, teiste arvates oli see „armeenia konjaki etikett".

Viiendal kursusel oli kursuseprojekt aines *digitaalarvutid* **Kalle Talviku** juhendamisel. Projekti teemaks oli *laborimakett* (et meie järglased ei peaks laboris tinutama). Ülesande püstitamisega Talvik venitas, kuni jäi järgi vaid nädal arvestuste tähtajani. Seega tuli töötada viis ööpäeva läbi – projekteerida, koostada seletuskiri (tegelikult laborijuhend), joonistada skeemid (reisfeedriga tušis kalka peal). Tõin valmis töö Talvikule, tema jäi rahule, aga just seetõttu otsustas kiiresti, et arvestab projekti siis, kui projekteerin sellele lisaks veel multivibraatori!!! See võttis koos vormistamisega (jälle skeem) veel ööpäeva…

Kuna ma töötasin juba meie unustamatu dekaani dots. **Jaan Tomsoni** lepingul, ka diplomitöö teemaks oli elektriajamite jaoks erinevate karakteristikute programmiline seostamine ja teisendamine. Diplomieelne praktika toimus mul nii oma ülikoolis, kui ka Termo- ja Elektrifüüsika Instituudis. Nii siin kui ka seal oli kasutusel üks Leedu päritolu aparaat (nimetus ei tule meelde), mis pidi digitaliseerima ostsillogramme. Meil (raadiotehnika kateedris) piisas sellel aparaadil vaid lülituda sisse, kui üks või teine element põles läbi ja tuli asemele tinutada uus. Termofüüsikas see riist ikka töötas, ehkki tõrgetega.

Prof. Vello Kukk peab automaatikapäeval kõnet (2010)

Diplomitöö juhendajaks sai vanemõpetaja **Vello Kukk**, kellel olid analoogsed programmid, kuid kirjutatud masinkoodis. Seega kogu töö tuli samuti programmeerida masinkoodis – kokku tuli umbes 11 000 käsku (kõik ikka perfolindil). Programmi silumine toimus jällegi öösiti ja sedagi masinaaega oli raske saada. Õnneks olin juba mitme masinakasutajaga tuttavaks saanud, nii et kui dispetšer tuli meid arvuti tagant välja ajama, sest algab X-i või Y-i nimele reserveeritud aeg, väitsin, et nii X kui ka Y olen ikka ja jälle seesama mina…

Töö algusest Alma Materis

Ksenja noore õppejõuna loengut pidamas (pildi tegi tudeng salaja laua alt)

Tööle asusin 1967. a. septembris kateedrijuhataja dots. **Aguri** lepingul „Maratiga“. Paari nädala pärast tegi saatus dekaan Jaan Tomsoni näol mulle minu elu kõige suurema kingituse – matemaatika kateedrist läks ära üks õppejõud, kellele hakati otsima tunnitasulist asendajat. Kuna just meie teaduskonnas lõpetasid paljud ka matemaatika erirühma, pöördutigi meie dekaani poole ja tema, teades, et ma olen matemaatika fanaatik, osutas minule tingimusega, et kõik minu tunnid tuleksid ainult meie teaduskonna tudengitega. Nii sattusin taas matemaatika kateedrisse (nüüd juba uuel tasemel) ja hakkasin kuue aasta jooksul assisteerima dots. **Aleksander Garšneki**!!! Need õnnelikud aastad olid minu jaoks uueks ülikooliks – õppisin oma elu parima Õppejõu, Pedagoogi ja Inimese juures oma õppejõu ametit.

Minu esimesele tunnile elasid kaasa nii **Garšnek**, kui ka **Särev**, tundsin nende poolehoidu ja abivalmidust. Garšnekilt õppisin loengul nii tähtsat diktsiooni ja kõne täpset artikuleerimist – tema enda loengut võis kuulata ka koridoris kinnise ukse taga. Kuid kõige tähtsam oli õppida näha tudengis mitte endast rumalamat alluvat, vaid endaga võrdset nooremat kolleegi. Siit just algas ka nõudlikkus.

Mulle olid antud suhteliselt vabad käed sidumaks matemaatikat erialaainetega juba esimesel semestril. Hiljem tekkis koostöö **Garšneki** kursuse- ja saatusekaaslasega **Georg Metsaga**. Nad mõlemad jagasid ümber oma tunde nii, et õppematerjalid korreleeruksid omavahel. Istusime kolmekesi – nemad arutlesid, missugune teema peab eelnema, missugune sellele järgnema ja kuidas seda saab realiseerida, pidades silmas auditoorset ja laboratoorset tööd. Mina aga jälgisin neid ja õppisin, mis tähendab olla TTÜ õppejõud. Olgugi, et ma olin verinoor algaja, kohtlesid nad mind austusega kui oma kolleegi ja isegi konsulteerisid minuga vahel erialaainetega seoses. See koostöö oli minu jaoks tõesti mitte õppejõu- ega aine-, vaid erialapõhine õpe.

Matemaatikat õpetades sain ma selgeks ka, missugune on assistendi roll lektori kõrval. Assistent peab olema lektori tugi, ta ei tohi jätta kogu vastutust aine omandamise ja/või eksami tulemuste eest lektori õlgadele. Just assistent näeb, keda tohib ja keda ei tohi eksamile lubada. Kahjuks nägin tihti otse vastupidist. Minu enda parimaks assistendiks sai unustamatu **Helena Kruus**…

Ka **Garšneki** eksamid õpetasid mulle palju niisugust, mida ma hiljem rakendasin oma õppeainete eksamitel. Garšneki arvates peaks eksam olema kahe intelligentse inimese dialoog. Igasugune petmine on aga vaenuliku suhtumise tunnus, justkui sõja kuulutamine. Sellepärast, erinevalt teistest matemaatikutest, ta lubas eksamil kasutada kirjandust, et tudeng ei peaks tundma hirmu, et ta midagi unustab, ega püüaks teha sohki. Samuti kadus mõlema poole alandav „luuremäng“. Ülesanded ja teoreetilised küsimused olid aga koostatud nii, et raamatust mehaaniline mahakirjutamine oleks võimatu. Kõik ühe eksami vastused pandi suurde ümbrikku ja kleebiti kinni – nad seisavad praegugi kahes suures portfellis minu kapi otsas. Pärast eksami lõppu kõik tudengid (kui nad seda soo-

visid) kutsuti eksamiruumi ja pakuti neile võimalust öelda oma arvamus tulemustest: kui tekkis mingi lahkarvamus, võis see tudeng uuesti vastata terve rühma ees. Paar korda nii juhtuski ja rühm nõustus eksaminaatorite hinnanguga.

Paralleelselt matemaatikale hakkasin õppetööga tegelema ka oma kateedris. Esialgu oli see programmeerimine MALGOLis. Hiljem tulid arvutuskeskusse arvutid MINSK-32 ning sellega koos said programmeerimiskeeleks PL-1 ja kandjateks – perfokaardid. Mul sattus olema halenaljakas PL-1 õpik, kus kõik reserveeritud identifikaatorid olid tõlgitud vene keelde (kirillitsas) – seda raamatut oli soovitatud kasutamiseks õppetööks kutsekoolidest kõrgkoolideni, kuid venekeelset translaatorit pole kunagi eksisteerinud… Sel ajal olid endine arvutuskeskuse juhataja **Enno Saareste** ja peainsener **Peet Piirikivi** läinud tööle mujale ning arvutuskeskust kuni oma traagilise surmani juhatas minu hea sõber, endine matemaatika kateedri laborijuhataja **Arvo Jaanson**.

Ühe semestri viisime laboreid läbi vaevalt töötava arvuti NAIRI peal. See seisis millegipärast ühiselamus, kus tema kahetsusväärne olukord kellelegi silma ei paistnud. Minu tunnid ühikas toimusid nii päeval kui ka õhtul, viimased olid 3. ja 4. õhtune paar (s.t. kuni veerand üheni öösel), pool üks läks aga viimane buss. Tunni lõpul saatsime kellegi bussipeatusse – bussi kinni pidama, et ka ülejäänud saaksid ära sõita. Sel semestril toimus kord ka minu pikim auditoorne tööpäev – kümme paari: kuus päevast paari (esimene algas pool kaheksa hommikul) ja neli õhtust, sest peale oma tunde oli hädasti vaja asendada kolleege nii oma kateedris kui ka matemaatikas.

Hiljem tulid meie kateedri laborisse koos uute lauaarvutitega PASCAL suured pehmed disketid. Paralleelselt prooviti juba sisse viia ka C-keele õpetamist.

Paari aasta pärast hakkasid laborid toimuma arvutuskeskuse nn. „Rebase saalides“ – selle nimetuse andsime oma kauaaegse hea kolleegi ja ülihoolsa TTÜ arvutivõrgu arendaja/hooldaja **Enn Rebase** järgi. PASCAL oli kaua ka IT-majas, kuhu Arvutitehnika instituut kolis 90-ndate teisel poolel.

Kateedrist, tööst ja kolleegidest-õppejõududest

Alguses paiknesid kogu meie kateeder ja arvutuskeskus II korpuse teise korruse juurdeehitises; ainult meie töökoda koos fotopimikuga (sellel pimikul tuli mängida tähtsat rolli arvutite diagnostika teaduse arengus) asus põhihoone koridoris. Esialgu meie pundil (**Tiit Altma**, **Toomas Plaks**, **Agu Viilup**, **Mart Jänes** ja mina) oli omaette tagumine ruum, kuid üsna pea see läks arvutuskeskusele, meie aga kolisime õppelaborisse, vaheseina taha. See ruum oli külm ja niiske, välissein oli talvel alati märg. Õppelabor (seesama, kus me kunagi ise tinutasime kokku laborimakette) osutus tragikoomiliseks **Raimund Ubari** jaoks – tema oli pahaaimamatult võtnud seal vastu ülikooli väliskülalist, millest aga said teada „valvsad isikud“ ja Ubar sai karistada…

Sarnaste kuritegudega saime hakkama ka meie **Agu Viilupiga**, kuid õnneks jäi see saladuseks. Viilup võttis vastu külalist Ungarist, keda majutati ülikooli ühikasse, kus tol ajal ei olnud vett (vahetati torustikku). Viilup viis külalise seepärast Nõmme sauna, kus jällegi ei olnud millega janu kustutada, ja seetõttu siis ka – Singapuuri (kurikuulus Nõmme õllekas). Ungarlasele sealne eksootika meeldis. Sellest, et üks joodik talle ütles „mis sa mõmised – räägi inimese keelt“, ei saanud ingliskeelne külaline aru. Viilup, kartes küll oma algatuste paljastamist, sai siiski hakkama veel teisegi vägiteoga ja viis välismaalase Püha

Ksenja oma töölaua taga

Vaimu (tegutsevasse!!!) kirikusse, kus Viilupi sugulane piiskop Jaan Kiivit tegi ungarlase jaoks huvitava ingliskeelse ekskursiooni. Õnneks teadsime sellisest usulisest propagandast välismaalasele ainult meie.

Mis puutus meie ruumidesse, siis need vaheldusid tihti. Ühe aasta istusime (Plaks, Viilup, Jänes ja mina) millegipärast raadiotehnikute juures, siis tulime tagasi teisele korrusele endise töökoja ruumi, kus meiega ühinesid **Peeter Kitsnik**, **Teet Evartson**, **Mari Plakk** ja **Tõnu Arulaane**. Nii ühes, kui ka teises kohas sadas aknast sisse talvel – lund, sügisel/kevadel aga – vihma. Sama „omadus" oli ka meie hilisemal kabinetil IT-majas (nüüd asub seal Mektory). Kuid nüüd elasime „metsa sees", tasus vaid teha aken lahti ja tuppa tungis värske männilõhn. Hakkasin oma kabinetis ka suvitama – tulin vara hommikul ja lahkusin hilja õhtul. Tänu minu kohalolekule said paljud uksekaardi koju unustanud kolleegid sisse ja välja. Mõned aga samuti põgenesid suvel IT-majja linna asfaldidžunglitest.

Kuid see kõik oli hiljem, alguses hakkasin töötama „Marati" lepingul. Meil olid koostatud toodangu ja laoseisu arvestamise programmid, projekteeritud nendega juhitav tabloo, mille katseeksemplar oli samuti loodud meie töökojas. See kõik oli antud üle „Maratile", seal juurutatud ja siis… „Maratisse" üle tööle läinud meie kunagine assistent N.P. otsustas meile selle eest mitte tasuda. Oma raha me saime siiski kätte kohtu kaudu, kuid nendega enam **Ustus Agur** lepingut ei sõlminud. Järgmine leping tuli **Raimund Ubari** initsiatiivil TUPTIga, kus **Andri Ariste** konstrueeris oma arvutit STEM (hiljem ristitud VIRUks – kaval venekeelne abreviatuur „*Võtšislitelnoe I Regulirujuštšee Ustroistvo*").

Lepinguid sõlmiti mitmeks aastaks, tööd olid jagatud etappideks, iga etapp lõppes vahearuandega ja leping ise – lõpparuandega. Kõik need aruanded oli vaja vormistada kolmes eksemplaris – tellijale, ülikooli TU-sektorile (s.t. minu emale), ja loomulikult iseendale – masinkirjas vene keeles, illustratsioonid ja valemid teksti sisse joonistada/kirjutada käsitsi, skeemid joonestada jällegi käsitsi. Igal aruandel pidi olema vastutava täitja allkiri ja tellijale üleandmise akt. Mäletan, kuidas me kolmekesi – Plaks, Jänes ja mina – hilja õhtul lõpetasime aruande vormistamist. Istusime oma poolpimedas (põlesid ainult laualambid) laboritaguses kambris ja – must pastakas paremas käes ja suur veinipokaal vasakus – kirjutasime sisse valemeid, kui äkki astub sisse Agur ja soovib teada, kas me ei unustanud, et homme on aruande esitamise tähtpäev. Vastasime, et seda me just silmas peamegi… Hommikul oli aruanne valmis allakirjutamiseks.

1978. aastast hakkasin töötama lepingul **Raimund Ubari** juures koos **Agu Viilupi** ja **Teet Evartsoniga**. Siis istusime juba jälle teisel korrusel, meie toas oli fotopimik, kus ma olin teinud Ubari jaoks fotokoopiad mikrofiššidest. Need olid peopesast väiksemad positiivid, kuhu olid paigutatud teaduslikud ajakirjad – välisajakirjandus tuli meie raamatukokku osalt ainult sel kujul. Ühe mikrofišši peal oli 42 (6 x 7) lehekülge. Nende lugemiseks raamatukogus oli spetsiaalne aparaat, kuid niiviisi võiks lugeda kõike muud, kuid mitte tehnikaalast teadust. Keldris ülikooli fotolaboris oli veel üks aparaat mikrofiššidelt fotopaberile kopeerimiseks, kuid teravus oli niisugune, et tulemuseks oli tindiplekiline

fotopaber. Kuna Ubari doktoritöö kirjutamise aegu oli vaja teha artiklitest palju koopiaid (koopiad paberil aga tohtis ülikoolis teha ainult ühe eksemplari kaupa ja sellekski oli vaja saada luba kolme vastutava isiku allkirjaga), hakkasin oma pimikus tegema ise mikrofiššidest koopiaid tavalise suurendusaparaadi abil – need olid küll negatiivid, kuid (oh imet!!!) siiski loetavad.

Oma õppejõududest kirjutasin, nüüd teistest kolleegidest, kes jäid mällu. Mul oli rõõm töötada koos esimesest lennust pärinevate **Toomas Plaksiga** (nüüd professor Londonis), **Agu Viilupiga** (arvutidiagnostik, kes töötas kaua TTÜ-s, siis Küberis ja lõpuks – uurijana) ning **Arvo Toomsaluga** (väga erudeeritud arvutispetsialist). Kõik nad olid juba tol ajal suurepärased spetsialistid, oma ala entusiastid, nõudlikud (nii tudengite, kui ka ennekõike enda vastu) õppejõud. Kaks aastat töötasid kateedris samuti esimese lennu vilistlased assistendid **Tiit Altma** ja **Mihkel Maran**. Maran sõitis aspirantuuri Moskvasse, kuhu ka jäi, temast sai sealse Eesti seltsi asutaja/esimees. Altma võeti vastu aspirantuuri, kuid üsna pea keelati töötada lepingul, kuna tal jäi täitmata aspirantuuriplaan. Assistendi palk oli 100 rubla, sellega ülal pidada perekonda, kus just oli sündinud teine laps, oli võimatu, seega ta läks ära – *cum laude* lõpetanud noor spetsialist läks ülikoolile kaduma… Plaani täitmine aga tema õppekoormuse tõttu oli absoluutselt võimatu – tal oli 11 (*sic*!) erinevat riist- ja tarkvaraalast kursust (mõned ained küll kordusid, kuid erinevas mahus – päevastele, õhtustele, kaugõppijatele, teistele teaduskondadele). Hiljem tuli automaatika kateedrist meie juurde **Paul Leis**, tema teadmisi ja tööindu on jätkunud tööks nii SEB pangas kui ka TTÜ-s ja mujalgi. Vahepeal ta oli meie õppetooli juhataja, kes oma alluvate eest vägagi hoolitses. Samast lennust on pärit **Viktor Leppikson** – C-keele entusiast, kelle koostatud õpiku abil meie tudengid õppisidki. Ja veel esimese lennu vilistlane on meie kunsti-, ajaloo- ja kirjanduse lembeline kauaaegne sekretär **Heljo Saar**.

Ksenja sünnipäev. Teda tervitavad vasakult: Aleksander Sudnitsõn, Kaie Elevant (sekretär), Margus Kruus (direktor), Sergei Devadze, Ain Kraam.

Minuga koos lõpetasid ja kaua töötasid minu kursuse- ja erirühmakaaslased **Mart Jänes** – väga printsipiaalne spetsialist ja inimene, keda ma sügavalt austan (hiljem õppis minu juures tema igatpidi isasse läinud poeg Bruno) – ja endiselt ülikoolis töötav automaatika ja telemehaanika eriala lõpetanud dots. **Aleksandr Sudnitsõn**.

Järgmistel aastatel lisandusid kateedri perre **Peeter Kitsnik** (töötab juba ammu Soomes) ja praegugi ülikoolile ustav **Teet Evartson**. Pean Evartsonist lugu kui printsipiaalsest õppejõust ja vanast diagnostikust, kuid minu jaoks on veel tähtsam, et Teedu ja tema proviisorist ema heatahtlik omakasupüüdmatu abi aitasid päästa minu ema elu. Mõned aastad töötasid kateedris veel **Leonhard Siem**, **Tõnu Arulaane**, „automaatik“ **Boris Berkman** (kolis USA-sse), **Jüri Lankots** (lõpetanute nimekirjast on tema nimi läinud millegipärast kaduma – läks üle Küberisse, nüüd on ta ID Süsteemides hooldusjuht), **Villem Alango** (sai AS Datel juhatuse liikmeks), **Aivar Jüris** (tal on oma tarkvarateenuseid pakkuv firma)… Kõiki juba ei mäleta. Laborijuhataja kohalt tegid eduka karjääri **Juhan**

Kull (õpetas Kose tööstuskoolis, nüüd on Kose Äriteeninduse juhataja), **Andres Allikmäe** (üle 30 aasta juhatab Harju Elektrit) ja **Uno Kuuskor** (töötab ammu SEB pangas).

Paljud nooremad kolleegid jäidki meelde tudengitena: **Kalle Tammemäe**, **Kaja Salum**, **Artur Jutman**, **Viktor Zaugarov**, **Marina Brik**, „informaatik" **Innar Liiv**... Mainin veel lisaks oma parima õpperühma – see oli 1989. a. vilistlaste eesti rühm, kus oli palju väga häid tudengeid, kuid kus tähtsaim oli vaimne meeleolu rühmas – kõik olid sõbralikud ja ausad, nendega tekkis vastastikune siiras arusaamine ja usaldus, mis tegi suhtlemise meeldivaks ja tunnid ei olnud üldsegi väsitavad (vähemalt minu jaoks).

Eesti ja vene rühmad erinesid ennekõike selle poolest, et esimesed olid enamasti maskuliinsed, teised aga – feminiinsed. Väljalangevus oli alati suur, kuid olid ka rohked akadeemilised puhkused (tegelikult kursuse kordamised) ja üleminekud õhtusest/kaugõppest päevasele. Minu arvates nii see peabki olema (puht majanduslikult): parem mingu raisku ühe-kahe aasta õpetamise kulud, kui et kogu „õppimine" muutuks vägikaika vedamiseks ja tulemuseks saaksime kas viletsa spetsialisti või edaspidi hoopis muul ametil töötava vilistlase. Selle poolest mulle meeldis vahepealne süsteem, kui edukamad tudengid olid riigieelarvelised, laisemad aga pidid oma õpikulud ise kinni maksma.

Siiski valutab praegugi veel süda mõne õppimise poolelijätnud tudengi pärast – need olid head edukad tudengid, kes olid sunnitud minema suvalisele tööle, et oma pereliikmeid ülal pidada, kuna nende vanemad kaotasid töö. 1991. aastal kaotas ka ülikool oma raha seoses Sotsiaalpanga pankrotiga (hiljem see kaotus küll heastati) ja meid saadeti puhkusele ilma puhkuserahata ja juunikuu palgata. Tol suvel meie pere toitus enamasti ülikooli metsas – kõrvenõges, seened ja marjad…

Selleks ajaks oli kunagine kateeder muutunud kolmest õppetoolist koosnevaks instituudiks, mille direktoriks sai **Andres Keevallik**, õppetoolide juhatajateks aga peale **Keevalliku** enda veel **Raimund Ubar j**a **Paul Leis.** Meie õppetool oli majutatud kahte tuppa. Üks oli pisike läbikäidav esik, kus istusid Leis ja tema erafirma sekretär (kogu firma seal asuski). Teise, suuremasse, kus istusid kõik õppejõud (**Vladimir Viies**, **Matti Kurm**, **Viktor Leppikson**, **Toomas Kont** ja mina) pääses esimese kaudu. Meie toa vastas oli Keevalliku kabinet. Kui Keevallikust sai rektor, siis mõne aja jooksul olid selles toas veel tema asjad, mistõttu selle toa hüüdnimeks sai „rektori kabinet", olgugi et sinna kolis **Paul Leis**, hiljem aga minu viimane õppetoolijuhataja **Ahto Kalja** (kes suurema osa oma ajast töötas küll oma kabinetis Küberis). Lõpuks põgenes Kalja juurde meie toa pideva tudengite voolu eest ka **Helena Kruus**. Esikus hakkasid istuma arvutisaalide dispetšerid **Järvi Peremees** ja **Vaike Pukk**. Kui nad kolisid arvutisaalide tagumisse tuppa, tehti meie ja Kalja ruumidesse eraldi sissekäigud ja esikust sai nüüdse dekaani **Gert Jervani** kabinet. Gert Jervan alustas oma õppejõukarjääri juba tudengina. See oli koolidevaheline õppekeskus, kus ta õpetas gümnasiste koos **Toomas Kondi** ja minuga – keskuse juhatus juba tol ajal ennustas Jervanile suurt karjääri.

Kui saime endale omaette õppetoolid, oli võimalik paremini kontsentreeruda ka konkreetsete valdkonna ainete õpetamisele. Meie rida oli tarkvara ja selle õpetamise motoks kuulutasime: *„Loogiline ja loominguline lähenemine insenerlike ülesannete lahendamisele"*. Kontrolltöid (neid oli 1-2 semestris) hindasin ma 100-pallises süsteemis, algoritmid ja programmid eraldi. Arvestatud olid tööd, kui mõlema osa eest oli saadud minimaalselt 60 palli. Kaasautorite tulemused jagasin kaasautorite arvuga, seega kahe autori identsed tööd

Kateedri jõulupidu (1990)

hinnetega isegi 100+100 andsid mõlemale 50+50, s.t. „mittearvestatud". See oli vajalik, et tudengid: (1) ei harjuks elama teiste kulul; (2) ei kuulutaks sõda õppejõududele.

Meil **Vladimir Viiesega** olid suured vooruloengud ja seega ka suured eksaminantide hulgad. Seetõttu otsustasime võtta kõik eksamid (esimesest katsest alates) vastu komisjoniga ja lubasime kasutada abivahendeid (see võis olla nii konspekt kui ka raamat), kuid mitte rohkem kui üks. Niisugune piirang tuli sisse viia, kuna minu varasem kogemus näitas, et oli naiivseid eksaminante, kes tõid kaasa terved raamatukogud, kuid ei suutnud nendes raamatutes orienteeruda ja pidid istuma eksamil mitu tundi kirjandust tulemuseta lehitsedes. Niisugused eksamid (tol ajal olid need auditoorsed) venisid hilise õhtuni, kuid siiski **Hanno Sillamaa** öiste eksamite rekordit lüüa mul ei õnnestunud. Kuna meie komisjonieksamid olid juba arvutites, siis rühma eksamiaeg oli piiratud arvutisaali tööajaga ja töökohtade arvuga. Sellepärast oli iga tudengi arvuti taga istumise aeg maksimaalselt kaks tundi. Absoluutne ülesande õige lahendamise kiirusrekord oli 20 minutit – selle saavutas tänane professor, omaaegne Eesti parim noor teadlane, EV ordenikandja, aga tolleaegne esmakursuslane **Jaan Raik** ja mul oli õnn ja au teda eksamineerida!

Seoses 1995. a. ümbervalimistega mõtlesin kaua, millist teemat valida esinemiseks. Lõpuks otsustasin rääkida tarkvara-alastest ainetest ja minu aine(te) kohast nende vahel. Läksin konsultatsioonile **Sillamaa** juurde, kes oli teaduskonnas enim kogenud. Tema kiitis idee heaks, kuid soovitas teha minu esinemise rohkem näitlikuks. Mõtlesin isegi joonistada tükeldatud põrsa, kus iga tükk kujutaks ühte ainet – idee oli selles, et kogu õpetus on kui elusorganism, mida ei tohi vaadata teineteisest mittesõltuvate osade hulgana. Kuid see ei sobinud isegi mitte ebaesteetilisuse tõttu, vaid ennekõike sellepärast, et ainete vahelised seosed olid hoopis teise struktuuriga. Lõpuks tuli pähe kujutada midagi Toompea ja Neuschwansteini taolist, kus oli tugev alusmüür, mitu korrust, erinevad tornid ja õhusillad nende vahel. Tegingi vastava slaidi, kus kindluse igal elemendil oli vastava aine kood. Valimine läks läbi õnnelikult, aga seda slaidi me kasutasime veel kaua sissejuhatavatel loengutel.

Helena Kruus saab doktoridiplomi. Paremalt dekaan Ennu Rüstern, prorektor Erkki Truve ja rektor Andres Keevallik (2011).

Sel ajal koolides informaatikat veel ei õpetatud ning meie tudengid pidid tegema tööd *Office*'is – *Word*, *XL* ja *PowerPoint*. Pidades silmas oma vana kogemust matemaatikas üritasin ühendada informaatika laboritööd füüsika omadega – tudengid hakkasid töötlema oma füüsikalaboris mõõdetud näitusid XLis. Wordis pakkusin neile vormistada oma informaatika ülesannete lahendamise aruanded koos algoritmide joonistega. PowerPointis oli tudengitel vaja näidata, et ta oskab koostada ja esitada presentatsiooni, kasutades erinevaid stiile, animatsioone jne; teema valiku suhtes oli antud vaba voli: esindada iseennast, oma hobisid jne. See oli hea võimalus ka oma tudengeid paremini tundma õppida. Ainus piirang – kooskõlastada teemat õppejõuga – tuli pärast seda, kui kõik tegid presentatsioone moodsast filmist „Titanic" ja lõpuks mul tekkis tunne, et olen juba ammu uppunud…

Oma õppetoolis olid meil kõigil omavahel head kollegiaalsed suhted: nii pedantlikkuseni ülitäpse **Matti Kurmiga**, kui ka omataolise huumorimeelse **Toomas Kondiga** (kord, olles üliväsinud, kirjutasin tema nime asemele „Koomas Tont". Kont oli Ain Korjuse õepoeg ja kui keegi seda ei teadnud, siis seletasime – „kont põlvneb korjuselt"); samuti ka hiljem meie kambaga ühinenud **Lembit Jürimäega**, kes tihti tuli ülikooli tsikliga otse välitöödelt looduses mingis skafandritaolises ülikonnas ja riietus kapi taga kohvinurgas ümber. Väga tihedad ja soojad suhted olid mul eakaaslase **Vladimir Viiesega**, kellega mul oli palju ühist nii töösse suhtumises kui ka koduses kasvatuses. Ma olen veendunud, et ta sai kodunt seda „pedagoogilist pisikut", mis aitas tal saada heaks õppejõuks. Samal põhjusel sai heaks õppejõuks ja vahvaks kolleegiks Viiesele assisteerinud **Tarmo Robal**. Ta ei istunud küll meie toas, kuid oli seal sage ja alati lõbus ning teretulnud külaline.

Eriti head suhted tekkisid kalli **Helena Kruusiga**. Teda nägin esimest korda siis, kui tema tudengist isa Margus tõi ta kord süles ülikooli – Helena ei osanud siis veel kõndidagi. Ka hiljem käis Helena tihti Marguse juures, kui Margus oli tööle asunud meie kateedris. Hiljem tuli tööle ka Marguse abikaasa **Leena Kruus**, kes oli töötanud TUPTI-s kuni selle likvideerimiseni. Kui Margus sai instituudi direktoriks, siis tema ja Leena moodustasid mitmeteks aastateks minu arvates ideaalse tandemi – hoolitsev abikaasa on alati parim toetus oma teisele poolele.

Kui Margus tõi ülikooli lõpetanud Helena minu juurde ja palus teha temast õppejõud, oli meil Viiesega hea meel, et saame endile üksmeelse noore kolleegi. Nii ka juhtus ja veel enamgi. Helenaga oli meil palju teisigi ühiseid huve ja lemmikuid: koerad, karud (temal eriti pandad), vahetevahel ka meeldivad vestlused kohvilaua taga, kus ei puudunud mõnikord ka hea vein. Helenata kaotas ülikool minu jaoks poole oma võlust…

Kokkuvõttes olen täheldanud enda jaoks kunagise ja praeguse elu eeliseid/puudusi järgmiselt: kunagi oli hea, et kõik olid veel elus, ma olin noor ja elujõudu täis; nüüd on hea, et ma olen elutark, karastatud ja vaba. *Vivat academia!!! Vivant professores!!*

Vladimir Viies: Kolmas lend (1968-73)

Vladimir Viies 2016

Olen olnud TPI-s – TTÜ-s ilma vaheajata tööl tunnitasulisena, teadurina, lektorina, dotsendina kuni käesoleva aastani (2016) ja loodan, et veel edaspidigi. Erialale 0608 sattusin tänu sellele (mida ma mingil juhul ei kahetse), et vastuvõtt informaatikasse tehti aastal 1968 venekeelseks. Põhjus oli imelihtne – tollaegse riigitegelase **Artur Vaderi** tütar tahtis samuti sellel erialal tudeerida.

Infotöötlust tahtsin kindlalt õppida, sest 1. Keskkool (nüüd uuesti Gustav Adolfi Gümnaasium) andis hea ettekujutuse sellest ainevaldkonnast. Koolis õpetati nii programmeerimist, kui ka loogikat ja praktikal käisime Küberneetika Instituudis (minul vedas, seal sain juhendajaks prof. **Leo Ainola** ning korterinaabri **Veiko Siimari**).

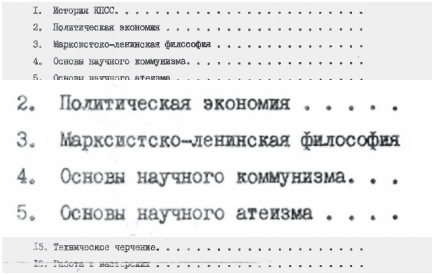
Seisin 1968 aasta kevadel nõutult TPI vastuvõtukomisjonis ega teadnud kuhu edasi? Vene keeles ei tahtnud õppida, kuigi oskan seda keelt suurepäraselt. Minu nõutust märkas üks vastuvõtukomisjoni liige ja kutsus enda juurde (see proua oli meie tulevane hirm Rusalep). Muide ega siis ei „prouatatud“, aga ka ei „seltsimehetatud“ – suheldi umbmääraselt. Rusalep, kellega sain hiljem õppejõuna väga hästi läbi, ütles, et mis siin mõelda, vali *elektronarvutid*. Kuna sellele erialale andsid paberid sisse ka veel kaks minu klassikaaslast **Jaan Inno** ning **Mart Männil** – oli asi otsustatud (Mardi kahte poissi olen hiljem õpetanud – elagu järjepidevus!).

Miks siis üldse kaks uut ja sarnast eriala tekkis? Alati on keerukatele küsimustele lihtsad vastused: lugupeetud **Ustus Agur** avas eriala elektrotehnika teaduskonnas, tähisega LI ja prof **Leo Võhandu** majandusteaduskonnas tähisega TI. Tegelikult elektrotehnikas oli alguses kaks arvutivaldkonna eriala, tähistega LI ja LK, kuid üpris varsti need ühendati LI-ks. Praeguseks on mõlemad erialad LI ja TI, koos „järglastega“, infotehnoloogiateaduskonnas – esimesel tugev riistvaraline kallak ning teisel majanduse kallak.

Nii palju eelloost. Nüüd õppimisest erialal 0608.

Kõike järgnevat lugedes tuleks silmas pidada, et Eesti Vabariigi kõrgkooli lõpust ja sõja lõpust oli möödunud ainult umbes sama palju aega, kui praeguseks uuest iseseisvumisest – inimesed kannavad ajapitsatit. Õpetasid meid seega õppejõud nii Euroopa taustaga, kui ka NSVL-i omad. Et nad tegid head tööd, näitab seegi, et kaks lennu lõpetajat jäid ülikooli tööle, saades PhD teaduskraadid, kolmas oli uues Eestis maavanemaks, neljas taasiseseisvunud Eesti Riigikantselei peainformaatikuks ja paljud teised said juhtspetsialistideks.

Minu meelest ülikool annab eluks mitte ainult teadmised, vaid ka oskused, kuidas erinevate inimestega (õppejõududega) leida ühine keel – veenda neid enda teadmiste, vastuste paikapidavuses. Siis oli aeg, kus enamik eksameid olid suulised, mis minu meelest


1. История КПСС. . . . . .
2. Политическая экономия . . . . . .
3. Марксистско-ленинская философия . . . . . .
4. Основы научного коммунизма. . . . . .
5. Основы научного атеизма . . . . . .
2. Политическая экономия . . . . .
3. Марксистско-ленинская философия
4. Основы научного коммунизма. . .
5. Основы научного атеизма . . . .
15. Техническое черчение. . . . . .
16. Работа с материалами . . . . . .

Väljavõte eriala 0608 ainete loetelust 1973, mis kuulus diplomi juurde

arendasid tugevalt. (Nüüd oleme ringiga sinna tagasi jõudmas, kus paljud tudengid meilimisele eelistavad Skype-tüüpi videoühendust.) Viie aastaga pidime omandama teadmised 47 aines, kaitsma 5 projekti ja 3 kursusetööd!

Toon siinkohal nende ainete nimetused, mis olid märgitud hinnetelehele. Ma pole kindel, kas hinneteleht oli ka eestikeelne, aga sain praegu kätte ainult venekeelse (vt. joon. vasakul). Õpetamine, v.a. sõjaline õpe, toimus ikka eesti keeles.

Koloriitsemad kujud-õppejõud:

Ustus Agur, kes märkamatult ajas siis juba Eesti asja. Hiljem töötasin tema alluvuses sektorijuhatajana ja tundsin seda veelgi. Ülikooli ajast jäi enam kui õpetatav aine meelde ta jutt „ridade vahel".

Heino Ross – aineks *magnetoonika* ja üks minu lemmikõppejõude. Aine, mis alguses tundus võõrana, muutus huvitavaks ning aine konspekt – kirjutasime ju siis loengutes lektorite jutud üles – hästi korralikuks. Jäid meelde Heino Rossi õpetlikud sõnad lükati kohta: kõike tuleb kasutada vastavalt otstarbele – lükatit arvutamiseks, joonlauda joonte tõmbamiseks. Seda otstarbekust olen püüdnud õpetada hiljem ka ise.

Hanno Sillamaa - õppejõud euroopaliku stiili ja kooliga. Tema tulek auditooriumisse muutis minu meelest koheselt õhustikku. Kui ta võttis välja teleskoop-kaardikepi, läks asi pingeliselt jälgitavaks. Ainet lugedes jäi ta väga akadeemiliseks ja otsest sidet ei tekkinud. Hiljem, juba taasiseseisvunud Eestis, kui tema kutsel asusin looma ning juhtima Eesti kõrghariduse akrediteerimiskeskust – sain tundma ka teistsugust südamlikku inimest.

Lauri Einer (hilisem taasiseseisvunud Eesti esimese Ülemnõukogu liige) – luges ainet *„informaatika teoreetilised alused"* ja seda väga omapärasel viisil. Tuli tundi ning rääkis millestki. Kas sellel oli otsene seos eelmise tunni materjalidega, teda eriti ei huvitanud. Tahtis just sellest hetkel rääkida ja rääkis. Nii tundus see algul minule. Olin pikalt hämmingus, konspekt läks lohakaks ja tekkis lootusetu tunne – ei saa aru. Kui kursus läbi sai, hakkasin seda konspekti parimatelt kaaslastelt täiendama ja aine selgines – jälle hea uus kogemus.

Andri Ariste – äärmiselt erudeeritud ja boheemlasliku käitumisega tipptegija, kes oli nõus ka õpetama arvutiehitust. Tema lähenemine oli lihtne – mina jagan teadmisi ja teie huvides on need omandada. Kas ja kuidas olete need omandanud – on teie südametunnistuse asi. Ainuke õppejõud, kes kirjutas meile sisse arvestuse „lihtsalt niisama".

Raimund Ubar – tuli uue õppejõuna meid õpetama stuudiumi lõpuosas. Luges huvitavalt, kuid kursakaaslastele ja minule jäi ta sellest ajast meelde vahva tõgamisega. Olime viiendal kursusel, kõik enda teada juba „vanad kalad", „rebaste" tõgajad. Joonistasime 1. aprilli loengu lõpus ühte plokkskeemi. Loeng lõppes, lektor väljus ja alles siis avastasime, et plokkide nimed olid tähistatud selliselt, et tahvlil seisis selgelt – APRILL. Oli alles arutamist ja naermist .

Eduard Schults – ülikorralik *impulsstehnika* õppejõud, kes täitis ka prodekaani kohustust. Tema poolt käsitlevad skeemid jagati semestri alguses paljundatuna üliõpilastele ja siis pidime skeemid õigesse kohta konspekti kleepima. Eksamile pidime tulema koos konspektiga, tänapäeval jällegi mõeldamatu.

Loomulikult oli palju rohkem huvitavaid õppejõude nagu **Vahur** ja **Harri Mägi**, dekaan **Jaan Võrk**..., kõiki ei jõuaks iseloomustada ja nad olid ka vähem seotud meie erialaga.

Pean aga kindlasti puudutama „akdeemilist vabadust" õppimisel, mis siis oli päris laialt kasutuses. Kuna õppekavasid oli keeruline muuta need olid (üleliidulised!), uued erialad aga nõudsid seda – loeti asendusaineid ja hinded pandi ametlike ainete kohtadele! Asi toimis. Need, kes ei tahtnud õppida ülemääraselt elektiaineid ja kelle õppeedukus oli hea, said valida kõrgema matemaatika ning tõenäosusteooria erikursuseid. Kõrgemat matemaatikat andis Pariisi koolkonna esindaja – Papa **Särev** ja tõenäosust tuntud talisupleja **Koppel**.

Särev oli väga suur ja aastates mees, kuid kes valdas ainet üleloomulikult hästi. Kõik, mida rääkis, kirjutas ka tahvlile. Kuna tahvel on suht väikese pinnaga, siis ühe käega kirjutas ja teisega järjest kustutas. Kordagi ei läinud ükski tõestus seejuures sassi. Selline aine valdamine jäi üleloomulikuna kõigile meelde.

Meestele õpetati veel sõjalist erru läinud NSVLi ohvitseride poolt, kellest mõned olid isegi eestlased. Kaks meenutust: sõjakateedri juhataja **Barinov** kontrollis pidevalt juuste pikkust (vastandina nimele) ja saatis pikemajuukselised juuksuritesse. Nii et klientuur lähedal olevale juuksurile oli tagatud. Korruptsiooni mõistet siis ei olnud ja see kõik läks ladusasti. Eesti meestest oli alampolkovnik **Hint** superoskusega määrata määrdeainete marke – peale autojuhtimisoskuse ainuke kasulik asi selles aines omandatust.

Paari sõnaga üliõpilaselust. Nii nagu **Ivo Linna** laulab... *aasta siis oli ... hea...*, kas sellest või „vanast vaimust" oli üliõpilastel teatud sõnaõigus oma elu sättimisel. Näiteks valitud üliõpilasnõukogu (siis kandis see komsomoli eesliidet) sai otsustada stipendiumide määramist. Päris paljud, hilisemad edukad äri- ja ühiskonnategelased, alustasid tegevust nendest (nagu kaksikvennad **Peegid**). Nõukogud korraldasid ka koolides erialade infopäevi, erialapäevi, sõpruskohtumisi jne.

Elektronarvutite kateedri töötajad kohvitamas. Paremalt teine Vladimir Viies.

Meie õppimise ajale langesid ka Tšehhi sündmused. TPI ja teised Tallinna instituudid korraldasid üliõpilaspäevade raames tõrvikutega rongkäigu, mis kujunes üheks eredamaks NSVL militaarpoliitikat vastustavaks sündmuseks. Sain koos teistega tunda nii veekahureid kui ka ühtse liikumise jõudu. Võib olla sellepärast olid meie lennu lõpetajad hilisemas elus ühiskondlikult aktiivsemad.

Peale elektriinseneri diplomi saamist suunati kõik tööle. Mina jäin tööle **Willem Krachti** kureeritavasse TPI *õppetöö teadusliku organiseerimise* laborisse ja osaliselt elektronarvutite kateedri inseneri kohale. Täiskohaga õpetamist elektronarvutite kateedris alustasin aastal 1985. Kateedrijuhatajaks oli siis **Andres Keevallik**, keda tundsin eelnevalt vähe. Teadsin ainult, et **Wilhelm Kracht** võitles tema doktoritöö ülinoriva oponendiga Tomskis, kui olime seal konverentsil. Koostöö laabus aga hästi ja **A. Keevalliku** suunamisel alustasin tööd õpilasringidega. Päris palju meie hilisemaid üliõpilasi tuli just nende ringide kaudu. Käisime esimeste Juku arvutitega ka mööda Eestit. On hästi meeles, kuidas saime kutse ja loa minna Hiiumaale Kärdlasse üheaegselt ENSV ministri **Gretškinaga**. Pea-demojaks

oli meie ringi noorim liige, praegu meedia suurärimees, **Peeter Rebane**. Neid ringe jätkasime veel aastani 2005.

Kui praegu vaadata tolleaegseid pilte, siis paistab, et olime noored ja tugevalt ühtekuuluvad. Viimane on ka üle kandunud ATI-lastele, kellest arvestatav osa alustas tööd elektronarvutite kateedris.

Aastal 1987 oli tunda muutuste tekkimist ka ühiskondlikus teadvuses. Juba mõni aasta hiljem moodustati Rahvarinde esimesi tugirühmi. Ei olnud enam kartust ka utreerida nõukogude sümboolikat. Nii seisan järgneval pildil kursusekaaslasega, dotsent **Peeter Kitsnikuga**, surmtõsiselt kõigi rahvaste õpetajaga taustal.

Vladimir koos kolleegi Peeter Kitsnikuga (vasakul), taustaks suur arvutiplaat ja selle all kõigi rahvaste õpetaja pronksist miniskulptuur

Minul on vedanud, et programmeerimise õpetamise alguses sain **Paul Leisilt** väga head juhised. Selleks ajaks olid teaduskonda valitsenud automaatikud aru saanud, et arvutid on midagi enamat, kui ainult juhtseade. Parimad nendest, **Andres Keevallik**, **Raimund Ubar**, **Paul Leis**, **Viktor Leppikson** hiljem ka **Mati Kurm** olid tulnud elektronarvutite kateedrisse. Pärastpoole moodustati automaatikute poolt uus eriala – *süsteemiinsener* tähisega LS, kuid programmeerimise õpetamine jäeti ikka meile. Kuna õpetamisel orienteerusime koheselt põhimõistele ALGORITM – ei ole meie õpetamiskontseptsiooni lammutanud platvormivahetused ja arvutite tormine areng. Samas oleme alati silmas pidanud arusaamise vajadust arvuti „hingeelust". Tolleaegsete laboris kasutatavate Mikrolab arvutitega sai vaadata operatsioonide sooritamist registrite tasemel ja sama teeme nüüd tarkvaraliselt C vahenditega.

Iga arenevat organismi viib edasi terve konkurents, nii oli ka elektronarvutite kateedris. Sel ajal juhtisid kateedrit vaheldumisi professorid **Andres Keevallik** ja **Raimund Ubar**. Minu meelest oli selles konkurentsis nii palju potentsiaali ja arengu sünergiat, et Andres Keevallikust sai TTÜ rektor ja Raimund Ubarist meie ala tunnustatuim akadeemik. Nüüd, taasiseseisvunud Eestis on eriala juhtimisega asjad paika loksunud ja *arvutitehnika instituuti* (*elektronarvutite kateedri* järeltulija) juhib rahulikult ning kindlalt **Margus Kruus**.

Diplomikaitsmise komisjon 2005. Vasakult Ahto Kalja, Margus Kruus (kat. juh.), Jüri Reitsakas (esimees), Jüri Udre, Harri Lensen ja Vladimir Viies. Sekretär Kaie serveerib esimehele vett.

Aastaks 2016 on meie eriala eksisteerinud 50 aastat ja esimesed lõpetajad on panustanud Eesti arengusse juba 45 aastat. Nii palju juubeleid! Aga tagasi kujunemisaastatesse.

Iga eriala edukus sõltub lõpetajatest ja meil neid on. Minu meelest on lõpetaja edukuse aluseks tema lõputöö ja hinnang sellele. Olen eriala lõputööde hindamisega tegev aastast 1985 ja peab uhkusega tõdema, et nii tööd ise kui neid hindavad komisjoni liikmed, mitte ainult TTÜ kolleegid, on olnud tasemel. Pikka aega juhtis meie eriala kaitsmisi küberneetika tippspetsialist teadusdoktor **Jüri Reitsakas**. Hiljem on komisjonis osalenud paljud teadlased, nende hulgas teadusdoktor **Uno Vallner**.

Praeguseks on meie eriala lõpetanud üle 1500 üliõpilase.

Kalle Tammemäe: Seikasid kateedri ajaloost 1979-84

Kalle Tammemäe tööpostil 2016

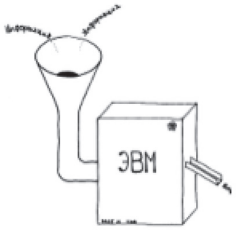
Minu tõsisemad sidemed elektronarvutite kateedriga algasid kolmandal kursusel 1979. aastal. Õppetöö sujus üldiselt kenasti ja uudishimulikumad üliõpilased hakkavad ülikoolis ikkagi silma ning nii mind tasahilju kateedri teadusprojektide juurde kaasati.

Kateeder oli siis ülikoolis üks nooremaid, loodud 1966. aastal ja seepärast olid kõik selle õppejõud parimas loomeeas ning ühtlaselt tugevad ning säravad. Õppida oli nii **Ustus Agurilt**, **Andri Aristelt**, **Harri Mägilt**, **Toomas Plaksilt**, **Raimund Ubarilt**, **Peeter Kitsnikult** ja paljudelt teistelt, rääkimata veel paljudest naaberkateedrite õppejõududest.

Minu esimesed tööd olid seotud programmeerimisega vaneminsener **Toomas Plaksi** juhendamisel, täites nö reaprogrammeerija rolli. Ega ma siis veel ei adunud, et mida teevad graafitükid, mille kirjeldamine mulle ülesandeks anti. Tööprotsess oli üldiselt järgmine – kirjeldasin etteantud graafskeeme Fortranis, viisin programmi vormikohasel aluspõhjal arvutuskeskusesse, kus need operaatorite poolt perfokaartidele ümber toksiti ning mõne päeva pärast sai kätte listingu koos „masinas käinud“ perfokaardipakiga. Vahel õnnestus tulemuseni jõuda esimese korraga, vahel tuli mitu iteratsiooni teha. Ebaõnnestunud perfokaardipaki sisselugemise märgiks oli väljatõmmatud vigane kaart pakis.

Diplomitöö oli seotud automaatprojekteerimissüsteemi ja graafidega, juhendajaks nüüd juba senist koostööd arvestades ikka **Toomas Plaks**. Diplomitöö puudutas suurest automaatprojekteerimissüsteemist HADES väikest osa, diplomitöö oli seotud sisendi- ja süsteemi andmestruktuuridega. Komplitseeritumaks osutus failijuurdepääs, need võimalused olid Minsk-arvutitel ebareeglipärased ning ahtad ja A4 mahus toimiva assemblerkoodi kokkusaamiseks tuli parasjagu vaeva näha.

Sel ajal oli ülikoolis suitsetamisse suhtumine vabameelne. Auditooriumites õppetöö ajal just ei tõmmatud, aga tööruumid jagunesid suitsetajate ja mittesuitsetajate tööruumideks. Suitsunurgad käisid iga koridori juurde. Toomas Plaks oli vilunud ahelsuitsetaja ning pikemate konsultatsioonide-arutelude jooksul jõudis ka minu kopsu paras hulk pigi. Eks kõik tudengid võtsid ülikooli sellisena, nagu nad seda nägid ning kulus aastakümneid kuni üleüldine terviseteadlikkus suitsetamise majast välja puksis.



Joonis tekstis. Diplomi väljavõte.

Aasta enne lõpetamist tuli aines *digitaalarvutite teooria ja projekteerimine* näidata suutlikkust limiteeritud käsustikuga arvuti juht- ja operatsiooniosa disainimiseks. Õppejõuks oli prof. **Raimund Ubar**. Nagu ikka – töö vormistati käsikirjas, joonised pliiatsi ja joonlauaga, skeemid millimeeterpaberil. Mäletan, et innustusin vägagi, kodeerisin ja optimeerisin ilusa tulemuse nimel. Lõpuks lisasin tiitellehe taha omade täiendustega ümberjoonistuse ühest venekeelsest arvutiõpikust. Kui siis kenasti toimetatud kladega õppejõu ette ilmusin, siis sellest joonisest me kaugemale ei jõudnudki. Professor arvas, et kõik järgnev on nagunii viie väärilise, tingimuseks seati, et sellest hindamisjuhtumist ka teistele räägiksin. Eks seda omas väikeses rühmas (25-st alustanust oli selleks ajaks järgi jäänud 14) ka tegin ja õppejõu reaktsioon pilapildile leidis loomulikult tunnustamist. Nüüd avanes siis taas võimalus toimunut meelde tuletada.

Kalle Tammemäe ühiselamus olümpiaastal (1980)

Oli loogiline, et korra juba kateedris aktsepteerituna läbisin samas ka oma diplomieelse praktika. Juhendajaks oli **Toomas Plaks** ning tema antud probleemide kodeerimisel lihvisin edasi Fortrani programmeerimisoskusi. Praktikaaruande põhjal olin nii perforeerija kui ka programmeerija töökohtadel ja tõesti, praktika ajal lõin enamuse oma programmidest kaartidele ise.

Omapoolse tagasisidemena olin praktikaaruandesse kirja pannud, et „Kuigi praktikaülesandeks oli programmeerimine, oleks soovinud suuremat vabadust suhetes Arvutuskeskusega. Muidu oli tore praktika.“ Arvutuskeskus oli siis püha koht ja sinna niisama hulkuma keegi ei pääsenud, rääkimata tudengitest.

Vasakul: Kalle šampusekarikaga ülikooli lõpetamisel (rühma kombetalitus). Paremal: viimane koolikell. Kalle oma rühmakaaslaste ja õppejõuga (1981). Vasakult Väino ja Ülle Valts, Alar Tamkivi, Alari Peet, Kalle ja Raimund Ubar.

Pärast lõpetamist 1981. aastal asusin arvutitehnika instituudis tööle insenerina. On võimalik, et ettepaneku pärast lõpetamist kateedrisse asuda tegi minule tollane kateedrijuhataja **Andres Keevallik**. Palk 130 rubla ületas tublisti tolleaegset stipendiumi, mis sõltuvalt õpitulemustest oli kuni 46 rubla.

Omaette pähkliks kujunes elukoht, kuna mittetallinlasena elasin õpinguperioodil ühiselamus. TPI-l oli aga sellal töötajate ühiselamu, milles oli pakkuda pool tuba ning sedasi ülitagasihoidlikult saigi alustatud.

Minu esimesteks päris tööülesanneteks kateedris oli GPIB (*General Purpose Interfase Bus* – mõõteseadmete ühendusliides, mis on tegelikult tänaseni kasutusel) projekt, mille terviktäitmise eest vastutas dotsent **Harri Mägi**.

GPIB valmis tollaste madala ja keskmise integratsioonitasemega mikroskeemide abil – selleks kulus mitmeid prototüüpseid trükkplaate täidetuna massiliselt K155-seeria küllalt lihtsate loogikaskeemidega. Prototüüpimiseks joodeti kiibid trükkplaadile ja ühendati all punktist-punkti juhtmetega. Võib arvata minu ähmi, kui sain testimiseks kätte trükkplaadi, mis oli alt tihkelt täis joodetud julgelt elektrikule kohast mitmeamprist voolu kannatavat juhtmerägastikku (siis kolleeg **Andres Allikmäe** teostuses, kes läkski hiljem Harju Elektrisse tööle). Raske ka midagi ette heita, kuna see oligi praktiliselt parim kättesaadav varustus ja tehnoloogia, millega kateedris tuli töötada.

Loomulikult polnud mingit lootust läbi selle juhtmevaiba konkreetsetele kontaktidele ligi saada. Edasine pole täpselt meeles, mis on kinni joodetud, on lahti- ning ümberjoodetav ja sammhaaval õnnestus soovitud funktsionaalsus üles leida ja käima saada.

Minu pedagoogiliseks rolliks kateedris sai *elektroonika* õpetamine TI eriala tütarlastele. Tundus, et tegu oli õppetööga, mis oli sattunud elektronarvutite kateedri vastutusalasse, kuid millega kogenumad kolleegid eriti ei tahtnud vaeva näha. Paras ülesanne noortöötajale, kes oli heausklikult valmis igast uuest ülesandest kinni haarama.

Elektroonika õpetamine TI üliõpilastele osutuski päris emotsionaalseks. TI oli majanduseriala, mis tollase nägemuse kohaselt pidi paiknema elektronarvutite läheduses – majandusarvutused nõudsid ju arvutite, programmeerimise ja järelikult ka elektroonika tundmist. See viimane oli küll ilmselt liiast, aga õppekava oli ka siis seaduseks. Mulle anti õppematerjalid üle vanemõpetaja **Mart Jäneselt** ning võttes maailma asju, nagu need on, tegin aine omale üksipulgi selgeks ja rääkisin valdavalt tütarlastest koosnevale grupile transistori toimimise sirgeks. Teooria juurde käisid ka laborid ning vigurväntadest laborantide abiga muutus mõnigi katseseade neidude käes suitsuajavaks ehmatiseks, mis loodetavasti aitasid materjali omandamisele omal moel kaasa. Konspekteeriti tähelepanelikult, aga kuivõrd tõsiselt ainesse ja materjali suhtuti, seda näitas eksamipäev, kui õppejõu lauale purjetas kandikul konjak pitsidega. See oli mul üldse esimene eksam vastu võtta ning seepärast oli ka fotoaparaat kaasas. Ning eksami formaat muutuski *ad hoc* – olid küll ettevalmistatud eksamipiletid ja toimus asjakohane vestlus, aga see päädis kas „viie" (tudeng adus midagi) või „neljaga" (tudeng ei adunud midagi) ning tulemuse kinnituseks löödi pitsid kokku ja tehti pilt. Õppejõud pidi seejuures ranget piiri pidama, sest eksamineeritavaid oli ligi 30. See kompromiteeriv süüdistusmaterjal on tänaseni alles ning on ülimalt tõenäoline, et ükski TI lõpetanutest teadmisi n-p-n transistori ühise emitteriga lülituse omadustest oma elus ei vajanud.

Loomulikult lekkis info eksamivormist mingil moel ka kolleegidele, ehkki pildid avalikkuse ette ei jõudnud ja kuna tudengid olid tulemusega rahul, siis algajale õppejõule tüsistusi ei järgnenud. Kas just sellest ajendatuna, aga TI õppekava võeti lõpuks ometi käsile ning elektroonika roogiti sellest välja.

Kateedri sisevaluutaks oli piiritus. Arvutite hooldamiseks oli seda ette nähtud suurtes kogustes ning piirituse jaotusahel oli haldussüsteemi tähelepaneliku kontrolli all. Inseneril oli seda lihtsam küsida kirsi- või jõhvikanapsu tegemiseks kui jooteräbu eemaldamiseks. Loomulikult toimusid ka kateedri peod „oma" piirituse baasil. Nagu arvata

võis, oli väärtusliku fluidumi jaotusahel seotud administreerimishierarhiaga ja parteiliste käsuridadega.

Omaette nähtus oli tollane arvutipark. PC-d olid veel leiutamata, aga kirjutuslaua mõõtu ja kujuga arvutid CM-1800 8-tolliste flopiseadmetega olid juba peaaegu nagu ühemehe töövahendid. Samas teadmine, et läänemaailm teeb arvutitehnikas ja küberneetikas seitsmepenikoormasamme, ei jäänud kellelgi märkamata – olid ju ka ES seeria arvutid IBM-i 360/370 kloonid, tehnoloogia tipptasemest palju aastaid maas. Raudkardina taga olid kuumimad arvutisüsteemide tegijad Bulgaaria, Rumeenia, Saksa DV jt.

Samas, 80-ndad ja 90-ndad olid mikroprotsessorite *„kambriumi plahvatuse"* aastad. Intel, Zilog, Motorola jt raputasid maailma ning käivitasid tervikuna uue tööstuse. Tulid uued arendus- ja programmeerimisvahendid, mille juures nõukogude süsteemi mahajäämus aina süvenes. Ehkki külma sõja tipphetked olid möödas, mõjutas impeeriumit USA tipptehnoloogia-alane embargo. Kuna ükski piir ei pea 100%, siis särava kulla eest leidus ikka võimalusi impeeriumisse smugeldada ka tipptehnoloogiat. Teadmata täpselt kõigi soodsate tuulte ja parteiliste rahavoogude tagamaid, jõudsid kateedrisse Philips-i digitaalostsillograaf, loogikaanalüsaator, plotter, programmaator 5-tolliste flopiseadmetega ning BASIC-kompilaatoriga esimese põlvkonna mikrokontrollerite arendussüsteem PMDS I (**Philips Microcontroller Development System** PM4421). Kõik need sisaldasid embargo alla käivat USA tipptehnoloogiat.

See komplekt tahtis värsket verd ning mingil hetkel olin seadmes silmini sees. Ehkki arvuti oli lihtsa 16-bitise mikrokontrolleri suutlikkusega, oli võimalik BASIC-keelest imetlusväärselt palju välja võluda. Näiteks õnnestus programmeerida rakendus digitaalsüsteemi joonestamiseks plotteril koos interaktiivse kasutajaliidesega ühenduste moodustamiseks komponentide vahel (algeline skemaatiline redaktor). Nii mõnelgi näitusel näitas plotter klassi ja A3 leht täis tihedalt digitaalahelaid ei jätnud kedagi seda valdkonda pisutki tundvat külmaks.

BASIC keele paindlikkus ahvatles ka teaduslikke eksperimente sooritama. Teostasin sellel erinevaid poolrühmade maatriksteisendusi ja automaadi parameetrite kodeerimisi. Tulemused olid visuaalsed, efektsed, aga tegelikult teaduslikku väärtust ei omanud.

See oli alles algus, tipptehnoloogia sissevool Eestisse jätkus ja ühel hetkel laekus kateedrisse igati kaasaegne 20Mbaidise kõvakettaga Unix-põhine multikasutaja ja multitegum mikrokontrollerite arendussüsteem PMDS II.

Tuleb tunnistada, et Philips Unix põhisest arendussüsteemist (moodulid erinevate Inteli, Zilog, Motorola jt mikrokontrollerite programmeerimiseks ja emuleerimiseks) oli eneseharidusliku tohutult kasu. Unix multikasutaja ja multitegumsüsteem oli justkui tulnukatehnoloogia. Selles võis lõputult kaevata ja jätkuvalt uut avastada – kaasnevad juhendmaterjalid ja käsiraamatud olid unikaalselt informatiivsed. Rääkimata sellest, et süsteem oli tõesti kasutatav uute mikrokontrollersüsteemide arendamiseks. Sellest palju hollandi kuldnaid maksvast süsteemist sai nii minu kui **Peeter Ellervee** arvutiinseneeria teadmiste ja oskuste kandetala, mille jäljed kestavad tänapäeva. Saime hakkama ka süsteemi riketega – aega läks, aga kasutatav tehnoloogia oli lõpuks üksipulgi selge.

Philips arendussüsteemi kolmanda põlvkonna PMDS maaletoomisega olin minagi pisut seotud. Philips oli müügist huvitatud, USSR oli raha garanteerinud ning mulle tehti ülesandeks hollandi müügimehega komplektsuse osas kokku leppida. Käisin Moskvas

näitusel, kus Philipsi boksis härra **Vanderbekega** tuttavaks sain. Kuna kliendid pidid hulk aega peremeest ootama, siis pisteti kompensatsiooniks pihku neljatehteline päikesepatareiga Philips taskukalkulaator. See oli siis väärt kink küll. Ärisuhtlus inglise keeles oli aga ränk katsumus ning mäletan paari Tallinnast Philips esindusse tehtud kõnet, milleks valmistusin kirjalikult püüdes kõiki stsenaariume ette näha ning lahendasin ka telefonikõne salvestamise, et hiljem räägitut veel analüüsida. Põhjalik ettevalmistus aitas, jutt sai räägitud, kuid i-le pani lõpuks punkti **Kalju Lott**, kes kommikarbi ja Vana Tallinnaga Moskvas ühe konkreetse Marina jutul käis, kellest sõltus kauba teelelükkamine.

Raimund Ubar tõi Dresdeni Tehnikaülikooli külastuselt kaasa malearvuti mooduli ning teades minu huvi riistvara vastu, andis selle mulle katsetada. Nii vahvale väljakutsele ma loomulikult vastu ei suutnud hakata. Riistvara huvi väljaelamist toetas ka kateedri korralik ja süstematiseeritud riistvara ladu, milles leidus kõikvõimalikke passiiv-, aktiiv-, analoog- ja digitaalkomponente ning süsteemiinseneri erialasele huvile takistusi ei tehtud.

Malearvuti

Malemoodul kujutas endast trükkplaati Zilog 80 protsessoriga, 1kB töömäluga ja oma 20kB EEPROM-ga, millesse oli juba salvestatud maleprogramm.

Süsteemi skemaatiline kirjeldus oli toodud sel ajal ülikõvas DDR-i ajakirjas Radio Fernsehen Elektronik. Seadme korpuseks leidsin ühe vana elektroonse lauakalkulaatori kesta, mille herkonreleedega klahvistik oli sobivalt taaskasutatav, ekraaniks tuli sättida neli 7-segmendilist LED-indikaatorit. Malekäikude sisestamiseks ja esitamiseks nendest minimaalselt ka piisas. Maleprogrammis oli kokku kümme taset ja minu enda suutlikkus lõppes esimese poole peal. Küll aga sai malearvuti kaasa veetud suvel nö veteranide üliõpilasmalevasse, kus rühmakaaslane **Alar Tamkivi** malet treeninuna püüdis vastu hakata ka 10-ndale tasemele. See käis 1kB mäluga arvutile endale üle jõu – mõtlemisaeg oli tunni ringis ning selle aja peale lõi malevaehituse ebastabiilne elekter sageli seisu sassi. Selle puhuks oli kõrval varunduseks ehe malelaud, sest programm lubas suvalist seisu pärast *restarti* sisestada. Mitu päeva kestnud partii suutis arvuti omale soliidseks viigiks vormistada, sai näha mitmeid filigraanseid lahendusi. Malearvuti pakkus rõõmu päris mitu hooaega, vaimustas siis noorukieas maailma uudishimulikult uurivat **Sten Tamkivi**, tulevast Skype Eesti juhti, kuni korpuse lagunemiseni. Ehkki „emaplaat“ ja klaviatuur on tänaseni alles, võib arvata, et EEPROM-i sisu on nüüdseks lootusetult degradeerunud.

Riistvara ja Philips loogikaanalüsaatorite tundmine viisid mind koos **Villem Alangoga** Norma tööriistatsehhi automaatseid traaterosioonpinke remontima. Nende juhtosa oli igati kaasaegne mitmetel Intel 8080 protsessoritel baseeruv mikrokontrollersüsteem. Tööpinkide seismajäämine oli aheltootmises suureks probleemiks, sest DDR-ist või veel kaugemalt spetsialisti kohaletoomine oli ajakulukas ja kallis. Elektrilisest traaterosioonist ei teadnud me küll midagi, aga püsimälusid oskasime välja lugeda ja heksadetsimaalkoodi disassembleerida. Oli parajaks puändiks kui kümneid lehti koosneva listingu uurimisel jõudsime ühe kahtlase bitini, mille taha kood takerdus ning seda kontrollis – minitumbler

trükkplaadil, mis oli viimatisel hooldusel unustatud testolekusse. Üks klõps ning suur masinavärk ärkas. Usaldus meie kompetentsi vastu kasvas sedavõrd, et Norma tellis meilt terve loengutsükli mikroprotsessortehnoloogiast ja diagnostikast ning lõpuks ostis omalegi tipptasemel Philips loogikaanalüsaatori, mida lubas lahkesti TTÜ-s kateedris hoida ja kasutada, kui ainult häda korral neile taas appi tõttame. Seda ikka juhtus ning abi ka sai.

1984. aastal astusin aspirantuuri, teadusteemaks juhtautomaatide tükeldamine, mis oli juhendaja **Andres Keevalliku** valdkond. Aspirantuuri teoreetilise osa punktide kogumisega probleeme polnud, kuid teadustulemused andsid end oodata. Juhtautomaate oli üle kogu kunagise Nõukogude Liidu väga kaua „lüpstud" ja eeldatud oma suunda ega hoogu sellest enam ei leidnud.

Raimund Ubar: Õppejõuks õppimisest (1960 - 1975)[2]

Järgnevalt toon eeltoodu kõrvale lisaks ka omad mälestused sellest, kuidas kujunes minu haridus mitmes ülikoolis, mis hakkas hiljem omal moel mõjutama elektronarvutite kateedri arenguprotsesse.

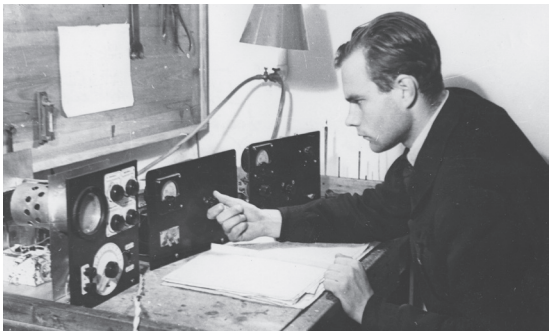
Alguse sai kõik sellest samast 60-ndate Alma Materist, kus hiljem hakkas kulgema mu õppejõu karjäär. Tudengina õppisin automaatikat ja telemehaanikat. Mu esimeseks armastuseks sai graafide teooria, mida õppisin dotsent **Hanno Sillamaalt** ja millele truuks olen jäänud kogu elu. Insenerikogemused sain seigeldes elektroonika müsteeriumites, kus graafid aitasid mind orienteeruda analoogmaailmas. Kuid siis vallutas kogu planeedi digitaalne buum ja muutis kogu maailma käsitluse teiseks. Selle buumi harjal viis saatus mind Moskvasse meie Rauakooli tarbeks moodsat tarkust taga nõudma. Vahetasin analoogelektroonika digitaalse vastu, aga graafid jätsin tagataskusse. Elus on ikka nii, et enamasti lased märklauast mööda. Moskvas õppisin Rauakooli jaoks valesid asju. Aga hariduse nõks on see, et haridus pole kunagi vale; vale on see, kui haridus kasutamata jääb. Ja siin on jonni vaja, aga muidugi ka õnne.

Venemaal õpitu sai Eestile omaseks „tõlgitud", millele kaasa aitasid tagataskust välja võetud graafid. Olin astunud Rauakooli õppejõuna digimaailma, kus rauaga polnud enam midagi pistmist. Üha rohkem tuli hakata unustama vana. Ja nii komandeeriti noor õppejõud uuesti kord laia maailma – seekord Saksamaale värskemaid digiuudiseid hankima.

Tudengina 60-ndate Rauakoolis

Tallinna Polütehnilise Instituudiga, mida hellitlevalt kunagi nimetati Rauakooliks, algas minu suhe täpselt samal päeval, kui asutati Küberneetika Instituut – 1. septembril 1960. aastal. TPIs oli avatud uus eriala – *automaatika ja telemehaanika*. Olin koolipõlves tegelenud pisut raadiote ehitamisega ja tundes huvi elektroonika vastu, nii ma siis just sellele erialale oma dokumendid sisse viisingi. Konkurents 5-6 inimest koha peale oli seal aga kõige suurem. Hiljem selgus, et õnnelike sissesaanute hulka pääsesid vaid need, kes olid kõik eksamid viitele sooritasid. Oma ühe „neljaga" ma sinna ei pääsenud ja tuli teha mingi teine eriala valik.

[2] Tekst pärineb osaliselt mälestusteraamatust „Teadusemees", TTÜ kirjastus, Tallinn, 2011, 480 lk.

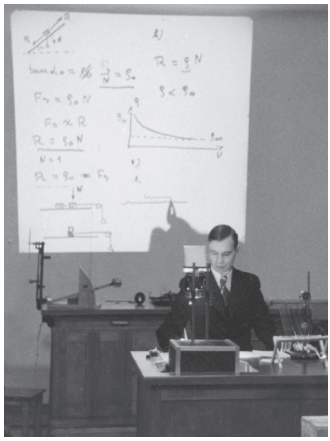


Olaf Terno tudengina laboris. Terno oli TPI ÜTÜ nõukogu esimees (1951).

Valisin *elektrivõrgud ja -süsteemid*. Rühmajuhendajaks oli äsja Inglismaalt tulnud **Olaf Terno**. Ta pidas meile väga huvitava sissejuhatava loengu erialasse, kus kirjeldas värvikalt ja sugestiivselt probleeme, mis hakkavad meid ees ootama energeetikainseneridena. Loengu tegi haaravaks Terno lai silmaring ja eruditsioon ning tema oskus siduda sujuvalt käsitletavat teemat Inglismaal nähtuga. Esimene mulje lektorist kujundas pinna austusele ja lugupidamisele Terno vastu alatiseks. Hiljem sai temast Pirita tee instituudi TUPTI direktor, kellega mul tekkisid juba ka töised kontaktid töötades TPI-s õppejõuna.

Üliõpilasena lummasid mind mitmed õppejõud. Matemaatika harjutustunde viis meiega läbi assistent **Arno Kass**, kes tavatses tahvli juures hätta jäänule öelda, et tolle projekteeritud sillast ei julgeks tema küll üle minna. Matemaatikaloenguid pidas väga selgelt ja arusaadavalt dotsent **Leo Ainola**. Need toimusid Kopli hoone kuulsas seitsmendas auditooriumis korraga 300 üliõpilasele. Hiljem õpetas meile nablasid ja operaatorarvutust dotsent **Aleksander Garšnek**, kes kasutas tahvlile kriidiga kirjutamisel kummikinnast. Tol korral ei osanud mitte kuidagi mõista, milleks see matemaatika võis hea olla ja ei oleks osanud ilmaski tulla selle peale, et hiljem oma teadustöös hakkan ise nablale sarnaseid operaatoreid rakendama Boole'i funktsioonide diferentseerimiseks.

Kujutava geomeetria loenguid pidas meile dotsent **Ott Rünk**. Ka selle aine juurde kuuluvat kujutlemismüstikat tabada ja objektide maha pööramisest oli algul samuti keerukas aru saada. Lohutas pisut vaid see, et Rünga Oti ütluste järgi ei pidavatki kõik inimesed kujutavast geomeetriast aru saama, eeskätt naised ja hiinlased. Tema lemmikväljendi „mahapööre" kohta liikus mitmeid legende ja anekdoote. Kord olla Ott Rünk kukkunud tänaval. Mööda läksid tudengid. Õppejõud palunud maas lamades neilt abi: „Aidake mind, poisid, tasapinnalt tagasi ruumi."



Prof. Albrecht Altma füüsika loengul 1940. Neid samu loenguid pidas ta ka 20 aastat hiljem, täpselt samas kohas Kopli 101 ja samal viisil – kilede „abil", aga mitte valemeid kilelt maha lugedes, vaid neid jooksvalt kilele kirjutades.

Füüsikat õpetas meile äärmiselt sümpaatne ja delikaatne professor **Albrecht Altma**. TPIs oli tol ajal vähe professoreid, sest osa vanemaid professoreid oli nõukogude võim degradeerinud dotsentideks. Altma oli õppejõud, kellele oleks väga piinlik olnud eksamil häbisse jääda. Hiljem õpetas meile füüsikat legendaarne õppejõud dots. **Georg Mets**, kes pidas ennast kuulsa füüsiku **Pjotr Kapitsa** õpilaseks. Mets tunnistas üksnes omaenda konspekti ja oli eksamil väga pedantne. Samasuguse rangusega paistis silma dotsent Hans Jänes, kes õpetas meile teoreetilist elektrotehnikat. Mõlemad ained olid väga rasked. Tudengite seas levis eksamiteeelne ohe: kui seda Metsa ees ei oleks ega

Jänest metsa sees. Dots. **Hans Jänese** pojast Mardist sai kümmekond aastat hiljem 1972. aastal elektronarvutite kateedri assistent.

Iseloomuliku loo prof. Altmast, kes oli aastatel 1944–1948 TPI rektor, jutustas mu äi, üks RAM-i asutajaid, **Enn Kailvee**. Nad olid olnud sõja-aastatel koos Uuralites, kus Punaarmee Eesti korpus läbis väljaõppe. Elutingimused olnud väga rasked, süüa oli vähe ja söögipalade hankimisel kehtis tugevama õigus. Väikesekasvuline ja kõhn Altma jäi oma tagasihoidlikkuses enamasti söögisabas trügimisel kõige lõppu, mis tähendas seda, et ta jäi tihti oma portsionist hoopiski ilma. Viimaks hakkas ka mehe tervis üles ütlema. Ja eks ta olekski muldonni nurgas õlgedel lamades aeglaselt hääbunud, kui tema kaaslased poleks tajunud situatsiooni ja hakanud professori eest kõik koos ühiselt hoolitsema.

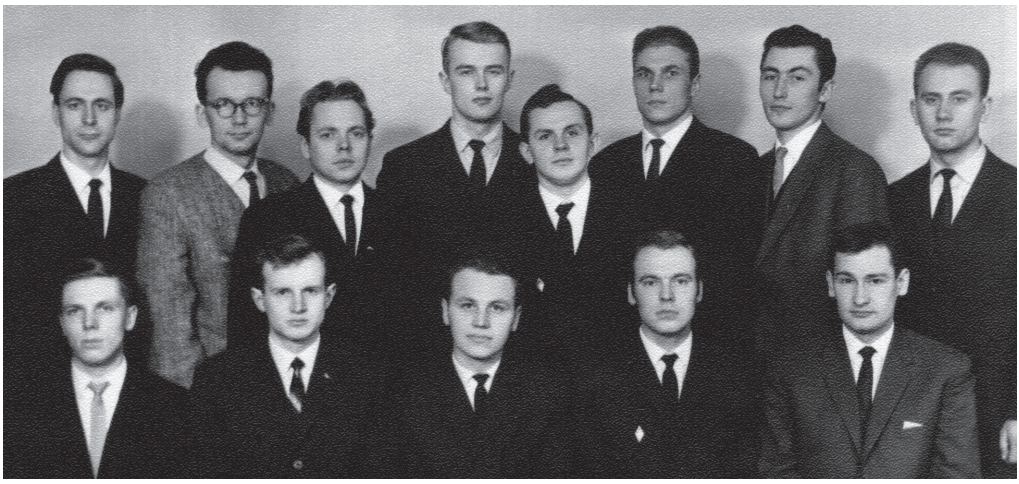
Meie aastakäiguga korraldati TPI-s tööpraktika eksperiment. Pidime poolteist aastat käima paralleelselt nii tööl kui koolis. Automaatikud läksid Punase RET-i raadiotehasesse, minu rühm suunati aga erinevatesse kohtadesse tööstuselektrikuteks. Mina sattusin elektrimontööriks Trusti Elektrimontaaž. See oli tegelikult huvitav ja praktiline kogemus. Vahetasime linna peal pidevalt ehitusobjekte, kus tuli elektrivarustus sisse viia. Panime maha kaableid, seintele juhtmestikku, monteerisime kilpe, paigaldasime torusid, ühendasime vooluvõrke. Igal objektil olime sõltuvalt töömahust paar nädalat või mõne kuu.

Õhtuti töölt loengutele minnes olime pikast tööpäevast surmväsinud ja harilikult vajusid silmad loengut kuulates varsti kinni. Õppejõud pidi üsna leidlik olema, et meid ärkvel hoida. Sellega sai hästi hakkama keemia õppejõud dots. **Roman Ott**. Kui ta pani tähele, et auditooriumi kaks viimast rida juba „ära vajunud oli", korraldas ta mingi katse, mis lõppes paugu ja suitsuga. Seejärel võis loeng uuesti jätkuda 100%-liselt ärkvel kuulajaskonnale. Õnneks toimusid loengud vaid kolmel õhtul nädalas, mitte iga päev.

Pärast esimest kursust õnnestus mul ikkagi tulla üle *automaatika* erialale. Mul olid mõlema semestri kõik eksamihinded viied ja sain kõrgendatud stipendiumi. Astusin dots. **Hanno Sillamaa** kabinetti, kes oli automaatika kateedri juhatajaks, ja rääkisin talle oma loo, kuidas mul üks sisseastumiseksam ebaõnnestunud oli, mistõttu õpin nüüd elektrisüsteeme, aga tegelikult oleksin huvitatud automaatikast. Sillamaal polnud midagi selle vastu, et mind oma kateedri juurde võtta.

Dots. Sillamaa oli umbes 35-aastane noor mees, hiljuti Lvovis kaitsnud kandidaadikraadi, väga edumeelne ja pidevalt end hariv, õpetas üliõpilastele uusi aineid kõige uuemate teadussuundade valguses. Räägiti, et tema kandidaaditöö oli lõppenud negatiivse tulemusega. Seal olevat ta näidanud, et idee, mis oli tema väitekirja teemaks, ei tööta tegelikult. Aga eks seegi oli ju teadustulemus, sest tänu oma uurimistöös tehtud avastusele võis nüüd järgmiste uurijate eest sulgeda ukse sellesse ruumi, kust polnud enam midagi kasulikku leida. Suhtusin Sillamaasse väga suure lugupidamise ja austusega, nii nagu kõik tema õpilased ja kolleegid. Prof. Sillamaa oli kõigile arvutitehnika maaletoojatele suur autoriteet ja Eesti automaatika guru. Tema põhjatu töökus, kohusetunne ja korralikkus tagasid selle, et kui palju tema õpilased ka ei ponnistanud, Hanno Sillamaad ei suudetud teadmiste omandamise protsessis kunagi „kinni püüda".

Meie automaatikute rühma organisaatoriks oli **Olav Aarna**, rektori poeg. Hoolimata oma taustast oli ta väga tagasihoidlik, paistes samal ajal silma kõrge eruditsiooni ja laia silmaringi poolest, hiljem sai ka temast isa jälgedes rektor.



Raimund Ubari rühmakaaslased. Vasakult: istuvad Henn Paduri, Olav Aarna, Endel Peets, Ants Noodapera, Leo Mõtus ja seisavad Rein Raamat, Lembo Mäss, Lembit Esna, Jüri Varda, Mati Kembo, Vello Männamaa, Gunnar Schiff, Tiit Saksakulm (1965).

Meil oli väga tugev rühm, see koosnes isiksustest, kellest enamik olid mulle eeskujuks. **Leo Mõtus** ja Olav on nüüd akadeemikud. **Rein Raamat** töötas vanemteadurina Tartu Ülikoolis, **Vello Männamaa** oli pikka aega õppejõud meie ülikooli elektroonikakateedris. Meie kursuse poistest lõpetasid viis ülikooli *cum laude*, kuuest said tehnikateaduste kandidaadid, kolmest teaduste doktorid. Leo Mõtus oli pikka aega Eesti Teaduste Akadeemia peasekretär.

Üheks õppejõuks, keda eriliselt imetlesin, oli dots **Wilhelm Kracht** ehk Willi, nagu teda omavahel kutsusime. Willi jutustas meil kord loengul ühest digitaaltehnika maailmaklassikust, **Edward McCluskey'st**, keda ma hiljem ka isiklikult tundma õppisin. Ta õpetas meile McCluskey ühte väga tuntud elektroonikaskeemide projekteerimismeetodit, mida veel tänagi digitaaltehnika disaini inseneridele õpetatakse. Seejärel aga tutvustas sinna kõrvale ka ühte omaenda meetodit, mis täiendas McCluskey oma ja oli veelgi täpsem. Klassika oli minu jaoks tähendanud alati midagi lõpetatut ja igavest. Klassikuteks olid näiteks **Newton**, **Einstein**, **Darwin**. Aga et klassikute kõrvale suudab midagi panna ka üks Eestimaa mees, see oli minu jaoks suur üllatus ja tähendas midagi üleloomulikku ja väga suursugust. Jälgisin üksisilmi kriidiga tahvlit määrivat dotsenti ja mõtted kaldusid hoopiski kõrvale sellest, mis toimus auditooriumis.

Võib-olla oligi just too Wilhelm Krachti loeng see hetk, kui mingi seeme hakkas minus idanema, millest hiljem kasvas välja üks teadusdžunglitesse eksinud TPI õppejõud. See hetk oli minu jaoks äratundmine, et ühe uue teadusliku meetodi väljamõtlemiseks ei peagi olema Newton.

Automaatikaainetega viisid meid kurssi peale Sillamaa ja Krachti veel dotsendid **Gunnar Väljamäe**, **Lauri Einer**, **Erik Hansen** ja alles tudengi seisuses olev assistent **Ants Laansoo**. Hansen oli kirjanik Tammsaare poeg. Meie rühmajuhendajaks oli dotsent **Heino Ross** ehk Mäidu, nagu teda tudengite seas kutsuti. Õppejõuna oli Mäidu erakordselt populaarne ja lugupeetud. Aine, mida ta meile õpetas, oli magnetoonika. Heino Ross oli üks automaatikakateedri alusepanijaid. Tema initsiatiivil loodi tänaseni püsiv traditsioon korraldada iga-aastaseid automaatikapäevi, mis ühendavad tudengeid, õppejõude kui ka vilistlasi. Neid on korraldatud juba rohkem kui poole sajandi vältel.

Osa meie tudengitest kaasati juba õppimise ajal laborisse uurimistööd tegema. Kõige aktiivsemad olid **Olav Aarna**, **Leo Mõtus**, **Rein Raamat** ja **Vello Männamaa**. Teadus mind tol ajal veel ei huvitanud, sport oli sel perioodil haaranud õppimise kõrval suurema osa mu elust.

Läksin aga matemaatika erirühma, kus aasta jooksul õpetati meile täiendavaid matemaatika eriaineid ja kompensatsiooniks vabastati vabal valikul mõnest põhiainest. Näiteks vabanesin *arvutite* kursusest, mida luges dotsent **Andri Ariste**. Elu paradoks on see, et just arvutid saidki hiljem mu erialaks. Andri oli kuulsa TÜ professori **Paul Ariste** poeg. Ta töötas sel ajal insenerina Küberneetika Instituudis ja oli hiljem üks neist, kes toetas ja soosis teaduslikku koostööd TPI elektronarvutite kateedri ja Küberneetika Instituudi vahel.

Kõrgema matemaatika eripeatükke luges meile Eesti-aegne magister ja Pariisis visiteerinud dotsent **Ants Särev**, suur hallis ülikonnas pisut kühmu hoidev vana mees. Särev tuli klassi, ütles meile tere, pööras siis selja ja hakkas kriidiga valemeid tahvlile ritta laduma. Alustas vasakult ülalt ja lõpetas paremal all. Kui tahvel sai täis, alustas ta uuesti vasakult ülalt. Ühes käes tahvlilapp, asus ta sellega vaba ruumi tegema ja teise käega vabanevale pinnale samaaegselt uut valemite rivi kirjutama. Kui tund lõppes, pööras ta jälle näo meie poole ja soovis head nägemist. Aine oli raske ja materjali palju. Eksamil võis aga konspekt kaasas olla. Särev vaatas siis kõrvale, kui vastamiseks oli tarvis midagi konspektist järele uurida.

Inseneri ristsed elektroonikuna

Arvuteid ma niisiis Ariste käest ei õppinud. Aga Küberneetika Instituudi teadur **Malle Kotli** õpetas meile selle erikursuse raames arvutite automaatprogrammeerimist. See oli minu jaoks müstika – kuidas saab automatiseerida programmeerimist? Olime automaatikud ja teadsime, kuidas automatiseerida näiteks lifti üles-alla liikumist. Aga automatiseerida mõtlemist?...

Imestasin tihti asjade üle, mis teiste jaoks olid ehk endastmõistetavad, aga minu jaoks hämmastavad või isegi üleloomulikud. Olin võib olla lihtsalt naiivne või siis võtsin mõisteid teises tähenduses ehk mõnikord ka sõna-sõnalt. Näiteks, Mall Kotli puhul polnud üldsegi tegu programmide automaatse tekitamisega. Kõik osutus palju lihtsamaks. Programmi kirjutas ikkagi inimene, masin vaid tõlkis inimese kirjapandu ühte teise keelde, mida mõistaks arvuti. Kui ma sellest lõpuks aru sain, polnud siin enam midagi üleloomulikku. Mõistetesse ja siltidesse tuleb suhtuda ettevaatlikult: automaatne pole alati automaatne. Vaidluste põhjuseks on enamasti mõistete erinev tõlgendus.

Viimasel kursusel seisis meil ees nn „orjaturg“, kus määrati, kuhu keegi tööle läheb. Valida võis olemasolevate töökohtade nimekirjast, aga valikuõiguse määras pingerida, millesse olime seatud vastavalt õppeedukusele. Mulle oleks nagu kõige rohkem sobinud loominguline inseneritöö. Ja sellele vastas täpselt minu valikuhetkeks veel vakantseks jäänud töökoht Punase RET-i Raadioelektroonika Konstrueerimisbüroos, venekeelse nimetuse järgi – TKBRE. Ka oma viimase semestri praktikakohaks valisin ma sama asutuse.

TKBRE oli salajane asutus. Kõik, mis NL-is arvutite ja elektroonikaseadmete projekteerimisse ja tootmisse puutus, oli salajane. Asutusel oli kaks nimetust: avalik ja salajane. Kõikide taoliste asutuste salajaseks nimetuseks oli mingi numbriga postkast. See number oli ühtlasi ka aadressiks. Ei muud linna ega tänava nimetust. TKBRE oli avalik nimetus. Selle juurde käis ka tavaline aadress: linn, tänav, maja number. TKBRE salajaseks

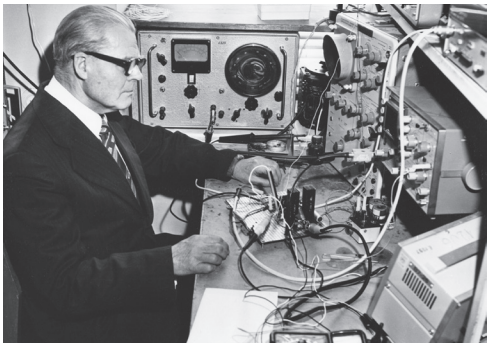
nimetuseks oli Postkast 12. Mõlemat nimetust võis avalikult kasutada. Aga ühel ja samal dokumendil ei tohtinud olla mõlemad nimetused koos.

Salajastes asutustes olid inimesed jaotatud kolme rühma: need, kes ei pääsenud salajastele paberitele ligi, need, kes pääsesid, ja need, kel oli õigus töötada ülisalajaste dokumentidega. Nendele, kellel oli ligipääs, anti eridokument *dopusk* number 2 ehk kõnekeeles lihtsalt *dopusk*. Selle dokumendi saamiseks tuli läbida ekspertiis, kus üheks nõudeks oli, et välismaal ei tohtinud olla sugulasi. *Dopusk'*i omanik ei tohtinud välismaalastega ka suhelda ja teda ei lubatud välismaale minna. *Dopusk'*ita polnud praktiliselt võimalik elektroonika valdkonnas töötada, külastada muid sarnaseid asutusi ega vahetada nendega informatsiooni. Minul algul praktikandina seda paberit ei olnud, hiljem aga see luba tehti, sest see käis ameti juurde.

Praktika kestis neli kuud kuni suveni, seejärel võeti mind kohe tööle ka insenerina. Sügisel käisin töö kõrvalt loengutel ja järgmisel kevadel sidusin oma diplomiprojekteerimise juba praktiliste tööülesannetega.

Too aeg oli läbimurdeline elektroonika tehnoloogias – toimus üleminek elektronlampidelt transistoridele. Esimeseks suuremaks tööülesandeks sai mulle projekt, milles tuli konstrueerida transistoridel töötav impulsskilovoltmeeter. Projekti juhiks TKBREs oli **Peep Tamm**, kes oli varem juba teinud samasuguse voltmeetri, ainult lampidel, st aeguval tehnoloogial. Vajasin voltmeetrisse väga heade omadustega lairibavõimendit. Katsetasin mitmeid eri tagasisidevariantidega skeeme, kuni paari kuu pärast olin leiutanud ühe erilise transistorkolmiku. Seda kolmikut hakati meie büroos hiljem ka mõnes teises laboris võimendina kasutama, kusjuures teati, et see oli minu väljamõeldud skeem. Patenteerimata see aga jäigi. Diplomiprojekteerimise ajaks mu voltmeeter juba töötas. Nüüd tuli projekt vaid paberile panna: kirjeldada seadet, selle projekteerimiskäiku ja põhjendada valitud lahendusi. Diplomit läksin kaitsma ainsana meie rühmast olukorras, kus seade oli mitte üksnes paberil, vaid ka valmis ehitatud ja töötas laitmatult.

Kaitsmiskomisjoni esimees oli **Bruno Saul**, elektroonikaharidusega insener, hilisem Eesti tööstusminister ja kõige lõpuks koguni ENSV Ministrite Nõukogu esimees. Tegin oma ettekande ja lõpuks lisasin, et projekt on ka realiseeritud, seade on valmis ehitatud ja töötab, kusjuures paremate omadustega kui selle eelkäija. Lisaküsimustele vastasin korralikult, välja arvatud ühele. Vanaldane, suurte kogemustega elektroonik dotsent **Paul Plakk**, TTÜ elektroonika kateedri juhataja (kelle tütrest **Mari Plakist** sai hiljem minu aspirant), küsis mult ühe konksuga küsimuse, mis puudutas mu enda leiutatud transistorkolmikut ehk siis seda lairibavõimendit. Mu vastus ei rahuldanud teda ja ta jätkas küsimist. Siis äkki taipasin, kus oli see konks ja ütlesin naerma hakates: „Tõepoolest, ma läksin liimile." Seejärel seletasin asja ära, millega Plakk ka rahule jäi. Ma ju ometi teadsin, kuidas mu kolmik töötab. Aga juhtub, et inimesed räägivad üksteisest mööda ja võivad niiviisi teinekord teineteisele isegi rumalatena näida.



Dots. Paul Plakk oma laboris transistor-lairibavõimendiga töötamas (1982)

Töökaaslane Peep Tamm Raadiotehnika Konstrueerimisbüroos kontrollib skeemi tehnilist joonist (1967)

Tegin aga hoopis muu taktikalise vea, demonstreerides komisjonile lausa kandiku peal oma kohmetust ja ebakindlust. Kindlasti polnud taktikaliselt õige kogu komisjoni kuuldes öelda „ma läksin liimile". Mis puutub psühholoogiasse, siis pole see just mu tugevaim külg. Mu ebakindlus kaitsmisel läks maksma selle, et sain hindeks „hea" ja kaotasin võimaluse saada diplom kiitusega. Aga pidasin ise hinnet vähetähtsaks formaalseks asjaoluks. Palju suurem tähendus oli minu jaoks see, et projekt sai väärikas – töö tulemus oli reaalse tööstusliku aparaadina laua peal.

Töö selle kõrgepingelise impulssvoltmeetri projekti kallal, mille olin oma diplomiprojektina kaitsnud, jätkus. Seade pidi mõõtma kuni 75 000 voldiseid impulsse. Selliseid pingeid Eestis kusagilt võtta ei olnud ja nii tuli lõppkatsetusteks sõita tellijate juurde Moskvasse. See oli paraja riskiga töö, sest kogu projekteerimine ja katsetamine toimus millivoldiste impulsside abil. Me ei olnud sugugi kindlad, kuidas kaitseb voltmeetri varjestus meie transistorskeeme tõeliste kilovoltide sissetungi eest. Seega oli kogu meie seade üksainus hüpotees. Aga katsetustel kõik laabus. Sellist riistapuud ei olnud veel kusagil maailmas ja meie tööd tunnustati. Loomulikult üksnes salajaselt, nii nagu sobiski salajasele asutusele. 60. aastate elektroonika oli NL-is veel maailmatipp, aga sealt peale algas selle tipu luigelaul. Mul on hea meel, et õnnestus õigel ajal korraks ka insenerina „tipus ära käia". Olime projekteerinud ja valmistanud esimese transistoridel töötava impulsskilovoltmeetri tolleaegses N Liidus.

Diplomiprojektide kaitsmised toimusid 1965. a. lõpul detsembris. Nädalapäevad hiljem 3. jaanuaril anti meile pidulikult Estonia kontsertsaalis kätte lõputunnistused ehk roosad lehed, nagu neid tol ajal nimetati. Roosad lehed vahetati aga aasta pärast pärisdiplomite vastu, pärast aastast töötamist suunatud ametikohal ja oma inseneriкõlblikkuse praktilist tõestamist.

Sihtaspirandina Moskva Baumani nim. Tehnikaülikoolis

Moskva Baumani nim. Tehnikaülikool Jauza kaldapealsel

Diplomite saamise aktusel TPI-s 1967. a. algul kohtusin dots. **Ustus Aguriga**, kes haaras mul nööbist ja ütles, et tahaks mind dots. **Sillamaa** soovitusel saata Moskvasse sihtaspirantuuri. Perspektiivina mainis ta, et pärast aspirantuuri ootaks mind õppejõu koht TPI-s äsja loodud informatsioonitehnika kateedris, mida ta juhatas. See oli mõtlemise koht.

Mulle meeldis inseneritöö, olin juba piisavalt omandanud vajalikke oskusi, nii et võisin end tunda insenerina kui kodus. Loominguline projekteerimistöö pakkus naudingut. Ometigi häiris mind midagi, mille tähendust ma ei osanud endale hästi seletada. Kõige põneva kõrval olin hakanud oma töös märkama ka teatavat rutiini. Oleksin tahtnud justkui midagi rohkemat. Enam seiklust, väljakutseid. Alateadvuses ihkasin ka suuremat vabadust ja sõltumatust.

Oli veel üks huvitav tähelepanek. Esimesed töökogemused olid minul kui noorel inseneril „nina püsti" ajanud: leidsin, et paljusid asju oskaksin õpetada ülikoolis paremini kui mu endised õpetajad. Õige ruttu aga hakkasin mõistma hoopis seda, kui väär oli mu selline mõtlemine. Olin saanud tegelikult väga hea ülikooliharidusе, mis ei andnud küll täpselt just neid oskusi, mida vajasin tööl, aga see puudujääk taandus juba iseenesest töö käigus kiiresti. Haridus, mille olin saanud ülikoolist, andis mulle abstraktse analüüsivõime näol teatava eelise kolleegide kõrval laboris. Mina mõtlesin pisut teistmoodi kui nemad, mis andis mulle võimaluse olla mõnikord originaalsem ja uuendusmeelsem.

Sellise omaenda kogemuse tõttu ei jaga ma ka tänaseid etteheiteid meie ülikooliharidusele, et see olevat liiga akadeemiline ja elukauge. Elutarkus ei peagi tulema ülikoolist, vaid kujuneb hilisemas elus. Ja konkreetsed praktilised oskused tulevad kiiresti, kui tugev akadeemilise hariduse põhi on all.

Aga see esialgne „ninakus" kritiseerides ülikoolist saadud haridust, oli märge sellest, et ideaalne oleks siiski olukord, kus õppejõud valdaks mõlemat hariduse külge – nii teooriat kui praktikat, ehk valdaks õpetamiseks vajalike teadmiste juures ka praktilisi töökogemusi.

Selliselt mõtisklenuna võtsin ettepaneku vastu sõita kolmeks aastaks Moskvasse sihtaspirantuuri. Aspirantuuri koha valik aga seondus koomilise puändiga.

Vajades oma äsja asutatud Informatsioonitehnika kateedrisse informaatika asjatundjat ja otsides sobivat ülikooli, kuhu tulevast kolleegi õppima suunata, oli **Ustus Aguril** jäänud silm peatuma Informatsioonisüsteemide kateedril P7 Moskva Baumani nim. Tehnikaülikoolis – MVTU. Moskva Riikliku Ülikooli kõrval loeti MVTU-d tähtsuselt teiseks ülikooliks N Liidus. Puänt oli aga selles, et kateedri P7 nimes oli küll kasutatud sõna informatsioon, aga informatsioonisüsteemidena käsitleti siin lennukeid, rakette, kosmoselaevu, kuukulgureid, kuid mitte raamatupidamissüsteeme. Arvuteid uuriti hoopis prof. **Anissimovi** kateedris P6. Ja prof. **Tolstoussovi** kateedris P7 ei olnud mul absoluutselt ka oma ülikooliharidusest kasu, sest *automaatikat ja telemehaanikat* õpetati hoopis prof. **Solodovnikovi** kateedris P1. Kui läksin oma esimesele kateedri seminarile ja sattusin kuulama ühe aspirandi ettekannet, kus jutt käis kosmoselaevade navigeerimisest tähtede järgi, millest ma midagi ei mõistnud, siis sain ikka paraja šoki küll. Asusin täiesti vales kohas. Kuid pikapeale kohanesin ja tunnetasin, et elektroonika on ühesugune nii arvutites kui rakettides. Sisuliselt oli MVTU näol tegemist sõjatööstusele orienteeritud õppeasutusega. Teadus oli siin väga tugeval tasemel ja nõuded õppetöös olid väga kõrged, diplomitööde maht oli mitmekordne, võrreldes TPI-ga Eestis. 60-ndad oli veel see aeg, kus N Liit oli tehnikavaldkonnas võrdne USA-ga.

Mu juhendajaks Moskvas oli dotsent **Vladimir Petrovitš Maslennikov**, kahekordne meistersportlane ujumises ja alpinismis. Sporditeemal oli meil palju ühist rääkida. Teadusega ei tegelenud ta aga peaaegu üldse. Seega juhendamist sealt poolt ei tulnud. Mõnes mõttes oli see halb – olin jäetud üksinda. Teiselt poolt aga hea, olin vaba oma uuringutes ega sõltunud kellestki. Kuid mida siis uurida? Esialgu ei osanud ma oma vabadusega midagi peale hakata. Ma isegi ei teadnud, mida nimetatakse teaduseks ... Elu hakkas mind ise õpetama ja Baumanist kujunes mu iseseisvuse kool.

Mu teemaks Moskvas sai kosmoselaeva Venera elektrisüsteemide testimine. Stipendium oli 100 rubla kuus, tööl olin saanud 125, mis tähendas tagasiminekut. Aga siis vormistati mind poole kohaga nooremteaduriks uuele lepingule Lavotškini raketi- ja lennukitehasega, millega lisandus veel 42 rubla. Et „oma rida" üles leida, tuli töötada pikki päevi, kus nägin vaid oma töölaudu ülikooli, Lavotshkini tehases ja „Leninka" raamatukogus, aga mitte Moskvat ennast.

Mida tähendab teadus, ei mõistnud ma täpselt veel mõnda aega, sest mu ülesanded olid väga praktilised. Alles ühel päeval, kui mul ootamatult välgatas peas idee, kuidas õnnestuks efektiivsemalt ühte oma probleemi lahendada kui seda oli seni osatud, hakkas mulle aeglaselt selgeks saama, mida tähendab falsifitseerimine ja selle kaudu ka see, mida tähendab teadustulemus. Projektid, joonised ja arvutused, mida tehases uurisin, olid liiga konkreetsed ja detailirohkusesse võis ära uppuda. Vajasin abstraktsemat keelt oma uurimisobjekti kirjeldamiseks, et mõista paremini probleemide olemust. Vajasin matemaatilist mudelit. Panin oma uuele mudelile nimeks „Venera imitaator". Sõna „mudel" oli tehase seltskonnale võõras, aga „imitaator" oli neile tuttav termin. Oma mudelipõhist katsestendi hakkasin ehitama ülikooli laboris, kus mu senise elektroonikainseneri kogemused kulusid nüüd marjaks ära. Mu oskusi märgati ja tunnustati. Makett, mille minireleedest ja mini-elektrimootoritest valmis ehitasin, läks hiljem ka õppelabori kasutusse.

Kogu töö olin üksinda teinud, leping tõi kateedrile 200 tuhat rubla, mina olin viie kuu eest saanud 210 rubla. Tõsi, hiljem sain ka kuukulguri projektis osalemise eest veel ka preemiaks 80 rubla. Aga väitekirja teemat polnud mul ikka veel.

Meie rühmaga oli ühinenud veel üks aspirant, **Sergei Paškovski** Dnepropetrovskist, minust märksa vanem ja väga enesekindel isiksus. Sergei oli saanud hea insenerikooli Jangeli raketitehastes Ukrainas. Tema tuli Baumanisse juba konkreetse teemaga, mis käsitles rakettide katsetamise optimeerimist. Olime Sergeiga täiesti erinevad natuurid. Kui mulle formuleeriti ülesannet, siis kuulasin ja noogutasin, küsides harva, kui midagi arusaamatuks jäi. Häbenesin oma rumalust ja lootsin, et arusaamatud asjad selguvad hiljem. See oli loomulikult täiesti vale taktika. Mõistsin seda, kui jälgisin Paškovskit. Too küsis igal sammul kõike, esitades ka rumalaid küsimusi, vaidles vastu ja niiviisi õnnestus tal vahel näidata ka seda, et juba probleemi formuleering oli vale. Paškovski oli konkreetne ja dialoogipartnerit ründav, mina olin tolerantne ja partnerit austav. Andestasin näiteks vastaspoole tühiseid ebatäpsusi, lugesin neid mitteolulisteks näpuvigadeks ja nendele tähelepanu juhtimist ajaraiskamiseks. Paškovski ei teinud nii. Igast kolleegi ebatäpsusest tegi ta enda jaoks „peo", mis aitas tal iseennast ülendada ja vastaspoolt vähendada, mis aga ei viinud tihtilugu kuhugi edasi.

Kuid edasi jõudmiseks peab olema iseloomu ja enesekindlust. Selles hiiglasuures paksude seinte ja keerulise koridoride süsteemiga tsaariaegses Baumani nim. Tehnikaülikoolis tundsin ennast kaua ebakindlana. Aegamisi lihvisid aga töö ja püsivus mu krobelisuse, kasvatasid paksema naha ja teadmised tõid kaasa enesekindluse.

Paškovskilt õppisin enda jaoks seda, kuidas edasi olla. Uurisin talt:

„Kes sulle teema andis?"

„Ise andsin," kostis ta. „Lugesin artikleid. Olin kriitiline selle suhtes, mida lugesin. Hakkasin paremaid variante ise välja mõtlema ja arendama. Kuni sai selgeks, mis on veel tegemata ja mida tuleks teha. Nii saingi teema."

Just sellesama taktika võtsin ka mina nüüd appi. Mu „koduks" sai nüüdsest Lavotškini tehase asemel Leninka – NL-i kõige suurem raamatukogu, mis asus kesklinnas Kremli külje all. Hakkasin uurima kõige uuemaid ajakirju selles valdkonnas, mis puudutas mu tööd. Lugedes tekkis uusi mõtteid ja varsti hakkas idanema ka mu esimene omaenda testide optimeerimise idee. Eksperimentideks sain kasutada Venera elektrisüsteemide matemaatiliste

mudelite simulatsioone. Mudeleid konstrueerisin Lavotškinis töötades, simulatsioone aga hakkasin läbi viima vahepeal jõudsalt arenevas TPI arvutuskeskuses Tallinnas.

Olen oma õppejõu töös jõudnud arusaamisele, et õpihuvi teoreetiliste probleemide vastu tekib tudengitel paremini siis, kui neil on juba olemas mingi praktiline kogemus või mingi muu analoogia äratundmise võimalus õpitava suhtes, mis käivitaks aktiivset mõtlemist ja kriitilist analüüsi. Nii muutus ka minul nüüd kuivade teadusartiklite lugemine seiklusrikkaks tegevuseks, kus hakkasin oma abstraktsetele algoritmidele leidma sarnasusi teistest valdkondadest. Näiteks avastasin, et tehniliste rikete diagnoos on see sama probleem, millega tegelevad arstid, kui diagnoosivad haigusi inimestel.

Kord käis mul Moskvas külas ka **Ustus Agur.** Vaatas imestunult mu raamatukogu, mille olin juba soetada jõudnud – puha teaduslik kirjandus. „Millal te kavatsete need ükskord kõik läbi lugeda?“ küsis ta.

Pikk lahusolek kodust ja abikaasast tekitas mõnikord üksildustunde. Selle tunde leevendamiseks sai tihti kasutatud telefoni. Skype'i tookord polnud ja kaugekõned olid väga kallid – 15 kopikalised kukkusid kõlks ja kõlks. Metroopilet aga maksis näiteks ainult 5 kopikat. Leiutasin meetodi, kuidas tasuta kaugekõnesid pidada. Selleks tuli kasutada nii kuulamiseks kui rääkimiseks ainult kuuldetoru. Mikrofoni jätsin mängust välja, sest just see maksis. Nii tõstsingi kõne ajal kuuldetoru kord suu juurde, kord kõrva äärde. Ükskord jälgis keegi, kes oma järjekorda telefoniputka juures ootas, seda tegevust huviga läbi klaasukse. Kui kapist välja astusin, kostis mees kavalalt: „Interesnaja himija!“

Mu teine talv Moskvas osutus veelgi produktiivsemaks, töötasin välja uusi meetodeid kosmoselaevade testide optimeerimiseks. Suveks tulin Tallinna. Õppisin ajakirjas „Horisont“ samal suvel järjejutuna avaldatud **Leo Võhandu** programmeerimise kursuse abil selgeks keele MALGOL kasutamise ja programmeerisin ära kõik oma Moskvas loodud algoritmid ning viisin suve jooksul läbi ka vajalikud arvutieksperimendid TPI-s.

Tol ajal tuli programme perforeerida telegraafilintidele, jätta ööseks perfolint operaatorile, kes hommikuks lasi programmi läbi arvutist Minsk-2. Et aega kokku hoida ja tülikat „arvutis käimiste kordi“ vähendada, üritasin programme kirjutada veatult. Täna nii ei tehta, vigade parandamine käib dialoogis arvutiga. Perforeerisime oma programme mõnikord koos **Veikko Siimariga**, hilisema TTÜ õppejõuga, kes oli olnud Rooma olümpiafinalist ujumises. Ka tema ei tegelenud enam spordiga. Veikko juhindus deviisist: „Mida aasta edasi, seda väiksemaks muutuvad šansid spordis, aga kasvavad teaduses…“

Ligipääs arvutile oli Tallinnas palju paremini organiseeritud kui Moskvas, Eesti oli juba 60-ndatel e-riik.

Mu väitekirja sisuks sai komplekssete tehniliste süsteemide testide süntees ja optimeerimine. Olin rakendanud tol ajal uudset „harude ja piiride“ matemaatilist meetodit ning välja töötanud mitmeid uusi algoritme ja arendusi, neid võrrelnud ja eksperimente läbi viinud oma Venera imitaatori peal.

Aspirantuuri viimase, kolmanda aasta algul tegin kateedris eelkaitsmise. Hulk tulemusi oli juba olemas, aga enne töö kokkukirjutamist oli otstarbekas testida oma tulemuste kõlbulikkust kaitsmiseks. Ettekanne võeti hästi vastu ja päriskaitsmine planeeriti järgmise aasta alguseks. Küsimusi oli muidugi palju. Aga kõiki imponeeris see, et mu lähenemisviis oli algoritmiline, et olin kõik oma meetodid ka ise ära programmeerinud ja ka reaalse seadme, millel eksperimente teha, ise valmis ehitanud. Programmeerimist simulatsioo-

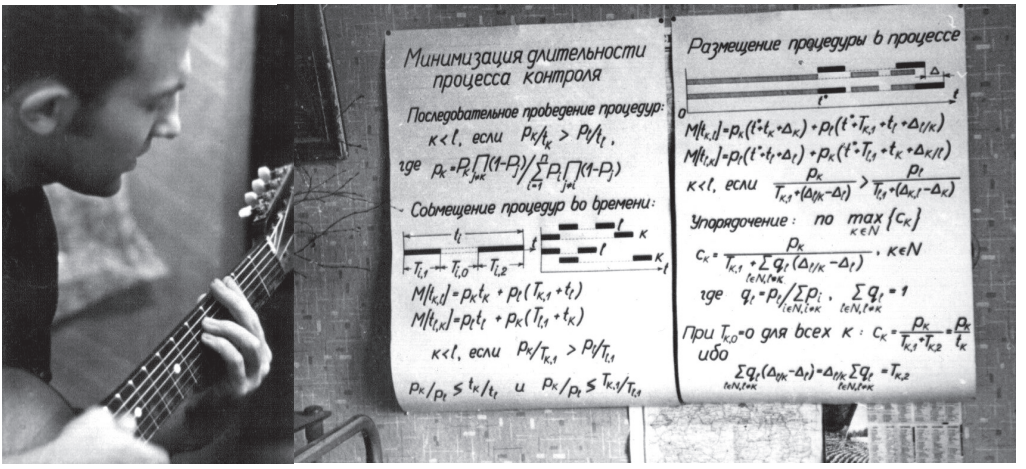
nide läbiviimiseks kasutada oli kateedris uudne, enamasti kasutati traditsioonilist matemaatikat ja uurimistöö tulemusteks olid üha keerulisemaks muutuvad valemid. Professoreid imponeerisid mu praktilised tulemused – uuritava objekti imitaatori aparatuur, mis modelleeris testprotsesse reaalses elektromehhaanilises süsteemis ja tarkvara arvutile, mis optimeeris neid protsesse. Nii aparatuur laual kui ka tarkvara arvutis töötasid.

Baumani nim. Tehnikaülikooli meetripaksuste seinte taga tegid oma uurimistööd teadlased, kes olid ühtaegu ka insenerid. See ongi tehnikateadlase omapära: ta peab istuma korraga kahel toolil.

Üksnes valemite seadmisest paberile on vähe, nende katteks peab midagi ka valmis ehitama. Võib-olla sellepärast ei oldagi rahul meie tänaste ülikoolilõpetanutega, et nad suudavad suuga rohkem kui teha kätega. Üks professoritest väljendas väga selgesti oma suhtumist tehnikateadustesse: „Mina annaksin tehnikateaduste kraadi üksnes niisuguse uuenduse eest, mida kinnitab ka töötav aparaat laual."

Dissertatsiooni trükkisin valmis ühiselamus. Seejärel viisin masinkirja ülikooli salajasse eriosakonda, kus lisasin veel ühe sealsamas kohapeal trükitud lehekülje, millele ilmus kogu töö ainus (!) „salajane" sõna – „Venera". Pärast seda muutus salajaseks kogu väitekiri, mida ma kunagi enam ei tohtinud näha väljaspool seda eriosakonda.

Teaduskonna suur kaitsmisnõukogu koosnes 21 professorist. Kaitsmisprotseduur polnud Baumanis sugugi formaalsus nagu enamasti mujal. Kandidaadikraadide puhul põrus läbi umbes viiendik kaitsjatest, doktorikraadide puhul sai läbi vaid kolmandik. Kaitsmine oli mõnikord seotud poliitikaga. Mõjuvaks faktoriks võis saada näiteks dissertandi juhendaja renomee või kateedrijuhataja „tähtede seis" teaduskonnas. Ka täiesti „tundmatu" oponendiga kaitsmisele minna oli riskantne. Kateedrid hoidsid väga oma reputatsiooni ja suure kaitsmisnõukogu ette pääsemiseks olid eeltingimusteks edukas proovikaitsmine



Ühiselamus mängis iga teine aspirant kitarri, mis oli heaks vahelduseks uute valemite produtseerimisel

kateedris ja õnnestunud väitlused eelnevalt oponentide juhitavates laborites.

Mäletan, kuidas mu ühele Kasahstanist pärit ühiselamukaaslasele, kelle väitekiri polnud just väga tugev, öeldi viisakalt: „Kuulge, teil on ju ka kodus oma ülikooli nõukogu, kaitske seal, meie aga anname teile kaasa soovituskirja…". Nii käituti, kui kateedri reputatsioon võis ohtu sattuda.

Suhtusin kaitsmise ettevalmistusse väga tõsiselt. Kuna mu vene keel ikkagi väga sorav ei olnud, siis õppisin ma ettekande pähe. Tegin jalutades kolme tunniga täisringi mööda Sadovojet ja kõne oligi peas. Siis tuli üllatus. Kaitsmiste päev tõsteti ootamatult nädala võrra ettepoole. Sellega ma polnud arvestanud ja nüüd läks plakatite joonistamisega kiireks. Baumanis oli kaitsmistel kombeks riputada seinale 12 kuni 20 suurt A1 formaadis plakatit, Powerpoint'i siis ju ei tuntud. Ühe plakati joonistamiseks kulus aga vähemalt pool päeva. Nii tuligi kaks ööd ja kolm päeva ehk 60 tundi järjest üleval olla. Mängisin kaks ööd järjest grammofonil Beethoveni sonaate ja joonistasin. Noorele inimesele pole kaks magamata ööd mingi probleem.

Aspirantide diskussiooniõhtu Moskva Izmailovskaja ühiselamus (1969)

Kateedrit, mille juures kirjutasin oma väitekirja, juhatas **Georgi Nikolajevitš Tolstoussov**, kes oli omaette legendaarne isiksus. Teadusmaailmas teda nii väga ei tuntud, sest tema suhteliselt vähesed publikatsioonid olid kõik salajased. Ta oli olnud ühe ülitähtsa lennuki- ja raketitehase peakonstruktor. Sealt oli pärit tema kõrge autoriteet ja tunnustus. Ka nüüd kateedrijuhatajana kuulus ta paljude asutuste nõukogudesse ja kateedris veetis ta harilikult vaid kaks tundi nädalas, teisipäeviti kella ühest kolmeni. Mul oligi temaga vaid kaks kontakti kogu aspirantuuri ajal: esimene kord pöördusin ta poole palvega leida mulle põhioponent, teine kord andis ta mulle oponendi telefoninumbri. Oli veel ka kolmas kontakt. Kui mu kaitsmine oli lõppenud, läksin Georgi Nikolajevitši juurde, tänasin teda võimaluse eest kolm aastat tema kateedris töötada ja palusin teda õhtul restoranis „Arbat" toimuvale õhtusöögile. Selle peale ütles hallipäine majesteetlik professor:

„Teate, Raimund Raimundovitš. Luban kindlasti tulla teie peole, kui saate ükskord akadeemikuks."

Kahjuks jättis professor oma lubaduse täitmata. Selleks hetkeks, kui tõesti akadeemikuks sain, oli Tolstoussov meie hulgast juba lahkunud.

Pärast kaitsmist 1971. jaanuaris tehti mulle ettepanek jääda Moskvasse tööle. Loomulikult pöördusin tagasi koju – olin ju ülikooli poolt saadetud sihtaspirant.

Noore õppejõuna tagasi koduülikoolis

Kohe järgmisel päeval, kui saabusin Moskvast koju, tulin ülikooli end tööle vormistama. Kateedrijuhataja kabinet oli lukus. Astusin õppejõudude tuppa. Keegi akna all seisev mees pööras pilgu minu suunas.

„Tere, kust Agurit võiks leida?" küsisin.

„Dotsent Agurit," parandas mind vanemõpetaja **Rein Võrk**.

Punastasin. Eks muidugi oleksin pidanud viisakamalt küsima. Aga Rein arvas mind tegelikult tudengiks ja just sellepärast tegi märkuse. Eks ma välimuselt nägingi sel ajal rohkem tudengi moodi välja.

Minu kateedrisse tulles toimus õpetamine kolmes suunas: üldelektrotehnika, infotöötlus ja arvutid. Töö algas ülisuure koormusega. Tulin just semestri alguseks ja sain kaela

hulga erinevaid loenguid, harjutusi ja praktikume. Hakkasin lugema *digitaalelektroonikat, analoogelektroonikat, arvutustehnikat* ja *programmeerimist*. Pidin veel *elektrimootorite* laboreid juhendama, mis kuulus üldelektrotehnika valdkonda. Auditoorset õppetööd oli nädalas 24 tundi, ettekujutamatu tänaste normkoormuste juures. Kuna pidasin loenguid esmakordselt, tuli neid ka päris nullist ette valmistada ja see võttis omakorda palju aega.

Hiljem, kui loengud juba rutiinseks muutusid, harjusin suure koormusega. Tunniplaani vaadates olin rõõmus, kui ühele päevale sattus korraga tervelt kaheksa (!) tundi loenguid üksteise järel. See oli tore, sest nii sain korraga hulga nädalakoormust kaelast. Kord, sellisel pikal päeval, pärast teist loengut pausi pidades, juhtus õppejõudude ruumi astuma üks pensioniealine professor ja vajus väsinult toolile. Ta oli just lõpetanud loengu, aga järgmine seisis veel ees.

„Päris tegu kohe pidada kahte loengut järjest," ütles professor ohates.

Tookord ei saanud ma tema ohkest aru, nüüd on palju aastaid möödunud ja nüüd olen ka mina päris läbi, kui pikk ja tihe loeng on selja taha jäänud.

Kateedrirahvaga suusatamas. Vasakult Eda Nurk (2), Harri Mägi (4), Tõnis Toome (5)

Minu ametikohaks oli algul assistent, sügisest olin juba vanemõpetaja. Kuna kraadiga vanemõpetaja palk 250 rubla ei erinenud üldse dotsendi palgast, siis karjääriredelil kõrgemale liikumine mind isegi ei huvitanud. Dotsendiks „tehti mind" alles 1978. aastal. Palk küll ei tõusnud, aga sain ilusa diplomi VAK-ist ehk Moskvas asuvast Kõrgemast Atesteerimise Nõukogust.

Kateedri õppejõudude hulgast oli esialgu kõige lähemal kateedri profileeritavale erialale dots. **Harri Mägi**, kes oli olnud otseselt seotud ka kogu arvutiajastu algusega Eestis. Tema oli see, kes koos **Arnold Reitsakase**, **Mark Sinisoo** ja **Henn Salumiga** ehitasid raadiotehases Punane Ret 1960. aastal esimese arvuti Eestis – M-3. TPI sai esimese arvuti Minsk-22, millel minagi aspirantuuri ajal oma algoritme programmeerisin, alles 1967. aastal. Sama aasta lõpuks töötas Eestis üldse vaid umbes kümmekond arvutit.

1969. aastal oli kogu NL-i arvutipargi võimsus 35 korda väiksem kui USA oma. Võib arvata, et just sellega algaski NL-i allakäik ja tehnoloogilise arengu mahajäämus tervikuna, võrreldes USA-ga. Sest alles 60-ndate keskpaiku, kui töötasin TKBRE-s, peeti meie analoogelektroonika taset veel samaväärseks sellega, mis oli mujal maailmas.

Harri Mägi läbis sihtaspirantuuri ja kaitses 1971. a. kandidaadikraadi digitaalarvutite alal Leningradi Elektrotehnika Instituudis (LETI) arvutitehnika kateedris, mida juhtis prof. **Vladimir Smolov**, ja täiendas oma teadmisi digitaalarvutite teooria alal 1973. a. Leningradi Täppismehaanika ja Optika Instituudi (LITMO) prof. **Sergei Maiorovi** juhitavas arvutustehnika kateedris. Need kaks kateedrit töötasid tol ajal käsikäes, moodustades nn. Leningradi arvutiteaduse koolkonna. Leningradi koolkond ja **Boriss Anissimovi** oma Moskvas, kellega ka mina aspirantuuri ajal kokku puutusin, olid omavahel suured konkurendid nii teaduses kui ka õppemetoodika dirigeerimisel. Niiviisi hakkas Harri Mägi esindama meil arvutite õpetamise alal Leningradi koolkonda, mina seevastu Moskva koolkonda, mis aga sugugi ei tähendanud meie jaoks konkurentsi, vaid hoopiski sünergiat.

Koos minuga saabus Leningradi sihtaspirantuurist **Kalle Talvik**, kes hakkas spetsiaalarvuteid õpetama. Kraadi polnud Kalle jõudnud veel kaitsta ja ka edaspidi ei teinud ta seda ära. Ärgitasime küll pidevalt, kuid Kalle ei võtnud vedu. Hiljem läks ta meilt hoopis ära tööstusse inseneriks. Kallest oli kahju, ta oli väga hea kolleeg, aktiivne labori arendamisel ja tudengid armastasid teda. Käisime temaga mitmel korral süstamatkadel.

TPI meeskoor aitas sisustada vaba aega. Tervitatakse külaliskoori, Raimund mustade prillidega keskel.

Toomas Plaks töötas ligemale 20 aastat kateedri juures nii teadurina kui vanemõpetajana, kuid siirdus seejärel välismaale, kaitses oma doktoritöö Chalmesi Ülikoolis Rootsis ja on teinud seejärel tähelepanuväärset rahvusvahelist karjääri teaduses, olles töötanud Rootsis, Inglismaal, Saksamaal, Prantsusmaal ja Austraalias ning teinud väga aktiivset organisatoorset tööd rahvusvaheliste konverentside ja sümpoosionite korraldamisel ning juhtimisel. Praegu töötab ja elab Toomas Plaks Londonis.

Kateedri raudvaraks aastatel 1972-2010 oli kuni pensionile siirdumiseni **Ksenja Grigorjeva**, olles väga nõudlik ja kohusetundlik õppejõud. Suure panuse kateedri teadustöö arendamisel, eriti oma tulemuslikkusega koostöös Küberneetika Instituudiga, andis aastatel 1971-1984 **Agu Viilup**, keda iseloomustas väga suur põhjalikkus, iseseisvus probleemide püstitamisel ja eesmärgikindlus ning püsivus. **Mihkel Maran** töötas kateedri juures aastatel 1971-1977 insenerina ja vanemõpetajana. Oma aspirantuuri sooritas ta Moskva Energeetika Instituudi juures, kuhu siirdus hiljem ka tööle ja Venemaale elama ta ka jäi.

TPI-s ei olnud tol ajal väga levinud lepinguline uurimistöö tööstuse jaoks. Moskvas oli see täiesti tavaline, õppejõudude palk koosneski seal reeglina kahest osast: põhipalgast ja lepingutasust, kusjuures viimase ülemiseks piiriks oli pool põhipalka. Kui lepingut tööstusega ei olnud, tähendas see kateedrile katastroofi.

Nüüd Eestisse tulles püüdsin ka meil aktiveerida sellist palga tõstmise võimalust. Esimese lepingu sõlmisime **Ustus Aguri** eestvõttel trikotaažitootmiskoondisega „Marat“, kus eesmärgiks oli tootmisandmete kogumis- ja töötlusseadmete ning infosüsteemi väljatöötamine. Olles Moskvas optimeerimisülesannete lahendamisel kogemusi saanud, püüdsin neid nüüd selle lepingu raames rakendada „Marati“ laomajandussüsteemi optimeerimiseks. Õige pea aga veendusin, et nõukogude majandus on selline, kus optimeerimist ei vajata, veel enam, see läheb valitseva sotsialistliku eetikaga isegi vastuollu.

Kui Eestisse tulin, polnud mul õiget seisukohta, millist teadustööd hakata edasi tegema. Eestis kosmoselaevu ja lennukitööstust polnud, seega puudusid siin Moskvas õpitud oskuste otseseks kasutamiseks võimalused. Aga oli algamas uus aeg – arvutite ajastu – kus niisugune uurimistöö valdkond nagu tehniline diagnostika (tehniliste süsteemide testimine ja rikete diagnostika) hakkas väga kiiresti arenema. Ja kuna ka Eestis oli alustatud arvutite ehitamise ja valmistamisega, siis ei olnud raske otsustada, millega hakata edaspidi tegelema.

Järgnevatel aastatel sai elektronarvutite kateedri üheks oluliseks uurimistöö valdkonnaks arvutite diagnostika ja kateedri tööstuslikuks koostööpartneriks TA Küberneetika Instituudi Erikonstrueerimisbüroo.

Saksa DV-st tarkust juurde saamas

Endise Nõukogude Liidu ülikoolides oli tavaks, et kandidaadikraadi saanud noortel õppejõududel oli lubatud pärast väitekirja kaitsmist aastaks kuhugi välismaale stažeerima minna. See oli midagi analoogilist sellele, mis praegu on postdoktorantuur. Ühtegi lääneriiki polnud mul juba seetõttu asja, et ma polnud parteis. Nii öeldi mulle otse ja ausalt välja ülikoolis. Rahvademokraatia riigid ehk nn sotsmaad võisid aga kõne alla tulla küll.

Valisin oma stažeerimiskohas Dresdeni Tehnikaülikooli Saksamaal. Elasin 10 kuud ülikooli 16-korruselise ühiselamu kõige ülemisel korrusel fantastilise vaatega Saksimaa Šveitsi mägedele. Mu toanaabriks oli läti geograaf **Janis Štrauhmanis**. Meid oli selles rühmas, kellega koos Moskvast tulime, kümme. Peale meie Janisega olid kõik teised venelased. Oskasime Janisega mõlemad õige pisut saksa keelt. Ka teised meie rühmast pidid oskama, sest see oli ju üheks formaalseks nõudeks üldse Saksamaale stažeerima pääseda. Aga tegelikult oli venelaste saksa keele oskus olematu. Mõni sellest grupist ei vaevunud isegi nüüd saksa keelt õppima, sest üldiselt oskasid paljud Ida-Saksa õppejõud ka ise päris hästi vene keelt.

Kasutasin keeleõppeks vana äraproovitud tarkust, mida ka soome keele puhul olin kunagi teinud: kõige parem oleks alati mõni raamat läbi lugeda. Aleksis Kivi „Seitsme venna“ asemel võtsin seekord kätte **Dietmar Reinerti** veel kaitsmata doktoritöö, mis oli pühendatud arvutite diagnostikale, seega täpselt minu valdkonnale. Reinerti töö andis mulle retsenseerimiseks kateedrijuhataja prof. **Walter Cimander**, kes oli ise Reinerti oponendiks.

Dietmariga saime hiljem headeks sõpradeks. Ta oli erudeeritud, intelligentne, tagasihoidlik, töötas Robotronis, Ida-Saksa kuulsas arvutifirmas. Põhjalikku praktilise elu ja inseneritöö tundmist kajastas ka tema väitekiri, mida mul oli seetõttu väga kasulik lugeda. Hiljem siirdus Dietmar tööstusest ülikooli, sai Saksamaal tuntud teadlaseks ja avaldas kaks raamatut. Kohtusime temaga pärastpoole nii mõnelgi konverentsil. Dietmar suri hiljuti infarkti, olles veel eelmisel päeval jalgsi kõrgele mäkke roninud ja hiljem külapeol hoogsalt oma abikaasaga kirmespolkat tantsinud.

Professor **Cimander** oli Saksa kommunistliku partei ehk SED liige. Ida-Saksamaal oli viis parteid. Aga vaid kommunistlik partei oli tunnustatud ja omas kaalu. Teised parteid olid justkui mingid klubid. Kuuludes aga juba mingisse teise parteisse, ei saanud keegi sind enam sundida astuma näiteks SED-sse. Seda võimalust kasutasid mitmed juhtivatel kohtadel asuvad ida-sakslased, kes püüdsid vältida punaparteid. Cimander olevat olnud sidemetes ka STAS-iga. Seda ma tookord ei teadnud. Aga eks seda võis ju arvata, Cimander käis sageli Läänes, kuhu tavalisel ida-sakslasel polnud asja. Muidu oli professor intelligentne, tore ja lõbus mees. Jagasime kord temaga ühel konverentsil muinasjutulises Wartburgi lossis sama hotellituba. Cimander hoiatas eelnevalt: „Kas te Sägewerk'is olete varem maganud?“[3]

Sellel Saksa DV Teaduste Akadeemia väljasõiduistungil looduskaunis Wartburgis esinesin ka mina ettekandega. Arvasin pärast kahte kuud Saksamaal viibimist oma saksa

[3] Sägewerk – (saeveski saksa k.) tähendavat sakslaste žargoonis norskamist.

keele oskuse juba küllaldase olevat ning pealegi olin selleks ajaks ka oma uurimistöös saanud juba tulemusi, mida oli kange tahtmine proovile panna. Konverentsil käsitleti küsimusi, mida kujutab endast „raalimeditsiin“, kuidas on võimalik ühe arvuti (raali) abil avastada „haigusi“ teises arvutis, kuidas neid haigusi diagnoosida ning kuidas „ravimiretsepte“ saada. Arvutite puhul on võimalik meditsiiniprobleemi seada ka põhimõttel „haige, aita end ise!“ Et kõike seda suhtlemist masinate vahel korraldada, tuleb suur töö ära teha diagnostikainseneridel ja -teadlastel. Nende töö keerukust on lihtsam hinnata sel moel, kui mõista, et nad tegelikult lahendavad küsimusi, kuidas programmeerida mittetöötavat arvutit.

Doktoriks promoveerimine Dresdeni Tehnikaülikoolis Saksa DV-s (1975)

Õppisin konverentsil, kuidas läbi viia interdistsiplinaarseid ajurünnakuid. Arutelu kestis kolm päeva. Ägedas diskussioonis kulus vähemalt pool päeva ainuüksi sisulise töö „ettevalmistavale osale“ – terminoloogia, põhimõistete, teaduse taseme ja probleemide koordinaadistiku määramisele. Ning alles siis algasid „sisulised“ ettekanded. Loomulikult pidi iga esineja nüüd oma esitluse loodud raamistikku asetama, selle koordinaatidest kinni pidama ning kasutama kokkulepitud mõisteid ja suhteid, mis kõik kokku aitas kõigil kuulajatel esineja mõtet ja ideed paremini mõista. Nõndaviisi ei jäänud ka võimalust üksteisest mööda rääkimiseks.

Mu ettekanne tekitas huvi, sündis ridamisi küllakutseid paljudesse Saksa DV ülikoolidesse Ilmenaus, Magdeburgis, Leipzigis, Rostockis, Berliinis ja Wismaris. Edaspidise töö iseloomu sellel 10-kuulisel visiidil Saksamaale ja ka järgnevatel aastatel hiljem määras suures osas see väike etteaste. Järgneva pika-aegse koostöö raames professorite **Werner Liebichi** ja **Harald Killenbergiga** viisin iga paari aasta tagant läbi oma loengukursusi Ilmenau Tehnikaülikoolis ja mujal. Konverentsil loodud kontaktidest said alguse ka mu hilisemad semestri-pikkused külalisdotsentuur 1983. aastal Wismari Inseneride Kõrgkoolis ja 1988. aastal Barkhauseni külalisprofessuur Dresdeni Tehnikaülikoolis.

Sellel konverentsil tutvusin **Rainer Jork**'iga, kes oli Dresdenis laborijuhatajaks pneumaatilisi juhtimissüsteeme valmistavas tehases Dreloba. Rainer kuulus nende sakslaste hulka, kes püüdsid vältida punaseks värbamist ja oli seetõttu astunud kristliku partei liikmeks. Karjääri tal aga insenerina teha ei õnnestunud. Üheks põhjuseks oli ka see, et ta vend elas Läänes. Raineril oli suur raamatukogu, kust ma leidsin **Norbert Wieneri**[4] ainsa ilukirjandusliku romaani „Die Verführung“ saksakeelse tõlke, mille mõne päevaga alla neelasin. Jorkide kodus oli suur tiibklaver, millel Rainer mõnikord noodist musitseeris. Teiseks harjumuseks oli tal kuulata plaadilt klassikalist muusikat, jälgides samaaegselt noodiraamatust partituuri. Hiljem pidi Rainer poliitiliste intriigide tõttu inseneritegevuse laborijuhatajana lõpetama. Uue missiooni leidis ta kolledži õppejõuna. Pärast Wende't[5] toimusid tema elus

[4] Norbert Wienerit loetakse küberneetika isaks.
[5] 1989. aasta „pööre“ Saksamaal.

suured muutused, ta valiti kaheks perioodiks Bundestag'i ja Rainerist sai suur poliitik.

Varemalt olime teineteist samuti koos peredega külastanud ja elanud teineteise kodudes. Ka tema Bundestag'i perioodil olin sageli tema külaline. Olin sel ajal ise Eesti Teadusfondi juhina pisut poliitikas sees ja meil oli palju ühiseid teemasid. Seda enam, et Rainer oli ühel perioodil Bundestag'i hariduskomisjoni juht. Selle komisjoniga käis ta korra Tallinnas, et koostööd arendada, aga meie Haridusministeerium polnud hiljem piisavalt aktiivne. Olin sellel külaskäigul Saksa delegatsiooni saatjaks. Veel praegugi kannan vahel särgi peal delegatsiooni kingitud tumesinist lipsu Bundestag'i embleemiga.

Sellel stažeerimisel Dresdenis pidime kõik korra kuus sõitma oma kulul Dresdenist Karl-Marx-Stadti Nõukogude konsulaati, näitamaks, et „oleme ikka olemas" (ja ei ole veel Läände põgenenud). Pidime aru andma, millega tegeleme. Olin konsulaadis millegipärast halvas nimekirjas. Hiljem sain teada, et keegi meie rühmast oli ette kandnud, et **Ubar** ja **Štrauhmanis** ei suhtlevat oma nõukogude kolleegidega ja teevad seda üksnes sakslastega, ega räägi omavahel isegi enam vene keeles.

Karl-Marx-Stadti linna nimeks oli varemalt olnud (ja nüüd on jällegi) Chemnitz. Kord saatsin sealt teele ühe õnnitlustelegrammi. Nalja mõttes kirjutasin telegrammi alla saatjaks: Raimund Chemnitz'ist. See telegramm ei jõudnud kunagi pärale. Poliitilised naljad olid Saksa DV-s ohtlikud.

Kümne kuu jooksul õnnestus Saksamaal mitte üksnes teadustööga tegelda, vaid ka küllalt põhjalikult õppida tundma maad ja rahvast. Taevast kukkunud kingituseks sellest perioodist loen saksa keele oskust. Nii nagu eluski, mida vanemaks saad, seda kiiremini hakkab tormama aeg, nii juhtus ka selle kümne kuuga Saksamaal – esimesed kaks olid sama pikad kui ülejäänud kaheksa.

1976–1986
Teadusuuringute romantiline aeg

Kateeder astub teise kümnendisse

Teaduse romantikast ja akadeemilisest vabadusest

Kogu teadlase töö raskus seisneb selles, et end üles töötada tasemele, kuhu keegi teine veel pole jõudnud. Ülejäänu, mida teha sellel tasemel, on ääretult lihtne, inimlik ja tavaline, ent ometi uus ja enneolematu. Iga surelik oskaks jutustada, kuidas kuu tolm välja näeks, kui tal õnnestuks kuule sattuda. Sinna sattuda aga pole mitte igale ühele määratud.

Leian oma päevikust aastatetagused read:

14.03.78. *Paar päeva tagasi asusin uuesti poolelioleva probleemi kallale. Leidsin vea. Seda parandama asudes nägin, et asi läheb lootusetult keeruliseks. Olin juba valmis kogu kupatust prügikorvi heitma ja uurimist lõpetama kui ebaperspektiivset. Kahju oli küll, sest sellega hävines mu süsteemi terviklikkus.*

Nalja pärast, õigemini jonni pärast, soovides ehk siiski midagi päästa ja ka uudishimu pärast, kuhu see ikka lõpuks viia võib, uurisin siiski edasi. Üsnagi nutusest seisust.

Ja äkki avanes keset risust pimedat metsa päikesest valgustatud maasikavälu. Pisut uuem lähtekoht. Süsteemi terviklikkuse küsimus uuest vaatevinklist. Tore on siiski olla pioneer ja esimesena teed varjavaid oksi kõrvale lükata. Ehkki ei tea üldse, kuhu see rada viib. Peab pisut fanaatik ja tobe olema. Realist ei otsiks siit, kust oli juba näha, et algab raba. Põhjendaks lihtsalt, et „liiga keeruline, ei anna praktikale midagi". Pragmatism ongi see, mis kärbib tiibu.

Ilu peab otsima. Ilu kriteeriumiks on harmoonia. Parim harmoonia on lihtsus. Tee lihtsusele on aga käänuline. Siin peab juhtima vaist. Teiste sõnadega, pead ikkagi ka ise juba umbes ette kujutama seda lihtsust, mida otsid. Kuid omaenda pildist ei tohi dogma kujuneda. Kujutlus peab olema avatud ja justkui uduloss lõdvalt õhus heljuma, pidevalt ümber vormudes nagu pilved suvetaevas.

Õhtul ei tulnud taas und. Süütasin tule, et pisut Tammsaare romaani „Ich liebte eine Deutsche" *lugeda. Mõtlesin siis aga hoopis, et vaataks õige veelkord oma kolme paberilehte, kus probleem näidete komplektina oli laiali visandatud. Lihtsalt vaataks neid paberilehti… Ja äkki tuli selgus. Tegelikult olin juba viimase kolme päeva jooksul juba palju kordi selliselt lõdva moega seda probleemi ehk neid kolme paberilehte oma silme ees hoidnud. Mitte kangekaelselt, aga järjekindlalt. Lõdvalt. Tuju järgi. Ja igakord lisandus mingi joonis või lause, küsimus, hüpotees… Täna kristalliseerus äkki kogu pilt…*

Akadeemilises vabaduses. Vasakult Aleksander Sudnitsõn, Raimund Ubar (dianostika suuna juht), Andres Keevallik (disaini suuna juht), Harri Mägi, Paul Leis.

Just niisugustes vaimsetes seiklustes, kus temperatuuri kõikumised on suured, seisnebki teaduse romantika ja poeesia. Aga sellest tõeliselt osa saamiseks pead olema vaba.

Neil 70-ndatel ja 80-ndatel valitses meie laboris akadeemiline vabadus selle sõna otseses mõttes. Meil oli kindel ja stabiilne õppejõu palk ja kui õppetöö kõrval õnnestus ka edukalt teadust teha, siis võis seda palka veel poole võrra suurendada. Teadustöö

edukus praktilises mõttes tähendas oma töötulemustele lepingute näol tööstusega rakenduste leidmist. Meie valdkonnas ei olnud see raske, sest elektroonika ja arvutustehnika arenesid kiiresti ja tööstus vajas ülikoolidega koostööd. Tööstus oli helde rahadega ja konkurentsi peaaegu ei olnud – pakkumine ja nõudmine olid mingil imelikul kombel tasakaalus. Eesti oludes võis ehk tööstuspartnerite leidmisega olla küll pisut raskusi, sest valikuid ei olnud palju, aga Nõukogude Liit oli suur ja lai ning iga hakkaja leidis endale rahastaja.

Pärast Eesti iseseisvaks saamist paraku kõik muutus. Turg läks kuidagi kiiresti tasakaalust välja – pakkumine hakkas ületama nõudlust ja konkurents hakkas muutuma tapvaks, hävitades igasuguse akadeemilise vabaduse. Tööstusel ei ole vaja mitte uurijaid, vaid „päevakäskude" täitjaid praktilise töö tarvis, Euroopa grantide turul saab aga rahastamist vaid iga 20-s taotleja. Romantika teaduses on asendunud igapäevase võitlusega eksistentsi nimel.

27.09.78. *Sõidan rongis „Estonia" Moskvasse lepingut sõlmima. Rahvas kupees on jutukas: Varem sõideti külast Moskvasse laulude (info) järele, nüüd leiva järele (varem oli toit maal odavam, muna maksis siis 9, nüüd 17 kopikat). – – – Õpi, õpi, nagunii hakkad insenerina vaid 120 saama. Ja veel nõutakse ka sinu käest. Lihttööline aga on ka joodikuna teretulnud ja saab palka 200. – – – Õepoeg sai insenerina 120, alluvad – keevitajad aga 200. Tahtis üle minna keevitajaks, ei lastud, kaadrit olevat vähe. Siis hakkas jooma, progullitama, kuni lahti lasti. Nüüd on tööliseks ja saab üle 200…*

Dotsendi palk oli aga samal ajal 250 rubla ja leping Moskvas mõne tööstusettevõttega andis veelgi poole juurde. Seda oli piisavalt palju, et ennast hästi (loe: edukana) tunda ja mis peaasi – turvalisena. Sellistes tingimustes, kui olid uudishimulik ja armunud teadusse, kinkis Minerva poeesiat, seiklusi ja romantikat küllaga.

29.05.80*. Mis on teadus? See on tegelikult vaid üks kitsas elusfäär, millesse kandidaadiväitekirja tasemel suudab igaüks siseneda. Doktoritöö nõuab kogu elu pühendamist…*

Aga kas seiklejale on siis seiklusele pühendumine probleem? Pealegi, kui ka autasud ootavad sellel teel: sest doktoriks saades tõuseb veelgi teadlase palk tervelt kaks korda.

Tõsi, doktoriks saadi N Liidu ajal alles 45-50-selt, kui saadi. Sest mitte kõigil ei jätkunud pühendumist. Täna saadakse doktoriks 25-selt. Aga me ei saa võrrelda neid kahte asja. Tänane doktoritöö on sellitöö ja pärast sellega maha saamist, doktoriks pärjatuna, alles peab hakkama enda eest võitlema. Endisaja doktorikraad tähendas aga stiimulit – nii au ja kuulsust kui ka rikkust. Ja see stiimul oli see, mis hoidis seiklejat ka tüdimuse ja väsimuse eest, kui teekond venis ja poeesiat ning romantikat nappima hakkas…

Tudengid kihutavad Vormel-1 masinatel õppejõu ehitatud autodroomil

Õppejõu ameti suureks eeliseks on see, et sa ei märkagi, kui vananed. Ei saagi märgata, sest su kõrval on pidevalt noored ja aeg justkui seisab paigal. Meelde on jäänud üks õpperühm, mille juhendajaks olin aastatel 1976–1980. Tudengid haarasid mind oma seltsiellu, käisin nende sünnipäevadel ja rühmaõhtutel, kutsusin neid ka enda juurde koju külla. Olin ehitanud kodus Saksamaalt kaasatoodud detailidest suure viie meetri pikkuse autodroomi, mis mahtus umbes poolteise ruutmeetrisele Soome papist plaadile. Autodroomil oli kaks

rada, mida mööda võis käsipuldi abil juhtida kahte elektriautot, suurendada või vähendada nende kiirust. Kiiruse suurenemisel suurenes ka risk, et auto kurvis rajalt välja viskub. Selle autodroomiga korraldasime kord isegi rühma esivõistlused Vormel-1 klassis.

Aktiivne seltsielu käis meil ka kateedris, mis oli vahelduseks pikkadele loenguid täis pikitud päevadele ja pakkusid hetkelist unustust ka nendel puhkudel, kui uurimistöö kiiva kiskus ja kogu poeesia ning romantika oli kadunud. Meie kateedrijuhatajal oli suvila Väänа-Jõesuus, kus sageli pidasime meeldejäävaid peoõhtuid, grillides liha ja lauldes seltskonnalaule. Käisime kateedrirahvaga ekskursioonidel, külastasime teatreid ja muuseume nii Tallinnas kui Tartus. Mul oli kodus rikkalik fonoteek, juhtus, et pidasime minu juures ka tantsuõhtuid.

09.08.79. *Kutsusin taas oma juhendatava kursuse enda poole külla. Seekord võtsin nõuks veini pakkuda. Aga nemad juba tirisid kotist välja konjakipudelid… Nojah, olgu siis nii. Ümber teid enam ju ei kasvata. Vea tegin viimasel korral, kui ise pudeli lauale panin... Aga tegelikult õpetasite te ju mind ise juba Pensa praktikal viina jooma... Mäletan, kui Tropiga poes käisime. Ja müüja Troppi nähes küsimatagi pudeli lauale pani. Ei, Tarmo, see oli nali. Aga minult küsiti küll passi...*

Tipis juhtub minuga ikka veel nii, et koridoris mõni tudeng kõnetab: „Kas sul tikke on?" Või tuleb õppejõudude riietehoius tõendit näidata. Tõendit mul aga miskipärast ei ole ja seetõttu ei saa ma sinna ka oma soni hoiule jätta. Kuid mulle isegi meeldib see mäng. 37 aastat on just see aeg, kui 20-ndad hakkavad üha kaunimates värvides meenuma. Kujutlen aga, et mõni esimest aastat assistent võiks üsna solvunud olla, kui tudeng teda sinataks...

Kateedrijuhataja Andres Keevallik

Dotsent **Andres Keevallik** juhtis meie kateedrit selle teisel kümnendil. Tema hea külg oli see, et olles ise teadlane, hoolis ta väga selle eest, et kateedris valitseks akadeemiline vabadus. Kõige vähem vaba oli ta juhina aga ise, vastutades selle eest, mille eest vastutada oli raske – väga palju ülikooli elus oli ülalt ette dikteeritud.

Oma teise kateedrijuhataja valimisperioodi alguseks planeeris ta selliselt oma alluvate tulevikku – õpetamist kui igapäevast rutiinset tööd ja selle kõrvale romantikat ning põnevust, mida pakkus teaduslik uurimistöö.

Alljärgnev on traditsiooniline kateedrijuhataja aruanne (aastast 1982), mis on esitatud lühendatult.

Andres Keevallik: Kateedri arenguperspektiividest (1982)[1]

EIektronarvutite eriala ja kateedri areng sõltub suurel määral meie vabariigi arvutustehnilisest potentsiaalist. Võib julgelt prognoosida, et nõudmine arvutiinseneride järele kasvab. Kasvavad loomulikult ka nõudmised nende kvalifikatsioonile.

Plaanikomitee andmetel on nõudmine arvutiinseneride järele olnud kõigi erialade lõikes vabariigi kõrgemaid, ulatudes suhteni kaheksa ühele. Seetõttu oli vastuvõtu suurendamine päevases osakonnas kahele õpperühmale igati põhjendatud. Õhtusesse osakonda võetakse igal aastal vastu 30 üliõpilast.

Kateedris töötab 8 koosseisulist õppejõudu – 3 dotsenti, 2 vanemõpetajat ja 3 assistenti. Lisaks neile on kohakaasluse alusel õppejõududeks **Andri Ariste** (0,5 dots.), **Ustus**

[1] Kateedrijuhataja Andres Keevalliku aruanne aastast 1982 (lühendatult).

Agur (0,25 dots.) ja **Imre Mellikov** (0,25 van. õp.). Tunnitasulisi õppejõude on õppeaasta jooksul olnud keskmiselt 10. Kateeder õpetab 21 õppeainet, neist osa ka teistele automaatika-, majandus- ja energeetikateaduskondade erialadele.

Kateedris on pööratud tõsist tähelepanu eriala-ainete tööprogrammide viimisele vastavusse teaduse ja tehnika eesrindliku tasemega ja arengutendentsidega. Takistuseks sellel teel on kehtivad üleliidulised tüüpprogrammid, milledest enamik pärineb aastatest 1974-75. Seoses sellega on otstarbekas valdavalt orienteeruda ka kõrgelt arenenud riikide kogemusele arvutustehnika õpetamise valdkonnas.

Andres Keevalliku uurimisrühm, kelle koostööpartneriks oli Teadus-tootmiskoondis „Algoritm". Vasakult istuvad Keevallik ja Tammemäe, seisavad Kruus, Udre, Kuraksa ja Ellervee.

Võib märkida, et meie lõpetajate teoreetiline tase on nõuetele vastav, kuid ettevalmistus praktiliseks tööks jätab soovida. Selle disproportsiooni põhjused on hästi teada – meie laboratoorne baas ei suuda sammu pidada aja nõuetega, mis omakorda tuleneb lühinägelikust prioriteetide asetusest üldriiklikus varustuspoliitikas. Kuigi kateedris on viimase kahe aasta jooksul laboratoorsete tööde maketid täielikult uuendatud, seisame me jällegi nende uuendamise vajaduse ees, sest niivõrd kiire on olnud arvutustehnika areng. Märkigem siiski, et võrreldes üleliidulise tasemega on meie laboratoorne baas siiski tublisti üle keskmise. Selle edasiarendamine on ja jääb tulevikus kateedri üheks põhiülesandeks.

Viimaste aastate saavutuseks võib lugeda asjaolu, et kateedril on tekkinud head sidemed oma lepingupartneritega ENSV TA KI Arvutustehnika EKB-st (EKTA) ja Teadus-tootmiskoondise „Algoritm" Tallinna Keskusega. Eriti viimane on andnud suure panuse kateedri (ka kogu instituudi) arvutustehnilise baasi parandamisse. Sisustamisel on programmeerimise laboratoorium, kuhu seatakse üles kümmekond terminali, mis sidekanali kaudu ühendatakse „Algoritmi" arvutuskeskusega. Ülesseadmisel on arvuti CM-3 koos vajalike lisaseadmetega. Kateeder saab lepingupartneritelt abi ka muus osas, eriti elektronkomponentide näol.

Märkimata ei saa jätta nimetatud asutuste osa praktikabaasidena. Veelgi enam, sisuliselt on tegemist teatava koopereerumisega kõrgema hariduse andmisel. Põhimõte – kui tahate saada täisväärtuslikku kõrgemat haridust, siis leidke endale võimalikult kiiresti praktiseerimise võimalus (pool kohta) mõnes heatasemelises asutuses – on end meie erialal praktikas igati õigustanud. Samuti ka teine põhimõte – heale asutusse suunatud noorele spetsialistile vastutasuks anda kateedrile heatasemelist tehnikat.

Õppe-metoodiline töö on kateedris kulgenud plaanipäraselt, hästi on oma tööülesannetega selles lõigus hakkama saanud dotsendid **U. Agur**, **H. Mägi**, **A. Ariste**, **R. Ubar**. Seoses vene õppekeelega rühmade vastuvõtuga on tekkinud vajadus anda õppe-metoodilist materjali välja kahes keeles. Seoses õppekoormuse kasvuga on kateedrile alates 1982/83 õ.-a vajalik täiendav vanemõpetaja koht. Lisaks sellele tingib õppekoormuse struktuur vajaduse asendada üks olemasolevatest assistentide ametikohtadest vanemõpetaja kohaga. Samuti on tungiv vajadus täiendava laborandi ametikoha järele.

Kateedris valitseb ruumikitsikus, eriti takistab see laboratooriumite väljaarendamist. Loodetavasti olukord paraneb TPI arvutuskeskuse hoone valmimisega.

Teaduslikus uurimistöös on kateedris võetud suund arvutiskeemide masinprojekteerimisele ja diagnostikale. Nimetatud teemade osas on kateedril juhtiv positsioon vabariigis, mis on fikseeritud ka ENSV TA arvutustehnika arendusprogrammis. Kateedril on lepingulised uurimistööd ENSV TA KI Arvutustehnika EKB-ga (arvutiskeemide diagnostika) ja Teadus-tootmiskoondisega „Algoritm" (arvutiskeemide masinprojekteerimine). Lepingulise uurimistöö maht oli kateedris summaarselt 1980. a. ligikaudu 90 tuhat rubla, keskmine lepingulise uurimistöö maht tema kestuse vältel 67 tuhat rubla. Publikatsioonide arv ulatub aastas 30-ni, neist 60% on avaldatud keskajakirjanduses ja välismaal. Arvukalt on osaletud üleliidulistel ja rahvusvahelistel konverentsidel. Võidetud on kõrgeim autasu ÜTÜ üleliidulisel konkursil (1979), kus esikoha sai **Peeter Ellervee** ja kolmanda koha **Aleksander Maksimenkov**, ja võidetud on ka autasusid vabariiklikul ÜTÜ konkursil ja ainekonkurssidel.

Paul Leis aspirantuuris (kaitses väitekirja 1983)

Kateeder korraldab 1981. a. üleliidulise seminari automaatide teooria küsimustes (juuli) ja samal temaatikal ka VMN-i liikmesmaade teaduslik-koordinatsioonilise nõupidamise (september). Hea on olnud üliõpilaste hõivatus lepingulises uurimistöös, millele on suuresti kaasa aidanud ÜKB lepingu olemasolu.

Loodetust aeglasemalt on kateedris kasvanud teadusliku kraadiga töötajate arv. 1981. a. kaitses kraadi assistent **Peeter Kitsnik**. Kandidaadiväitekirjad on valminud van.õp. **Paul Leisil** ja ass. **Leonhard Siemil** (kaitsmised on planeeritud 1981. a. sügiseks). Valmimisel on väitekirjad ass. **Agu Viilupil**, van. ins. **Toomas Plaksil** ja van. ins. **Aleksander Sudnitsõnil** (kaitsmised eeldatavasti 1982. a. esimeses pooles). Seega on saabumas aeg, kus kogutud teaduslik potentsiaal hakkab realiseeruma ka formaalse klassifikatsiooni mõttes. Doktoritööd on plaanis dots. **Raimund Ubaril** arvutiskeemide diagnostika ja dots. **Andres Keevallikul** arvutiskeemide sünteesi valdkonnas. Eeldatav doktoritööde valmimisaeg 1983-1985.

Dekompositsiooniteoreem ja DILOS

Kui **Ustus Aguril** sai 1976. aastal 10 aastat kateedri juhatamist täis, siis tuli tal teatepulk üle anda kellelegi teisele. Niisugune oli kord Nõukogude ajal, kus dotsentidel oli lubatud kateedrit juhatada maksimaalselt 10 aastat. Professor oleks võinud jätkata kuitahes kaua. Kateedri võttis Agurilt üle **Andres Keevallik**, kes enne seda töötas automaatika kateedris ja oli kaitsnud kandidaadiväitekirja digitaaltehnika aluste valdkonnas. Samal ajal langes kateedri ülevõtmise aktsiooniga kokku Keevalliku suundumine pärast kandidaadiväitekirja kaitsmist (1974) Rootsi Linköpingi ülikooli aastasele stažeerimisele. Selle järgneva õppeaasta (1976/77) jooksul juhtis siis kateedrit edasi, nüüd küll juba kateedrijuhataja kohusetäitjana, Ustus Agur. Järgmisel aastal suundus Agur Eesti Informatsiooni Instituuti direktoriks, kuid jäi ka kohakaaslasena edasi kateedrisse oma lemmik-loengukursusi pidama.

Andres Keevallik tuli niisiis elektronarvutite kateedrisse üle automaatika kateedrist ja tõi endaga sealt kaasa oma senise teadusliku uurimissuuna – diskreetsete juhtimissüsteemide projekteerimise. See sobis hästi kateedri profiiliga, sest seni oli arvutite temaatika kaetud üksnes kirjeldusliku küljega, st õpetamisega, kuidas arvutid töötavad, aga mitte eriti aktiivse teadustööga. Nüüd oli meil olemas kaks olulist ja teineteist täiendavat uurimisvaldkonda: arvutite projekteerimine ja arvutite diagnostika. Süsteemide loomine koosneb alati kahest poolest: kõigepealt ehitamine ja seejärel kontrollimine, kas valmis sai ehitatud ikka „õige asi". Mõlemad suunad olid äärmiselt aktuaalsed, sest arvutustehnika arenes penikoormasammudega. Meil oli kaks koostööpartnerit tööstusest: **Kalju Leppiku** ning **Harry Tani** juhitud EKTA ja **Kalju Tinni** juhitud Teadus-tootmiskoondis „Algoritm". Mõlema asutuse kaudu olid meil otsekontaktid tipptööstusega Moskvas ja mujal NL-is.

Andres Keevallik saavutas rahvusvahelise tuntuse automaatide teooria valdkonnas oma kuulsa dekompositsiooni teoreemiga[2], mis sai tema kandidaadiväitekirja põhitulemuseks. Tema edasise teadustöö suunad juurdusidki sellest teoreemist ja tipnesid uute dekompositsioonilise sünteesi meetodite väljatöötamisega suure keerukusega digitaalsete juhtimissüsteemide projekteerimiseks ja optimeerimiseks erinevate kriteeriumite põhjal. Nende meetodite rakendusvaldkonnaks sai automatiseeritud projekteerimistarkvara loomine digitaalsüsteemide sünteesiks. Andres Keevalliku uurimistöö tõukeks juba aspirantuuripäevil oli saanud **Juris Hartmanise** tuntud teos lõplike automaatide teooria vallas.[3] Läti päritoluga Juris Hartmanis pani aluse algebralisele keerukuse teooriale, mille eest ta sai 1993. aastal Turingi auhinna.[4] Sündinud Lätis kindrali pojana, oli ta sunnitud pärast isa arreteerimist II maailmasõja algul põgenema USA-sse, kus ta ka on veetnud kogu oma senise aktiivse elu. Tema esmakordne kohtumine eesti teadlastega toimus ühel 1987. a. konverentsil Soomes, kus ta kohtus Keevalliku õpilase Aleksander Sudnitsõniga.

Tomskis konverentsil (2002). Vasakult Raimund Ubar, akad. Arkadi Zakrevski (3) ja Anžela Matrossova (5). Matrossova on vene diagnostika tippteadlane.

Keevalliku juhendamisel saavutas elektronarvutite kateedris kiiresti edu uurimistöö numbriliste automaatide masinprojekteerimise vallas, kus 1983. aastal kaitsesid väitekirju **Paul Leis** Küberneetika Instituudis teemal *„Mikroprogrammautomaatide dekompositsioonil põhinevate sünteesimeetodite väljatöötamine*" ja **Aleksander Sudnitsõn** Valgevene Teaduste Akadeemia juures Minskis teemal *„Dekompositsioonimeetod programmeeritavate loogikaskeemide sünteesiks*" (juhendaja akad. **Arkadi Zakrevski**). Pisut hiljem 1987. a. kaitses oma väitekirja Keevalliku juhendamisel **Margus Kruus** teemal *„Hästikontrollitavate juhtseadmete süstees*" samuti Küberneetika Instituudi teadusnõukogu ees. Kõigist kolmest said seejärel kateedri õppejõud.

---

2 А. Э. Кеэваллик. Теорема декомпозиции конечных автоматов. Автомтика и вычислительная техника, 1974, Н. 1.

3 J. Hartmanis, R. Stearns. Algebraic Structure Theory of Sequential Machines. New York, Prentice Hall Inc., 1966.

4 Turingi auhind on kõrgemaid tunnustusi informaatika vallas, mida võrreldakse Nobeli auhinnaga. Auhinda antakse alates 1966 igal aastal. Auhind on nimetatud Alan Turingi (1912-1954) auks.

Andres Keevalliku juhitud teadustöö toimus tihedas koostöös Leningradi, Tomski ja Minski teaduskoolkondadega, kus vaimseks juhiks oli akadeemik **Arkadi Zakrevski**, kellega Andresel kujunes väga hea sõprussuhe juba 70-ndatel, kui tutvuti ühel konverentsil Venemaal. Akad. Zakrevski oli tunnustatud liider loogikadisaini valdkonnas mitte üksnes tollases Nõukogude Liidus, vaid tema tööd ja panus sellesse valdkonda olid saanud kiiresti tunnustuse kogu teadusmaailmas. Pärast seda, kui Zakrevski oli loonud tugeva koolkonna Tomski Ülikoolis, siirdus ta Valgevene Teaduste Akadeemia kutsel Minskisse, kus rajas sealgi oma labori ja tugeva uurimisgrupi. Zakrevski juurde Minskisse aspirantuuri suunas Keevallik ühe oma õpilastest – **Aleksander Sudnitsõni** eesmärgil tugevdada koostööd ja tuua Eestisse uut eesliini – teadmist.

Tomski ja Minski teadusgruppide koostöös oli loodud laia leviku saanud projekteerimiskeel LYAPAS ja sellel põhinev loogikaskeemide sünteesi süsteem. Pärast LYAPAS-keele publitseerimist vene keeles tõlgiti see USA-s ka inglise keelde, misjärel see keel sai kiiresti tuntuks kogu maailmas.

LYAPAS võeti tarvitusele ka Keevalliku uurimisgrupis, millel hakkas põhinema edasine koostöö Tallinna, Minski ja Tomski teadlaste vahel. Tänu sellele koostööle sai elektronarvutite kateeder teatud perioodil ka kaadritäiendust Tomskist **Lilja Kaširova** näol (1988-1992), kelle uurimistöö teemaks oli madala energiakuluga digitaalsüsteemide süntees.

Aastad on möödunud. Zakrevski kunagine doktorant Aleksander Sudnitsõn on nüüd oma tütart lennujaamas doktorantuuri saatmas.

Paul Leisi ja Aleksander Sudnitsõni doktoritööd, **Boris Berkmani** diplomiprojekt „Programmide süsteem diskreetsete juhtseadmete dekompositsioonil põhinevaks sünteesiks“ (1983) ja **Peeter Ellervee** diplomiprojekt „Programmide süsteem mikroprogrammautomaatide realiseerimiseks programmeeritavatel maatriksitel“ põhinevad kõik keelel LYAPAS. Nimetatud tööde panuseks oli muuhulgas ka LYAPAS-keele testimine ja rakendusvaldkonna laiendamine, mis kahtlemata omas ka mõju Keevalliku koolkonnale laiema tähelepanu saamisele.

Boris Berkman vasakul, kõrval Aleksander Maksimenkov ja Neeme Oit

Boris Berkmani juhendamist alustas Aleksander Sudnitsõn juba siis, kui Boris oli alles esimese kursuse tudeng. Borisi diplomiprojektis töötati välja programmide süsteem DEMELOS diskreetsete juhtseadmete sünteesiks, kasutades loogikamaatrikseid elementbaasina. Juhtseadmeid modelleeriti mikroprogrammautomaatidena ja sünteesi aluspõhimõtteks oli automaatide dekompositsioon, mis võimaldas efektiivsemat juhtseadmete realisatsiooni optimeerimist. **Peeter Ellervee** diplomiprojekt taotles samu optimeerimise eesmärke, kusjuures fookus oli seatud probleemide lahendamisele, mis tekkisid mikroprogrammide realiseerimisel standardsetel ressursipiirangutega maatriksi-

tel. Kuna reaalsed juhtautomaadid pole enamasti realiseeritavad ühel ainsal maatriksil viimase sisendite, väljundite ja termide piiratud arvu tõttu, siis tekib vajadus juhtautomaati esitava mikroprogrammautomaadi mudeli tükeldamise ehk dekomponeerimise järele.

Suure panuse sellesse uurimistöösse andis **Paul Leis**, keda uurimisrühm tunnustas üksmeelselt kui „nende parimat teoreetikut". Paul tunnetas hästi keele LYAPAS võimalusi ja perspektiivsust, vaatamata sellele, et keel oli väga komplitseeritud ja mitte nii kergesti omandatav. Kasutades aga oskuslikult keele spetsiifilisi võimalusi, võis jõuda väga efektiivsete programsete lahendusteni masinkeele tasandil.

Koopereeruti tihedalt Tomski Ülikooliga, kus oli välja töötatud LYAPAS-keele kompilaatorid. Just selles koostöös sündisidki efektiivsed juhtseadmete sünteesi lahendused. Koostöö võimaldas kasutada kompilaatoreid kõige varasemal etapil – juba tooriku staadiumis, kus aga tekkivate probleemidega võisid hakkama saada ainult väga professionaalsed programmeerijad. TTÜ-d esindas siin väga edukalt **Boris Berkman**.

Aleksander Sudnitsõni panus selles uurimistöös oli viia projekteerimistasand programmeeritavatelt maatriksitelt nutikamale tasandile – mikroprotsessorkiipide kasutamisele, kus ta analüüsis mikroprogrammautomaatide realiseerimise võimalusi kahte lähenemisviisi kasutades, *kompilatiivset* ja *interpretatiivset*. Tarkvara valdkonnas tuntud printsiipide rakendamine riistvara projekteerimisel oli uus lähenemisviis. Keevalliku loodud automaatide dekompositsiooni teooria uudsete tulemuste rakendamine Sudnitsõni poolt mikroprotsessorsüsteemide tasemel tähendas antud uurimisvaldkonna märkimisväärset laiendust.

Süsteemide keerukuse kasvades muutuvad keerukamaks nii disaini kui ka süsteemide testimise probleemid. Kuna kateeder tegeles mõlema probleemiga, siis areneski sellest välja viljakas hilisem koostöö, mis tipnes uue ühise teadussuuna välja arendamisega kateedris – hästitestitavate süsteemide disain. Selle valdkonna arendamisel saavutas märkimisväärseid tulemusi praegune instituudi direktor **Margus Kruus**, kaitstes 1987. aastal **Andres Keevalliku** juhendamisel väitekirja *„Hästikontrollitavate juhtseadmete süstees"*.

Märkimisväärseks saavutuseks oma teadustöö tulemuste juurutamise näol oli Andres Keevalliku juhendamisel tema uurimisgrupi poolt 80-ndatel aastatel loodud interaktiivne tarkvarasüsteem diskreetsete juhtseadmete dekompositsiooniliseks sünteesiks – DILOS, mis kujutas endast sisuliselt DEMELOS-e edasiarendust ehk siis juhtsüsteemide projekteerimistarkvara teist põlvkonda. Uurimistöö põhilisteks vedajateks olid Berkman ja tema teine juhendaja ning mentor Sudnitsõn.

Töö tulemuseks oli Boris Berkmani kandidaadiväitekiri *„Juhtautomaatide dekompositsioonilise sünteesi optimeerimismeetodite uurimine ja väljatöötamine programmeeritavate loogikaseadmete baasil"*, mille ta kaitses edukalt 1989. aastal. Pärast väitekirja kaitsmist siirdus ta Stockholmi Kuninglikku Tehnikaülikooli stažeerima (täna öeldakse – postdoktorantuuri), aga seejärel 1990. a. tööle USA-sse. Tänaseks on Boris Berkman teinud väga edukat inseneri- ja konsultandikarjääri USA-s ja mujal Läänes. Ta on töötanud ettevõtetes Sun Microsystems, Nikon, Synopsys, *spin-off* firmades Fotonation, Picling ja mujal ning kogunud kõikjalt äärmiselt kiitvaid hinnanguid. Süsteemi DILOS loomise motivatsiooniks oli diskreetsete juhtimissüsteemide keerukuse üha kiirenev kasv, mis tingis vajaduse niisuguste süsteemide projekteerimisel arvuteid kasutada, teiste sõnadega luua vastavaid masinprojekteerimissüsteeme.

Sünteesi ülesanded selles valdkonnas on kergesti **formaliseeritavad** aga raskesti lahendatavad oma keerukuse tõttu, mistõttu siin kasutatakse enamasti ligikaudseid lahendusi. Keerukuse probleemist aitavad aga jagu saada ülesannete tükeldamise ehk dekompositsiooni meetodid. **Andres Keevalliku** uurimisgrupi üheks oluliseks tulemuseks oli informatsiooniteooria kasutuselevõtt keerukushinnangute arvutamiseks ja keerukate süsteemide tükeldamiskriteeriumite loomiseks. Töötati välja originaalsed meetodid võimalikult täpsete keerukushinnagute saamiseks ja nendel hinnangutel põhinevate optimeeritud sünteesi meetodite väljatöötamiseks. Seejuures oli optimeerimiskriteeriumitena võimalik kasutada mitmesuguseid süsteemikarakteristikuid nagu töökiirus, testimiskõlblikkus, kristalli lisapindala suurus, energiasääst jne. Nimetatud uurimistöö tulemusena loodigi uus teise põlvkonna tarkvara – süsteem DILOS diskreetsete juhtseadmete sünteesi automatiseerimiseks.

Diskreetsete juhtsüsteemide sünteesi meetodite arendamisel ja interaktiivse tarkvarasüsteemi DILOS väljatöötamisel on lisaks eelpool nimetatutele veel aktiivselt osalenud 80-ndatel **Jüri Udre**, **Aleksander Maksimenkov**, **Dmitri Kuraksa**, **Kalle Tammemäe**, **Kaja Salum** jt. Kandidaadiväitekirja kaitses siin veel **Tõnu Lausmaa** teemal *„Entroopse keerukuse hindamine diskreetsete juhtseadmete sünteesil“* (1984, juh. A. Keevallik) ja aastaid hiljem **Jelena Fomina** teemal *„Madala energiatarbega lõplike automaatide süntees“* (2005, juh. **A. Sudnitsõn**). Töö tulemused tänu oskuslikule aspirantide ja diplomandide töö koordineerimisele, kus suur panus oli Keevalliku ja Sudnitsõni juhendamistel, osutusid väga edukaks ning süsteem DILOS kogus tuntust terves N Liidus, mille näiteks olid tarkvara registreerimine Algoritmide ja programmide riiklikusse fondi ja ka preemia saamine Rahvamajandussaavutuste Näituselt Moskvas, mille auhindu koteeriti kõrgelt.

Venemaa tippteadlased meie teadusvaldkonnas: vasakult Jegor Sogomonjan (1) ja Oleg Nemolotšnov (4) – süsteemide diagnostika ning Samarii Baranov (2) ja Arkadi Zakrevski (3) – süsteemide disain

Süsteemi DILOS publitseeriti esimesel N Liidus korraldatud rahvusvahelisel masinprojekteerimise alasel konverentsil[5], kus oli esindatud enamik N Liidu selle ala tippteadlasi, kattes oma kompetentsiga seejuures mõlemat külge sellest valdkonnast – projekteerimist ja sünteesi ühelt poolt ning diagnostikat ja testimist teiselt poolt. Seejuures on huvitav märkida, et sellel samal konverentsil oli TPI elektronarvutite kateeder esindatud ka veel ühe teise artikliga, mis kattis masinprojekteerimise teist aspekti – digitaalsüsteemide testimist ja diagnostikat.[6]

Kuna sellele konverentsile pääsemine toimus läbi tiheda sõela – kokku üle terve N Liidu valiti välja vaid 24 ettekannet üle kogu laia arvutite automaatprojekteerimise valdkonna, siis võib sellest järeldada, et mõlemas suunas toimuv uurimistöö kateedris kuulus tolleaegse N Liidu tippteaduse hulka.

---

5 А. Кеэваллик, Б. Беркман, А. Судницын, М. Круус. DILOS - автоматизированная система декомпозиционного синтеза и верификации дискретных управляющих устройств. I Международная конференция САПР СВТ'89. Москва 1989, с.135-142.

6 Р. Убар, В. Аланго, Т. Коньт. Система автоматического генерирования тест-программ для вычислительных устройств. I Международная конференция САПР СВТ'89. Москва 1989, с.23-31.

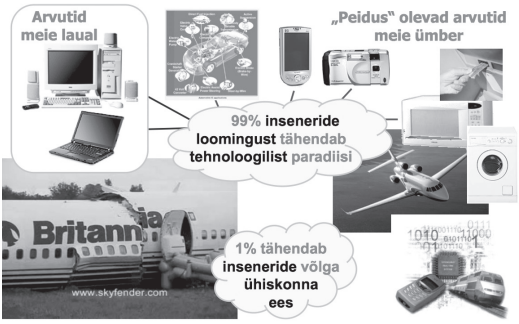
Koostöö algus Küberneetika Instituudiga

Järgnev osa selles peatükis on aastatel 1976-1986 toimunud teadusuuringute lühikirjeldus põhiliselt arvutitehnika diagnostika valdkonnas, kus võetakse kokku ka ühiselt jagatud higi ja mured koos Küberneetika Instituudi EKB inseneride ja teadlastega.

Proloog

Akadeemik Enn Tõugu

Pirita tee instituudis ehk siis õige nimega M. I. Kalinini nimelises Tallinna Elektrotehnika Tehase Teadusliku Uurimise ja Projekteerimis-Tehnoloogilises Instituudis (TUPTI) oli projekteeritud ja 1964. aastal ka valmis ehitatud originaalne miniarvuti STEM – spetsialiseeritud tehnoloogiline elektroonne masin – mida kasutati masinatehastes tehnoloogiliste protsesside optimaalsete parameetrite arvutamiseks.
Arvuti ehitamise initsiaatoriks oli **Enn Tõugu**, kes projekteeris selle algoritmid, tarkvara ja protsessori mikroprogrammjuhtimise. Arvuti lahendas tehnoloogilisi ülesandeid, eeskätt tööpinkide lõikerežiime, selleks et suurtes tehastes saaks arvestada ajanormidega, olgu siis tegemist puurimise, lihvimise, lõikamise või treimisega. Arvuti STEM oli eelkäijaks miniarvutitele, mis jõudsid laia kasutajaskonnani alles aastakümne võrra hiljem.



Oma sõltuvust elektroonikast märkame alles siis, kui see lakkab töötamast. Rikete diagnostika teaduse eesmärgiks on tasuda see inseneride tahtmatu „võlg".

70-ndate algusaastatel arendati Pirita tee instituudis **Harry Tani** ja **Andri Ariste** juhtimisel uusi spetsiaalarvuti STEM versioone. Püüdes initsieerida koostööd Harry Tani laboratooriumi ja TPI elektronarvutite kateedri vahel tegi **Raimund Ubar** ühel 1972. a. sügishommikul visiidi sellesse laborisse ja esines ettepanekuga hakata koos mõtlema, kuidas lahendada arvutiga STEM seotud testimise ja diagnostika projekteerimise probleeme. Just eelmisel õhtul oli ta lõpetanud ühe vene keelde tõlgitud raamatu[7] läbilugemise, mis oli üldse esimeseks ülevaateks digitaalskeemide diagnostika teooriast. Varustatuna äsja saadud uute teadmistega, oli Ubaril kerge veenda kolleege, et probleem on tõsine, pealekauba veel väga raske, aga TPI elektronarvutite kateedri inimesed saaksid hakkama küll.

H. Tani ja tema uurimisgrupp jäid ettepanekuga nõusse ja polnud vastu sõlmida TUPTI ja TPI vaheline leping uuringute alustamiseks teemal *„Väikearvutite automaatne rikete diagnostika"*. Uurimistöö suunaks sai miniarvutite testprogrammide formaalse sünteesi meetodite väljatöötamine, rakenduslikuks eesmärgiks aga spetsiaalarvutile STEM-2 testprogrammide genereerimine. Kateedris asus tööle uurimisrühm esialgse koosseisuga **Agu Viilup**, **Peeter Kitsnik** ja **Mart Ronk**.

[7] H. Y. Chang, E. G. Manning, and G. Metze. Fault Diagnosis of Digital Systems. New York: Wiley, 1970, 159 pp.

Sellest hetkest peale algaski meil pikaajaline koostöö Harry Tani juhitava uurimisgrupiga, algul Pirita tee instituudi seinte vahel, mis hiljem jätkus Küberneetika Instituudi Erikonstrueerimise Büroos ehk EKTA-s. Esimese märkimistvääriva tulemusena töötasime välja TUPTI-s konstrueeritud arvutile STEM-2 mikroprogramse diagnostikasüsteemi, mis võimaldas protsessoril ennast ise testida.

Küberneetika Instituudi EKB sünd

Akadeemik Boris Tamm

Pirita tee instituudis oli sel ajal kogunenud märgatav hulk teoreetilisi ja praktilisi kogemusi arvutite konstrueerimisel ja eksperimentaaltootmisel. Mõlgutati mõtteid asutada Tallinnasse arvutitehas.[8] Aga mõtteks see idee Moskva vastuseisu tõttu jäigi. Siis aga tuli akadeemik **Boris Tamm** välja „tagasihoidlikuma" ideega laiendada Küberneetika Instituudis olevat isemajandavat programmeerimise bürood riistvara uurimise ja arendamise suunas. Idee realiseerimiseks oli vaja otsustavatele instantsidele põhjendada niisuguse laiendamise vajadust. Selleks koostati dokument nimetusega „Küberneetika Instituudi probleemorienteeritud miniarvutite programm", mis kiideti 1975. aastal Eesti Teaduste Akadeemia poolt heaks ja mille alusel võeti järgnevalt vastu ka otsus nimetada Küberneetika Instituudi programmeerimisbüroo arvutustehnika *Erikonstrueerimisbürooks* (**EKB**). Asutuse loomise ajaks määrati 1976. a. jaanuar. Lühendi EKB järgi tuntigi seda asutust mõnda aega, kuid seejuures tuli sageli rõhutada, et viimane täht ei ole mitte „P[9]", vaid „B". Asutuse uus nimetus EKTA tekkis alles 1980. aastatel, kui oli vaja leida sobiv lühend asutuse kaubamärgiks ja kui oli selgunud, et nimetus EKB on rahvusvaheliselt juba kasutusel. Nii loodi siis „Pirita tee instituudi" miniarvutite labori ja Eesti TA Küberneetika Instituudi programmeerimisbüroo baasil 1976. aastal Arvutustehnika Erikonstrueerimisbüroo ehk EKB (EKTA).

EKTA juhid. Vasakult seisavad direktor Kalju Leppik (1), teadusala direktor Harry Tani (4) ja projektijuht Tõnu Lohuaru (5).

1976. aasta oli Küberneetika Instituudi jaoks murranguline aasta ka selles mõttes, et vahetus instituudi direktor. Akad. **Boris Tamm** suunati TPI rektoriks, Küberneetika Instituudi uueks direktoriks valiti aga akad. **Hillar Aben**.

EKB loomisega tehti suur samm edasi rakendusuuringute poole, mis avaldas olulist mõju ka Küberneetika Instituudi edasisele arengule. Kuigi EKB oli tänu majanduslikule iseseisvusele instituudiga suhteliselt lõdvalt seotud, toimisid edasi sidemed inimeste ja

[8] Harry Tani. Meenutusi EKTA tekkeloost ja arengust. Teadusmõte Küberneetika Instituudis.
[9] EKP – Eesti Kommunistlik Partei.

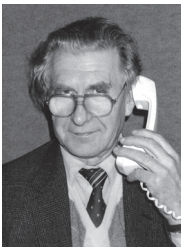
temaatikate tasandil. EKTA direktoriks sai **Kalju Leppik**, teadusdirektoriks aga **Harry Tani**. Uude asutusse kolis Pirita tee instituudist enamik arvutustehnika osakonna spetsialistidest, eesotsas **Andri Ariste, Henn Martsoni** ja **Tõnu Lohuaruga**.

Diagnostika-alaseid koostööprojekte TPI-ga hakkas EKTA poolt juhtima peakonstruktor **Tõnu Lohuaru**. Tema initsiatiivil moodustati EKTA-s diagnostikarühm (**Mart Pall**, **Aare Jõgi**, **Andrus Voolaine**, **Arvo Toomsalu** jt.).

Asutuse ruumideks said esimesel neljal aastal Estonia puiesteel asuv Teaduste Akadeemia SKB aktuse saal (SKB ise kolis sealt Mustamäele). Harry Tani meenutuste järgi oli algus masendav: „Esimesel sisenemisel oma „uutesse" ruumidesse leidsime eest peaaegu tühja saali, milles oli vaid kümmekond lagunenud kirjutuslauda ja tooli ning kus puudusid igasugused laboratoorsed seadmed. Kõike tuli hakata muretsema ja üles ehitama." Samas ähvardas pea kohal veelgi tõsisem Damoklese mõõk – rahapuudus. Teaduste Akadeemia presiidium oli andnud küll loa luua uus asutus, aga selle ülalpidamiseks ei antud mingit toetust (rõhuti asutuse isemajandamise kohustusele).

Esialgu aitas ellu jääda rikas tellija Moskvast – instituut, mis arendas ja tootis raketijuhtimise arvuteid. Nendelt õnnestus magnetmälude laboratooriumi juhatajal **Mark Sinisool** saada tolle aja kohta suur tellimus – 600 000 rubla – juhtarvuti sõlmede diagnostikasüsteemi välja ehitamiseks. Oma panuse EKTA ees seisvate probleemide lahendamiseks andsid ka elektronarvutite kateedri noored teadurid. Harry Tani meenutab:

„EKTA asutamisprobleemide kõrval tuli lahendada ka jätkukestvuse tagamiseks teoreetilisi probleeme. Nendeks olid kõigepealt digitaalsüsteemide testimise ja diagnostika küsimused. Sellel alal tekkis väga viljakas koostöö TPI õppejõu Raimund Ubariga, kelle teoreetilised tööd said meie diagnostikasüsteemi aluseks. Hakati konstrueerima ka diagnostika ja muude süsteemide juhtimiseks vajalikku miniarvutit VIRU, mida hiljem rakendati Tallinnas, Kalinini nim. tehase toodangu, jõupooljuhtide testsüsteemis."



EKTA teadusjuht Harry Tani

Kuigi EKTA asutamise ajal tegid ilma veel maailmas miniarvutid, olid juba olemas ka esimesed mikroprotsessorid ning nende alusel konstrueeritud esimesed mikroarvutid. Oli ilmne, et nende päralt on tulevik, kuid kogu moodne tehnoloogia puudus Nõukogude Liidus. **Harry Tanil** õnnestus käia Hamburgis, kus saksa sõbrad kinkisid talle terve mikroprotsessori INTEL 8085 kiipide komplekti, mille Tani sealt taskus kaasa tõi ja mis õnnestus tal endal siin tööle rakendada. Selle alusel loodi ka esimene Eestis tehtud mikroarvuti MIKI.

Meie koostöö EKTA-ga algaski selles Estonia puiesteel asuvas suures saalis, kus üleval laval istus direktor Harry Tani ja monteeris kokku esimest eesti mikroarvutit, aga all saali põrandal lahendasid kappidest ja laudadest moodustatud labürindis erinevaid probleeme tarkvara programmeerijad ja riistvara insenerid. Ühe kapi taga istus **Martin Pall**, kellega päevade viisi vaidlesime elektroonikatestide sünteesi algoritmide üle, teise kapi taha oli peitunud **Jüri Saraškin**, kes lindistas pedantselt makiga (et ükski sõna meil kaduma ei läheks) meie konsultatsioone ja arutelusid diagnostikaprogrammide optimeerimise teemal.

Uurimised hargnesid meil kahes suunas: meetodite väljatöötamine arvutite mikrodiagnostikas ja tarkvara väljatöötamine digitaalskeemide modelleerimiseks. Esimesel juhul modelleerisime arvutit „kõrgemal" mikrokäskude ja mikroprogrammide tasandil, teisel juhul „madalal" loogikaelementide tasandil. Mikrodiagnostika jäi põhiliseks teemaks **Agu Viilupile**, loogikaskeemide rikete simuleerimine aga **Peeter Kitsnikule**.

Kateedri grupipilt. Vasakult: Mägi, Tammemäe, Kitsnik, Siem, Ariste, Keevallik, Ubar, Jüris, Sudnitsõn, Leis, Viilup, Kull ja Toomsalu.

Diagnostika uurimisobjekt

Alljärgnev on populaarne ekskursioon TPI elektronarvutite kateedri uurimistöösse digitaalskeemide diagnostika valdkonda 70-ndatel ja 80-ndate esimesel poolel.

Digitaalskeemide uurimise ja sünteesi teoreetilisteks abivahenditeks on *diskreetne matemaatika* ja *Boole'i algebra*. Dünaamikaprobleemide uurimiseks kasutatakse ka *Boole'i diferentsiaalaparaati*, mis on aga vähem levinud ja seda ka harilikult ei õpetata ülikoolide diskreetse matemaatika kursustes. Digitaalskeemide diagnostikas hakati kasutama Boole'i algebra laiendust, Boole'i funktsioonide diferentseerimist ehk *Boole'i tuletiste* arvutamist testide genereerimise eesmärgil etteantud riketele antud loogikaskeemis.

Üheks töösuunaks TPI elektronarvutite kateedris oli digitaalskeemide testide süntees ja rikete diagnostika. Need olid tegelikult kaks iseseisvat ülesannet ja nende lahendamiseks kasutati traditsiooniliselt erinevaid matemaatilisi mudeleid ja meetodeid. Meie hakkasime otsima nendes ülesannetes sisalduvat ühtsust. Tõuke selleks andis vene juhtivate diagnostikateadlaste kõnepruugis kasutatav žargoon, et testide genereerimine on pöördülesanne ja rikete diagnoos on otseülesanne. Miks neid probleeme just nii käsitleti, polnud selge, sest niisugust ühtset matemaatilist käsitlust koos mõistetega „otse" ja „pöörd" ei eksisteerinud. Nii tekkiski meil sellesse ainevalda astudes kõigepealt teoreetiline huvi formaliseerida neid diagnostika otse- ja pöördülesandeid ühtse matemaatilise aparatuuri abil. See oli pioneerlik lähenemine.

Digitaalskeemide diagnostika teoreetilistes käsitlustes ei kasutatud niisugust ülesannete klassifikatsiooni – *otse-* ja *pöördülesanded*. Põhjuseks oli see, et mõlema ülesande puhul kasutati täiesti eri meetodeid, mistõttu polnud ka põhjust neid ülesandeid ühtsena vaadata. Nüüd on asi mõnevõrra muutunud, kuna mõlema probleemi lahendamiseks kasutatakse ühtset nn. SAT[10] probleemide lahendamise lähenemisviisi, kuigi SAT-ülesande formuleerimiseni jõudmine selle kahe ülesande puhul toimub ikkagi täiesti erinevatel vii-

[10] SAT – *lühendatult Boolean Satisfiability Problem* (lausearvutuse lahendamise probleem).

sidel. Seetõttu ka SAT-lahendajaid (ehk vastavat tarkvara) kasutades käsitletakse kumbagi probleemi lahus, nende olemuslikku ühtsust tegelikult ignoreerides.

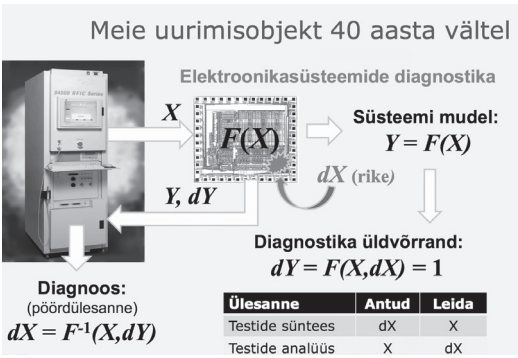
Diagnostikaprobleemi ühtsus ei seisne mitte diagnostika objekti (matemaatilises) mudelis, vaid diagnostikaprotsessis endas ja selle protsessi matemaatilises mudelis. Protsessi mudel koosneb kolmest komponendist: *testitav objekt*, *rikete universum* ja *test*. Traditsioonil ei vaadelda neid kolme komponenti korraga.

Testide genereerimisel on tähelepanu all vaid mõistete paar – *objekt* ja *rikked*, kus objektiga seotakse selle võimalikud vead või rikked ja seejärel ehitatakse sobivaim matemaatiline mudel, mis toetab ülesannet, kus on vaja leida test, mis oleks võimeline avastama kõiki rikkeid. *Rikete diagnoosi* ülesande puhul vaadeldakse aga teistsugust paari – *objekt* ja *test*, kus objektiga seotakse testid (*testvektorid, testjadad, testprogrammid*) ja ülesande lahendamisel leitakse, milline on see *diagnoos*, mis tuleks objektile määrata – fikseerida info selle kohta, kas rikked puuduvad või millise rikkega on tegemist ja selle asukoht lokaliseerida.

Kuna neid probleeme vaadeldakse eraldi, siis tehaksegi üks oluline viga, et kumbagi probleemi lahendatakse erinevatel tingimustel. Näiteks, testide genereerimisel tehakse kohe algul eeldus (kitsendus), et skeemis võib olla korraga üksainus viga ja testide genereerimise protsess ehitataksegi üles nii, et kõiki võimalikke rikkeid käsitletakse üksikult ja eraldi üksteise järel. Praktiliselt on see mõistlik tegu, sest ei ole võimalik käsitleda eraldi kõiki võimalike rikete kombinatsioone.

Diagnoosiülesande lahendamisel võib aga selline eeldus kätte maksta, sest kui reaalselt esineks objektis korraga mitu riket, siis konstrueeritud test võib anda vale tulemuse: kas üldse mitte avastada konkreetset rikete kombinatsiooni, sest seda pole ju testide genereerimisel arvesse võetud, või testiga võidakse saada vale diagnoos.

Diagnostikaprotsessi võrrand



Ühtse lähenemisviisi saavutamiseks ei kasutanud me mitte traditsioonilist Boole'i funktsioonide tuletiste arvutamise matemaatikat, vaid konstrueerisime diagnostika protsessi üldise mudeli – Boole'i diferentsiaalvõrrandi abil, mille me nimetasime *diagnostika üldvõrrandiks.*[11] Töötasime välja tervikliku diagnostikaeksperimendi matemaatilise mudeli Boole'i diferentsiaalvõrrandi kujul, mis sidus omavahel objekti kirjelduse Boole'i funktsioonidena kolme tüüpi muutujatega – võimalike rikete, testide ja sümptomitega (ehk testimise tulemustega). Selle võrrandi lahendamise otseülesandeks oli leida *diagnoosilahend*, ehk siis etteantud testi ja sellega saadud tulemuse (sümptomi) põhjal leida kahtlustatavad rikked. Võrrandist tulenes nüüd ka vahetult otseülesanne – leida etteantud riketele (või, põhimõtteliselt, ka rikete kombinatsioonile) testid.

[11] Р. Убар. Об общей постановке задач тестовой диагностики цифровых схем. Труды Таллиннского Политехнического Института, 1976, 409, с.69-73. R. Ubar. General Definition of the Diagnostic Problem of Digital Circuits. Transactions of Tallinn University of Technology, 1976, No.409, Tallinn, pp.69-73.

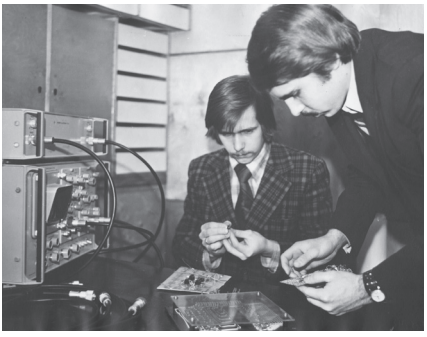
Kateedri õppemeister Sven Liivar mõtleb välja diagnostikaeksperimenti

Selle võrrandi abil lahendasime me esmakordselt diagnostikatesti dešifreerimise ülesande üldjuhtumil, mis eeldas ka mitme rikke korraga eksisteerimise võimalust digitaalses seadmes, välistades samal ajal nende rikete vastastikkust maskeerumist.[12]

Kuna nii testide genereerimisel kui ka rikete diagnoosil on väga oluline roll rikete mudelil, sest mudeli adekvaatsusest reaalsete füüsikaliste defektide suhtes oleneb ka nimetatud ülesannete lahendamise täpsus ehk siis testide usaldatavus ja diagnoosi täpsus. Klassikalise mudelina kasutatakse traditsiooniliselt juba aastast 1959 pärinevat *konstantse rikke* mudelit, mis on olnud kuni viimase ajani tööstuslikuks standardiks. Mõned aastad tagasi on aga tööstuses hakanud juurduma ka uus kontseptsioon – nn. „defektiteadlik testimine" (*defect aware testing*), mille aluseks on defektide modelleerimine nn. *tingimusliku konstantse rikke mudeli* abil. Just niisugune mudel, küll teise nime all – *funktsionaalne rikke mudel* – defineeriti eelpool viidatud artiklis testide dešifreerimise ülesande lahendamiseks.

Matemaatilises mõttes on diagnostikaeksperimendi selline mudel ilus ja mõlema – otse- ning pöördülesande – koosesitusena aitab paljudest probleemidest ning nende seostest paremini aru saada. Meie edaspidises uurimistöös õnnestuski selle teoreetilise lähenemisviisi abil lahendada päris mitmeid ülesandeid, mida seni polnud üldse lahendatud, või ületasid meie uued lahendused vanu efektiivsuselt.

Sisuline erinevus traditsioonilistest lähenemisviisidest diagnostikale seisiski selles, et kui tavaks oli diagnostika objektina vaadelda digitaalskeemi või süsteemi, siis meie vaatlesime diagnostika objektina seda skeemi koos keskkonnaga, milles ta asus ehk siis kogu testimisprotsessi tervikuna.



Juhan Kull vasakul ja Andres Allikmäe labori seadmete tööd diagnoosimas ja parandamas

Praktilises mõttes ei ole Boole'i funktsioonidel põhinev käsitlus otsese tööriistana loomulikult kasutatav reaalsete diagnoositavate süsteemide – arvutite või arvuti komponentide – suure keerukuse tõttu. Kuid selle diagnostika üldvõrrandi lahendamine Boole'i algebra meetoditega ei olnudki üldse võrrandi loomise eesmärk.

Olgu siinkohal veel mainitud, et selles äsja viidatud N Liidu tippajakirja *Automaatika ja telemehaanika* artiklis avaldatud meetod[12] esitati ka 1978. a. maailma tippkonverentsile *Fault Tolerance Computing Symposium* – FTCS[13], mis aga lükati tagasi põhjendusega, et teema pole enam perspektiivne, lisades juurde soovituse tegeleda hoopis (tolle aja kultusteemaga) mikroprotsessorite testimisega.

[12] Р. Убар. Выделение подозреваемых неисправностей в комбинационных схемах методом решения булевых дифференциальных сравнений. Автоматика и телемеханика, 1979, 11, с.170-183. R. Ubar. Fault Diagnosis in Combinational Circuits by Solving Boolean Differential Equations. Automatics and Telemechanics, No.11, 1979, Moscow, pp.170-183.

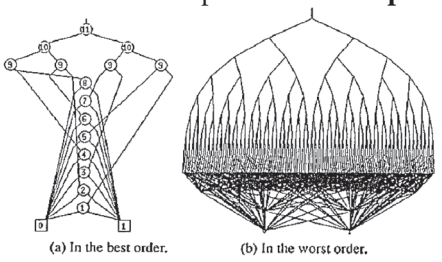
[13] FTCS – Veakindlate süsteemide sümpoosion.

Niisiis, olime oma uue funktsionaalse rikkemudeli väljapakkumisega hiljaks jäänud. Aga täna suure populaarsuse saanud defektiteadlik diagnostika kontseptsioon tõestab, et olime oma funktsionaalse rikkemudeli pakkumisega hoopis 30 aastat liiga vara kohal – ajal, mil selle kasulikkust ei osatud uue buumi eredas valguses märgata.

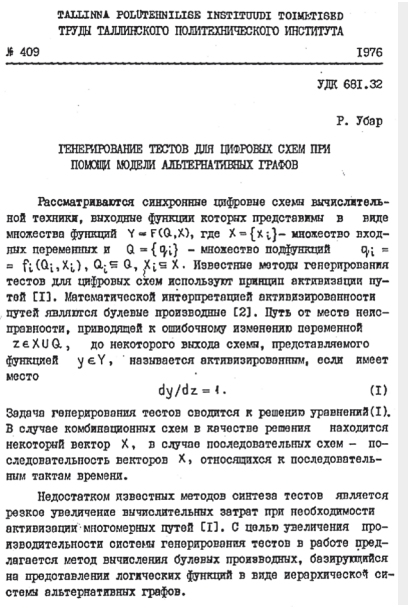
Alternatiivsed graafid

Uue mudeli sünd haigevoodis

1973. aasta sügisel ühel lähetusel Moskvasse peatusin oma sõbra prof. **Vadim Popovi** kodus. Hotellikohti Moskvas oli tol ajal väga raske saada, sest kogu N Liidu ametiajamine käis ju läbi Moskva ja kõigi nende külalishordide jaoks ei jätkunud lihtsalt voodeid. Nii oli väga kasulik omada Moskvas sõpru. Tülitada ei olnud muidugi ilus, aga üks-kaks ööd ei olnud sõprade jaoks ka väga koormav. Seekord aga sain külmapalaviku ja nii tuli Vadimi heasoovlikkust ekspluateerida mitte ainult veel mõne lisaöö võrra, vaid vedeleda ka päevi üksinda tühjas korteris voodilinade vahel. Endale tegevust välja mõeldes täitsin seal voodis siis tundide viisi pabereid Boole'i valemitega.



Kaks alternatiivset graafi sama seadme jaoks. Teaduslik probleem on selles, kuidas leida üles see parim lahendus – minimaalne graaf.



TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 409 1976

УДК 681.32

Р. Убар

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ТЕСТОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ СХЕМ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ГРАФОВ

Рассматриваются синхронные цифровые схемы вычислительной техники, выходные функции которых представимы в виде множества функций $Y = F(Q,X)$, где $X = \{x_i\}$ – множество входных переменных и $Q = \{q_i\}$ – множество подфункций $q_i = f_i(Q_i, X_i)$, $Q_i \subseteq Q$, $X_i \subseteq X$. Известные методы генерирования тестов для цифровых схем используют принцип активизации путей [1]. Математической интерпретацией активизированности путей является булевые производные [2]. Путь от места неисправности, приводящей к ошибочному изменению переменной $z \in X \cup Q$, до некоторого выхода схемы, представляемого функцией $y \in Y$, называется активизированным, если имеет место

$$dy/dz = 1. \quad (1)$$

Задача генерирования тестов сводится к решению уравнений(1). В случае комбинационных схем в качестве решения находится некоторый вектор X, в случае последовательных схем – последовательность векторов X, относящихся к последовательным тактам времени.

Недостатком известных методов синтеза тестов является резкое увеличение вычислительных затрат при необходимости активизации многомерных путей [1]. С целью увеличения производительности системы генерирования тестов в работе предлагается метод вычисления булевых производных, базирующийся на представлении логических функций в виде иерархической системы альтернативных графов.

Teedrajav publikatsioon alternatiivsete graafide teooriasse (1976)

Sirgeldasin täis hulga paberilehti, mis lebasid nii voodil kui põrandal ja püüdsin välja mõelda efektiivset meetodit digitaalskeemide analüüsiks. Lõpuks tüdinesin ja hakkasin naljaviluks valemeid piltidena kujutama. Korraga olid keerulised ja igavad valemid muutunud palju kujundlikumaks ja hakkasid inspireerima mõtlemist hoopis uuel graafilisel tasandil. Ja nii nad siis tekkisidki – need minu alternatiivsed graafid – selles Profsojuznaja prospekti ühe kõrghoone korteris Moskva äärelinnas.

Seal ma tulingi ideele kujutada digitaalskeeme Boole'i avaldiste asemel binaarsete graafidena, mis võimaldasid tõsta simuleerimise jõudlust. Selle asemel, et matemaatilises avaldises kõik muutujad läbi küsitleda ja kõik avaldises olevad tehted läbi arvutada, sai graafilisel pildil kohe kergesti aru, milliseid tehteid on vaja teha ja millistel pole mingit tähtsust. Sellest pildilisest mudelist sai avastus, mis on siiamaani suuresti kujundanud meie uurimisrühmade teadustöö profiili nii TPI elektronarvutite kateedris kui ka Küberneetika instituudi EKB-s. Tol korral ei osanud ma ette kujutada, et sellest uuest graafidel põhinevast matemaatikast kujuneb Boole'i algebra valdkonnas kümnekonna aasta pärast maailmas suur buum.

Avaldamiseni kulus aga ikka veel paar aastat. Esiteks, ei olnud mingit põhjust kiirustada, teiseks oli huvitav ja põnev selle mudeliga lihtsalt mängida ja teda katsetada mitmete diagnostikaprobleemide uurimisel.

1975. aasta kevadel kaitses sellel teemal oma diplomitöö **Virve Vaher**, kes programmeeris teadaolevalt esimesena maailmas loogikaskeemide simulaatori, mis põhines binaarsete graafide kasutamisel. Pärast seda diplomitööd sai jälg siiski maha pandud venekeelse artiklina[14] 1976. a. TPI toimetistes ja samal aastal veel ka ühe saksakeelse konverentsiartiklina[15] Saksa DV-s.

Mõne aja pärast leidsin ühe 1971. aasta konverentsiteeside kogumiku, kus ühes poole lehekülje pikkuses teesis oli kirjeldatud analoogilist mudelit, millele oli ka nimi antud – *alternatiivsed graafid*. Edaspidi hakkasimegi seda graafilist digitaalskeemide esitusviisi selle nime all ehk siis *AG-mudeliks* kutsuma. Hiljem avastasime, et samasugust mudelit oli esmakordselt kirjeldatud juba 1959. aastal, aga *binaarsete programmide* nime all. Ometigi jäid meie graafid endiselt unikaalseteks selle poolest, et peale funktsioonide esituse, mis oli seni olnud selle mudeli rolliks, modelleerisid meie graafid ka skeemide struktuuri, tänu meie väljatöötatud mudeli sünteesi meetodile. See andis täiendava võimaluse kasutada seda mudelit arvutite riistvara diagnostikaks, mille suhtes oleme pioneerideks jäänud meie.

Kahe aasta pärast publitseeris sama mudelit digitaalskeemide modelleerimise eesmärgil ameeriklane **Sheldon Akers**[16], nimetades seda *binaarseteks otsustusdiagrammideks* (*Binary Decision Diagrams - BDD*). Mingit viidet eestlase artikli kohta seal ei olnud. Ameeriklased lihtsalt ei lugenud vene keeles avaldatud töid. Nii läkski just Akersi publikatsioon ajalukku, millele viidatakse kui selle valdkonna kõige esimesele tööle, ehk siis nende graafide esmakasutajaks digitaaldiagnostikas peetakse seni Sheldon Akersit. Alates **Randal Bryant**'i artiklist[17], 10 aastat hiljem, algas selle mudeli kasutamise buum arvutiteaduses.

Jäime ajaloo rataste vahele, kuna me ei osanud ei iseennast ega ka oma leiutist õigesti „müüa". Oleks tulnud kohe kirjutada üks ingliskeelne artikkel ja saata see mõnele korralikule Ameerika ajakirjale. Üheks põhjuseks, et selles „võidujooksus tunnustuse järele" kaotajaks jäime, oli see, et alahindasime kogu saavutust ja ei pidanud seda eriti tähtsaks. Tegime veel ühe vea, millest tuleb juttu pisut hiljem: alahindasime ka võimalusi, mida need graafid sisaldasid, ja uurisime vaid nende ühte piiratud külge, mis oli vahetult seotud üksnes tööga Küberis.

Samas ei avastanud ka Akers kogu tõde. Tema idee käsitles üksnes loogika funktsioonide modelleerimist, meie graafid aga võimaldavad esitada sellele lisaks veel ka reaalse objekti struktuuri, just nii palju, et saaks graafidel modelleerida vahetult ka reaalseid skeemi rikkeid.

Oli veel üks aspekt, mida me tookord kohe ette ei näinud – oma graafide ja nende jaoks välja töötavate diagnostikaalgoritmide üldistamise võimalust kõrgemale tasandile – loogikaskeemide tasandilt funktsionaalsele tasandile. Selline üldistamine tähendas, et graafides realiseeruva binaarse alternatiivsuse asemel tuli mängu paljuväärtuseline alternatiivsus.

---

[14] Р. Убар. Генерирование тестов для цифровых схем при помощи модел альтернативных графов. Труды Таллиннского Политехнического Института, 1976, 409, с.75-81.

[15] R. Ubar. Berechnung von Tests für die Fehlerdiagnose in digitalen Systemen. Proc. of 21. Int. Wiss. Koll. Technical University of Ilmenau, October, 1976, pp. 33-35.

[16] Akers, S. B. (1978, Oct). Functional Testing with Binary Decision Diagrams. J. of Design Automation and Fault-Tolerant Computing (Vol.2), pp. 311-331.

[17] Bryant, R. E. (1986). Graph-based algorithms for Boolean function manipulation. IEEE Trans. on Computers (Vol.C-35), No 8, pp. 667-690.

Seega, kui ühel hetkel loobusime oma graafide nimetusest *alternatiivsed graafid* ja hakkasime järgima maailmas levinud peavoolu nimetust *binaarsed graafid*, siis täna selgub, et meie nimetus *alternatiivsed* oleks isegi õigem ja üldisem mudeli nimi, sest ta hõlmab ka binaarseid graafe kui erijuhtu.

Takistuseks meie mudeli levikule maailmas sai veel üks paradoksaalne lugu. Meil ei olnud veel korralikku publikatsiooni oma graafidest, millel oleks laiem levik kui see 1976. aasta TPI toimetiste artikkel. Olime vahepeal mõnda aega koos aspirandi **Mari Plakiga** seda mudelit edasiarendanud ja kirjutasime seejärel ühe põhjalikuma artikli ning saatsime selle ajakirja Automaatika ja telemehaanika toimetusele. Teadsime, et see ajakiri tõlgitakse Ameerikas ka inglise keelde, mis oleks olnud hea reklaam meie tööle.

Olin korra end Moskvas juba edukalt näidanud ja arvasin, et seekord pole ehk vaja IPU-s seminariga esineda, et sealt spetsiaalset toetust-heakskiitu saada. Artiklit lugesid aga mingid kaks tundmatut retsensenti, kes lükkasid artikli tagasi. Põhjendati, et Boole'i algebra jaoks olevat juba ammu olemas efektiivsemad meetodid, mis on palju paremad kui need graafid, mida meie pakume. Pealegi loeti oluliseks märkida ka seda, et maailmas olevat vaid üksainus inimene (see oli siis **Sheldon Akers** tol perioodil), kes nende graafidega tegeleb, aga kaasatulijaid pole talle ikka veel tekkinud. Järelikult pole see idee perspektiivne.

Aasta pärast kirjutasime Mari Plakiga uue artikli ja palusime võimalust esineda oma tulemustega Moskvas ülelinnalisel Diagnostika seminaril. Nii õnnestus meil oma ideesid vahetult suure foorumi ees kaitsta ja artikkel avaldati.[18] See oli mu kolmas artikkel selles N Liidu kõige tähtsamas ajakirjas.

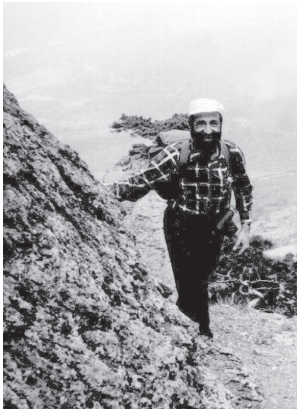
Tavatseti öelda, et kolm artiklit ajakirjas Automaatika ja telemehaanika pidavat tähendama juba doktoritööd. Nii ka läks pisut hiljem. Maril oli selles ajakirjas nüüd üks artikkel ja tema kaitses oma kandidaadiväitekirja 1984. aastal, minul oli kolm artiklit ja mina kaitsesin doktoriväitekirja 1986. aastal. Mari Plaki väitekirja nimetuseks oli *„Digitaalseadmete testide väljatöötamine ja uurimine alternatiivsete graafide abil"* (juhendaja ENSV TA akadeemik, TPI rektor **Boris Tamm**, konsultant dots. **R. Ubar**, oponendid NSVL TA kirjavahetaja liige P. Parhomenko Moskva Juhtimisprobleemide Instituudist ja vanemteadur tehnikakandidaat **Aleksander Birger** Moskva salajasest uurimisasutusest „Almaz").

Pärast aspirantuuri lõpetamist arvutite kateedri juures asus Mari Plakk tööle Tallinna Õppe-uurimiskeskusesse „Algoritm", saades seal diagnostika-alaste uurimistööde initsiaatoriks ja juhendajaks.

Tunnustus Uurali metsade keskel

Ühel päeval 1976. aasta talvel küsis kolleeg **Gabriel Jakobson**, kas ma ei tahaks sõita Uuralitesse Miassi üleliidulisele diagnostikaseminarile. Gabriel töötas sel ajal Küberis, tegeles automaatide teooriaga ja tal oli palju kontakte ning sidemeid üle N Liidu. Õige varsti siirdus ta Ameerika Ühendriikidesse, kus on töötanud eri firmades ning on tänaseks saavutanud arvutiteaduses suure rahvusvahelise tunnustuse. Gabriel pole ka kodumaad unustanud, on meid mitut puhku külastanud oma situatsioonijuhtimise loengutega ning koordineerib koostööd TTÜ ja St. Petersburgi kolledži (Florida) vahel.

[18] M. Plakk, R. Ubar. Test Generation for Digital Circuits by Alternative Graphs. Automatics and Telemechanics, No.5, 1980, Moscow, pp.152-163 (vene k.).



Aleksander Birger – Nõukogude tippdiagnostik, kes 90-ndate algusest töötab Silicon Valley's

Uurali konverentsil avanes mul võimalus tutvuda N Liidu arvutite diagnostika teadlaste paremikuga. Aspirantuuri ajal olin liikunud teistes ringkondades, kus tegeldi põhiliselt lennukite ja rakettide testimisega, seepärast ma seda seltskonda hästi ei tundnud, olin „uustulnuk". Selle konverentsi iseärasuseks oli võimalus registreerida ka lühikesteks 5-10 minutilisteks *ad hoc*-ettekanneteks uute ideede või lahenduste treemal. Selleks, et esinemisõigust saada, tuli aga ka teatavast „sõelast" eelnevalt läbi pääseda. Minul ei olnud Uurali metsade keskele konvrentsile sõites mingit etlemise eesmärki, olin tulnud eeskätt kuulama ja õppima.

Miassis tekkisid mulle aga ruttu uued tuttavad, kellega mõtlesime samu mõtteid ja otsisime samu tõdesid. Ühes kuluaarivestluses juhtusin rääkima ühest uuest ideest elektronskeemide rikete simuleerimisel, mida kodus olime arendamas.

Aleksander Birger, üks noor energiline juudi noormees Moskvast, kuulas samuti mu juttu pealt. Ta oli teaduste kandidaat, töötas ühes Moskva salajases elektroonikatehases ja oma noorusele vaatamata oli juba saavutanud suure tunnustuse terves N Liidus.

„See pole võimalik," ütles Saša mu juttu kuulates.

Läksime tahvli juurde, tegin joonise ja seletasin veel kord. Nüüd sai ka Saša aru uuest ideest ja vaimustus siiralt: „Sa pead kohe meile kõigile ettekande tegema. See on oivaline idee."

Läksime **Parhomenko** juurde, kes oli konverentsi esimees. Mina olin vaid mees metsast, aga kuna kõrval seisis Saša Birger, kes mind vaimustunult reklaamis, jäi Pal Pavlovitš nõusse. Mulle anti viis minutit.

Tehnilise diagnostika teadusvaldkonna koordinaator N Liidus Pavel Pavlovitš Parhomenko

Rääkisin meie uuest meetodist rikete simuleerimisel, mille teoreetiliseks aluseks oli meie diagnostika üldvõrrand. Rikete simuleerimine on diagnostika otseülesande erijuht. Selle eesmärgiks on kindlaks teha, milliseid rikkeid iga testvektor avastab. Kuna diagnoositavates skeemides on võimalikke rikkeid harilikult väga palju, koguni miljoneid, siis pole mõeldav, et testitavat skeemi simuleeritaks iga testvektori ja iga rikke jaoks eraldi. Seetõttu olid juba siis välja arendatud analüütilised meetodid, mis võimaldasid iga testvektori jaoks üheainsa analüüsi seansiga kindlaks teha, milliseid rikkeid see testvektor avastab.

Kui seni osati sellist analüüsi läbi viia üheainsa testvektori jaoks, siis meie uus Tallinnas arendatav meetod tähendas võimalust viia sellist analüüsi läbi paralleelselt korraga paljude testvektorite jaoks. See aga tähendas põhimõttelist murrangut testide analüüsi valdkonnas, mis oleks tähendanud väga suurt hüpet rikete simulatsiooni kiiruses.

Tegin oma improviseeritud ettekande ajapuuduses ja üsnagi konarlikus vene keeles, millest ehk oli isegi raske aru saada. Seejärel võttis aga sõna Saša, kes uuesti mu jutu lühi-

dalt üle rääkis, aga nii, et nüüd said kõik kindlasti aru. Toimus väike diskussioon ja pärast seda sain kogu seltskonnas omainimeseks ...

Edaspidi kutsuti mind juba regulaarselt sellesse iga-aastasesse seminar-kooli, mis toimus eri kohtades üle terve Liidu: Bakurianis, Leningradis, Suzdalis, Riias, Vinnitsas ja mujal. 1984. aastal oli Tallinnas toimunud seminar-kooli peakorraldajaks juba elektronarvutite kateeder koos EKTA-ga.

Pärast Miassi konverentsi tegi **Pal Pavlovitš Parhomenko** mulle ettepaneku rääkida uuest meetodist Moskva juhtimisprobleemide instituudis IAT-is (hiljem IPU) ning kirjutada artikkel ajakirjale Avtomatika i telemehanika. Artikli avaldamise eeltingimuseks selles ajakirjas oli traditsiooniliselt ettekanne üle-Moskvalisel seminaril. Parhomenko laborit number 27, kuhu läksin ettekannet tegema, kutsuti Lõvikoopaks, kust tavaliselt „elusana" välja ei tuldud. Mõnikord siiski õnnestus, nagu minul tookord, aga raske oli küll. Diskussioon kestis kolm tundi, oponeeris teadlaste koorekiht selles valdkonnas. Peagi võisin aga rõõmu tunda oma esimese artikli[19] üle selles ajakirjas.

IAT-is on aspirantuuri läbinud mitmed Eesti juhtivad küberneetikud, nagu **Mark Sinisoo**, **Boris Tamm**, **Raul-Roman Tavast**, **Ants Wõrk**, kellest kõigist kujunesid Küberneetika Instituudi alustalad.

Duell Laadoga ja Oneega järvede vahel

Oneegalt paistavad Kiši saare kaunid puukirikud

Konverentsidel puutusid elektronarvutite kateedri teadurid ja aspirandid tihedamalt kokku erinevate N Liidu diagnostika koolkondadega ja ühistes diskussioonides sündisid uued mõtted ning selgusid uued tõed.

Üks väga keeruline probleem oli ja on tänagi veel *mitmekordsete rikete testimine*. Kõik senised meetodid võimaldasid täpset diagnostikat lihtsustaval eeldusel, et seadmes on üksainus rike.

Teooria mitme üheaegse rikke jaoks puudub seni probleemi keerukuse tõttu – rikkekombinatsioonide arv on ju praktiliselt lõpmatu. Lõpmatust aga pole võimalik loendada. Olime seda probleemi koostöös EKB-ga juba mõnda aega uurinud, mille tulemusena töötasime välja testide genereerimise meetodi, mis võimaldas hakkama saada ilma kordsete rikete kombinatsioone loetlemata. Meetodit oli küll ka varem uuritud ja välja töötatud väga keerulised loogikatingimused, mille puhul oli teste võimalik genereerida üksikutele riketele, aga niiviisi, et selle rikke avastamise võimalust poleks rikkunud mistahes kordsete rikete kombinatsioon.

[19] Р. Убар. Анализ диагностических тестов для комбинационных цифровых схем методом обратного прослеживания неисправностей. Автоматика и телемеханика, 1977, 8, с.168-175· R. Ubar. Analysis of Diagnostic Tests for Combinational Circuits by the Method of Fault Backtracing. J. of Automatics and Telemechanics, No.8, 1977, Moscow, pp.168-176.

Tingimused olid aga väga keerukad ja keegi polnud hakanudki huvi tundma selle meetodi implementeerimiseks ja kasutamiseks. Meil aga õnnestus oma AG-mudelit kasutades leiutada üpris lihtne graafiline meetod, mis selle probleemi palju hõlpsamini lahendas kui kasutades keerulisi Boole'i avaldiste manipulatsioone. Meetod on avaldatud artiklina[20] ja esitatud ettekandena üleliidulisel konverentsil.[21]

See märgiline konverents toimus laeval, mis kurseeris mööda Neevat, Laadogat ja Oneegat. Elasime ühes kajutis neljakesi koos leningradlastega LITMO-st[22] teadusprorektori **Oleg Nemolotšnovi** uurimisrühmast: **Andrei Usvjatski**, **Vladimir Golõnitšev** ja **Nikolai Kolesov** – kõik väga tuntud Nõukogude Liidu diagnostikateadlased. Jutustasin kajutis õlut juues neile oma uuest meetodist, mis võimaldas leida teste elektronskeemi suvaliste rikkekombinatsioonide avastamiseks.

Poisid otsustasid mind testida. Probleem oli neile tuttav, nad olid ka ise sellega tegelenud ja asjata sellele praktiliselt sobivat lahendust otsinud. Järgmisel päeval anti mulle üks paberile joonistatud skeem. Lisati juurde, et selles skeemis on korraga neli riket, mida mul pole vaja teada, ja paluti genereerida selle rikete kombinatsiooni avastamiseks test.

Poiste äärmiseks üllatuseks sai see test viie minutiga valmis. Nüüd hakkasid nemad mu testi analüüsima ja umbes veerand tunni pärast tõmbusid nende näod kahjurõõmsalt muigele. Poisid näitasid, et mu testid ei avasta nende väljavalitud rikete kombinatsiooni. See aga tähendas, et nad olid kontranäite leidnud, mis mu teooria ümber lükkas.

Läksin higiseks, põsed hakkasid õhetama. Järgmisel päeval pidin oma meetodit ette hakkama kandma, aga nüüd polekski ma seda saanud enam teha, sest meetodit polnud ju enam olemas.

Hakkasin oma viga otsima. Õhtul oli laevatekil bankett, aga seekord mitte minu jaoks. Töötasin kajutis edasi. Kell lõi juba kesköötundi ja varsti tulid ka poisid banketilt tagasi kajutisse. Mina ikka veel pusisin teise korruse koikul ... Poisid norskavad. Kell on kolm öösel.

… Ja siis ma leidsin, milles oli asi! Mitte testide sünteesi meetod ei olnud vigane, hoopis kontranäide oli vigane. Tahtsin rõõmust lakke hüpata, aga polnud võimalik, mu koiku, millel lamasin, oli niigi vastu lage. Meetod töötas siiski. Oponentide väljamõeldud rikete kombinatsioon oli kaval, aga kahjuks „liiga kaval". Sest see kombinatsioon oli niisugune, mis ei mõjutanudki skeemi funktsiooni. Seega testi, mis need rikked avastaks, ei saanud põhimõtteliselt olemas olla. Meie nimetame niisuguseid rikkeid liiasteks. Poiste näide oli ebakorrektne ega lükanud meie uut meetodit ümber.

Järgmisel hommikul kajutikaaslased vabandasid, et olid mu eelmise õhtu ära rikkunud. Mu leid oli aga ka neile uudiseks, sest seda näidet olid nad oma uuringutes ennegi kasutanud, teadmata, et see on ebakorrektne.

Meeldiv on siinkohal meenutada, et meie uue meetodi lähteideed tulenesid ühelt poolt meie üldisest diagnostikavõrrandist ja teiselt poolt meie AG-mudelist. Võrrandist tulenes meetod, aga meetodit realiseeriv algoritm tulenes AG-mudelist.

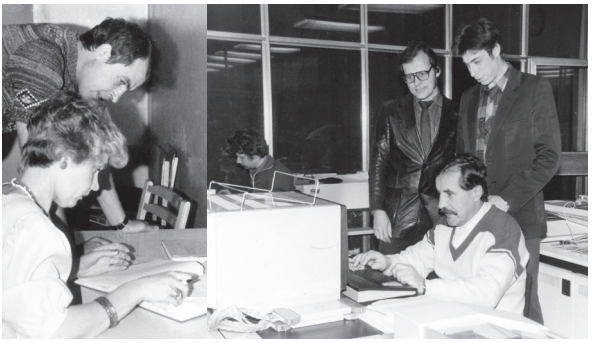
[20] Р. Убар. Построение полных контролирующих тестов комбинационных схем. Известия Академии Наук Эстонской ССР. Физика-Математика, 1982, 31, (4), с.418-428. R. Ubar. Generation of Complete Tests for Combinational Circuits. Journal of Academy of Sciences of Estonia, Vol.31, Phys. & Math., 1982, No.4, pp.418-427.

[21] Р. Убар. Синтез тестов для микропроцессорных систем. Труды VIII Всесоюзного Симпозиума по проблеме избыточности в информационных системах. Ленинград, 1983, с.171-173. R. Ubar. Synthesis of Tests for Microprocessor Systems. Proc. of VIII All-Union Conference on Redundancy in Information Systems. Part III. Leningrad, 1983, pp.171-173.

[22] LITMO – Leningradi Täppismehaanika ja Optika Instituut.

Testigeneraatorite ehitamine

Kateedri esimesed väitekirjade kaitsjad



Vasakul: Paul Leis (kaitses 1983) juhendab kateedri sekretäri Kaiet. Paremal: Peeter Kitsnik (vasakul, kaitses 1981) jälgib koos Uno Kuuskoriga, mida Nigul Piht teeb arvutis.

70-ndate keskel ja teisel poolel programmeeris **Peeter Kitsnik** kaks digitaalskeemide testianalüüsi ja diagnostikasõnastike automaatse sünteesi programmide paketti arvutitele Minsk-22 ja Minsk-32. Programmide teoreetiliseks aluseks oligi see uus paralleelne rikete simuleerimise meetod, millest Miassi konverentsil juttu tuli. Nimetasime selle meetodi hiljem *reversiivseks deduktiivseks rikete analüüsi meetodiks.*[23] Saadud tulemuste põhjal kaitses Peeter 1981. aastal elektronarvutite kateedri esimese väitekirja teemal *Numbriliste skeemide diagnostikatestide analüüsi meetodite uurimine ja väljatöötamine* (juhendaja dots. **L. Võhandu**, konsultant dots. **R. Ubar**, oponendid prof. **L. Abraitis** Kaunase PI-st ja dots. **B. Dobritsa** Moskva Baumani nim. Tehnikaülikoolist.).

Nagu juba öeldud, kaitses 1984. aastal elektronarvutite kateedris kolmanda aspirandina oma väitekirja **Mari Plakk**, kelle juhendajaks oli akad. **Boris Tamm**.

Mõlemat tööd juhendas küll sisuliselt Raimund Ubar, aga tolle aja reeglite järgi omistati aspirantide ametlik juhendamise õigus ainult „väljavalitutele". Juhendamise õigust ei andnud automaatselt veel teaduste kandidaadi kraad ega ka dotsendi ametikutse. Kui need kaks tingimust olid täidetud, siis olid küll juba olemas vajalikud eeldused, aga juhendamise „õiguse saamiseks" tuli veel teha spetsiaalne taotlus N Liidu Kõrghariduse Ministeeriumile. Pärast Peetri ja Mari kaitsmisi saigi see taotlus tehtud ja oma järgmisi aspirante oli R. Ubaril juba õigus ise juhendada.

Kateedri teise väitekirja kaitses 1983. aastal **Paul Leis** teemal *„Mikroprogrammautomaatide dekompositsioonil põhinevate sünteesimeetodite väljatöötamine"*. Töö juhendajaks oli kateedri juhataja dots. **Andres Keevallik**. Kõik kolm väitekirja kaitsti Küberneetika Instituudi teadusnõukogu ees, mille juhatajaks oli akadeemik **Nikolai Alumäe**.

Koostöös Küberneetika instituudi EKB-ga hargnesid teoreetilised uuringud kolmes suunas: testide automaatne süntees, testide analüüs ja simuleerimine ning diagnostikaeksperimentide dešifreerimine koos rikete otsimisega. Uurimiste ring oli lai, aga tänu ühtsele lähenemisviisile osutus võimalikuks küllalt vähese arvu uurijate tööd kompleksselt rakendada.

Testigeneraator NAKS

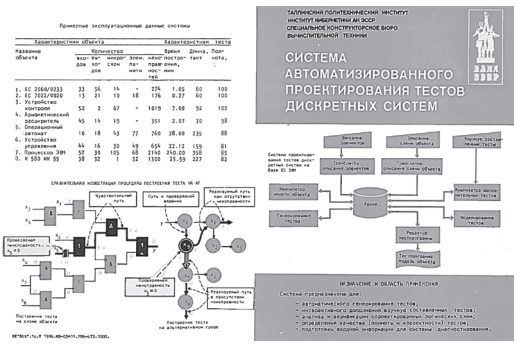
Kekseks probleemiks koostöös Küberneetika Instituudi EKB-ga tõusis diagnostikatestide masinprojekteerimine. Tellijaks oli üks numbriline tehas Moskvas, kes töötas välja

23 Китсник П. А. О результатах дедуктивного анализа тестов в комбинационных схемах. Тр. Таллинского Политехнического Института. 1977. Нр. 432, с. 25-29.

elektroonikaplaate ning vajas nende testimiseks vahendeid – nii aparatuurseid testreid kui ka automaatseid tarkvara põhiseid testigeneraatoreid. Mõlemad ülesanded sai endale EKB ja EKB lepingulise partnerina TPI elektronarvutite kateeder. Uurimistöid koordineeris EKB projektijuht **Tõnu Lohuaru**.

Tiražeeritavaid tarkvaralisi täisautomaatseid testigeneraatoreid elektronskeemide testimiseks N Liidus tol ajal ei olnud, aga selle probleemiga tegeldi paljudes N Liidu ülikoolides ja uurimisasutustes. Eksisteerivate süsteemidega oli see häda, et nad olid liiga keerulised, nii et neid oskasid testimise eesmärgil piisavalt hästi „mõista" ainult süsteemide autorid ise. Põhjus oli lihtne: arvutite elementbaasi kiire areng tähendas seda, et aastaid kestnud programmeerimistöö tulemusena valminud ülikeerukad testide masinprojekteerimise süsteemid osutusid juba sünnihetkel moraalselt vananenuks. Neid tuli pidevalt täiendada ja nendega töötades mitmesuguseid ainult autoritele teada olevaid võtteid kasutada. Säärastes tingimustes võeti TPI ja EKB teadurite ja programmeerijate poolt eesmärgiks töötada välja kaugema perspektiiviga diagnostika põhimõtteid, arvestades maailmas toimuvat integraalskeemide nomenklatuuri ja suuruse tormilist kasvu.

Aluseks selles ettevõtmises sai alternatiivsetel graafidel põhinev digitaalskeemide diagnostikamudel. Meie kontseptsioon lähtus võimalusest rakendada ühtset käsitlust laiale objektide klassile, hõlmates mitmeid arvutustehnika abstraktse kirjeldamise tasandeid. Esialgu piirdusime siiski loogikatasandiga, kuid ka siia tõime sisse hierarhia – võimaluse töötada nii elementaarsel loogikaelementide tasandil kui ka kõrgemal makrode (alamskeemide) tasandil.



Reklaamleht ATI ja EKTA koostöös valminud testigeneraatori NAKS kohta, mis sai N Liidu Rahvamajandussaavutuste Näitusel hõbemedali

Sellesuunalist koostööd alustasime EKB-ga 1975. aastal. Erinevalt seni kasutusel olnud teoreetilistest vahenditest võtsime digitaalskeemide diagnostikamudeli loomiseks tarvitusele meie uue graafilise AG-mudeli, sellesama, mis oli aluseks saanud **Mari Plaki** väitekirjale. EKB poolt lülitus töösse **Martin Pall**, kelle juhtimisel ja otsesel osalemisel valmis peagi esimene versioon tarkvarast arvutile EC-1022, mida hiljem sai kutsutud nimega **NAKS** – *Numbriline Automaatne testide generaator Kombinatoorsetele Skeemidele*. Süsteemi väljatöötamisel andsid suure panuse Martin Palli töögrupis töötanud **Aare Jõgi** ja **Andrus Voolaine**. TPI töögrupis töötasid süsteemi NAKS valmimise nimel peale **Peeter Kitsniku** ja Mari Plaki veel **Agu Viilup** ja **Teet Evartson**. Süsteem NAKS pälvis laialdast tähelepanu N Liidus ja selle hilisemat versiooni autasustati Rahvamajandussaavutuste Näituse hõbemedaliga 1986. aastal.

TPI ja EKB teadurite koostöös uuriti kõigepealt AG-mudelit ennast eesmärgiga seda parandada ja efektiivsemaks teha. Erinevalt analoogsetest uuringutest USA-s, Tšehhoslovakkias, Poolas ja mujal, asetati rõhk diagnostikaobjekti struktuursete aspektide kajastamisele mudelis funktsionaalsete kõrval. Töötati välja meetodid nii struktuursete kui ka funktsionaalsete AG-mudelite esitamiseks skeemi komponentidele, mis andsid võimaluse tõhusalt juhti-

da hierarhilist testisünteesi protsessi, kasutades ühtede komponentide jaoks struktuurseid ja teiste jaoks funktsionaalseid AG-mudeleid, tõstes niiviisi generaatori töökiirust.[24,25]

> Funktsionaalsete AG-mudelite jaoks õnnestus välja töötada meetod täielike universaaltestide jaoks, mis ei sõltunudki vaadeldava skeemi realisatsiooni detailidest. Kui seni tuntud analoogsete meetodite keerukus oli $O(n^2)$ ehk siis testi pikkust iseloomustas ruutkeerukus, siis uue meetodi puhul õnnestus seda keerukust vähendada, viies ühe keerukuse dimensiooni logaritmiliseks – $O(n \log^2 n)$.[26]

Uurimistulemused, mis saadi testide generaatori NAKS loomisel, vormistati süsteemi autori Küberneetika Instituudi EKB aspirandi **Martin Palli** kandidaadiväitekirjas „*Digitaalseadmete testide genereerimise süsteem alternatiivsete graafide baasil*“ (juhendaja dots. **R. Ubar**, oponendid prof**. D. Speranski** Ukraina NSV TA Rakendusmatemaatika ja Mehaanika Instituudist Donetskist ja vanemteadur **M. Karavai** Moskva Juhtimisprobleemide Instituudist).

Digitaalskeemide testide generaatorit NAKS autasustati hõbemedaliga 1986. aasta Rahvamajanduse näitusel Moskvas.

Eksirännakutest teadustöös

Küberneetika Instituudi EKB, mis õige ruttu sai uue nime EKTA, kolimisest Mustamäele oli suur kasu, sest koostööpartnerid, EKTA ja TPI asusid nüüd teineteisest viie minuti tee kaugusel, mis soodustas koostööd. Külastasime üksteist vähemalt kord nädalas kui mitte tihedamini. Tegime kõike lausa ninapidi koos. Harilikult tähendab ülikooli ja tööstuse vaheline koostöö seda, et tegelik askeldamine käib ikka eraldi nurkades ja vaid aruandmiseks tullakse kokku. Põhjuseks oli ka see, et arendasime tõeliselt uusi asju, kus raamatutest polnud midagi juurde lugeda ja tulemused tekkisid väga sageli üksnes ajurünnakute abil.

> See oli tõeline **teadustöö romantiline aeg,** mis tähendas seda, et uusi tulemusi saadi eeskätt paberi ja pliiatsi abil ning teaduslikud diskussioonid toimusid peaasjalikult üksnes inimeste vahel, mitte aga inimese ja arvuti vahel nagu täna. Kui tol perioodil prevaleerisid teadusartiklites ka tehnikateaduste valdkonnas teoreemid ja tõestused, valemite tuletamised, siis täna ei ilmuks näiteks diagnostika valdkonnas enam ükski artikkel, kui seal pole toodud graafikuid ja tabeleid ulatuslike arvutisimulatsiooni eksperimentide kohta. Ühest küljest tähendab see teatavat teadustöö taseme allakäiku, vähendades publikatsioonides teoreetilise diskussiooni tähtsust ja püüdes rõhu asetada rohkem praktilisele küljele, mida on suhteliselt kerge demonstreerida artikli eksperimentaalse töö kirjeldamisega. Teisest küljest niisugune „**kergus**“ on ka petlik, sest nii simulatsiooni eksperimentide kui ka reaalsete füüsikaliste eksperimentide läbiviimine võib paljude probleemide puhul väga kalliks, töö- ja ajamahukaks ning keeruliseks osutuda.

Aare Jõgi ja **Martin Palliga** oli väga tore ja viljakas koos töötada. Nad mõlemad olid väga kriitilised ja pedantsed, professionaalsete programmeerijatena kontrollisid nad alati

[24] M. Pall and R. Ubar. Computer-Aided Module-Level Test Generation for Digital Devices on the Basis of their Alternative-Graph Model. Preprints of IFAC/IFIP 2nd Int. Symposium, Prague, Czechoslovakia, 1979, v.1, pp. C-XIII-1-4.

[25] Т. Лохуару, М. Палль, Р. Убар. Автоматический синтез тестов для диагностики цифровых устройств. Известия Академии Наук Эстонской ССР. Физика-Математика, 1983, 32, (1), с.84-94. T. Lohuaru, M. Pall, R.Ubar. Automated Test Synthesis for Fault Diagnosis in Digital Devices. Journal of Academy of Sciences of Estonia, Vol.32, Phys. & Math., 1983, No.1, pp.84-94.

[26] Р. Убар. Генерирование универсальнх тестов для дискретных устройств на альтернативных графах. Труды Таллиннского Политехнического Института, No.601, 1985, pp.51-60. R. Ubar. Generation of Universal Tests for Digital Devices by Alternative Graphs. Transactions of Tallinn University of Technology, No.601, 1985, Tallinn, pp.51-60.

meie uusi ideesid korrektsuse ja programmeeritavuse seisukohast. Mõlemad olid väga töökad ja kohusetundlikud insenerid.

Kui Aare ühel päeval arsti juurest tuli ja saatekirjalt märke „onkoloogia" välja luges, täpsemalt, et talle oli antud vähi diagnoos, algas meil suur mure. Me ei kujutanud ette, et peaksime Aare kaotama. Pärast operatsiooni käisime projektijuhi **Tõnu Lohuaruga** teda Hiiu haiglas vaatamas. Aare oli nõrk ja tundmatuseni muutunud, kogu magu oli tal ära lõigatud. Varsti peale haiglast väljatulekut lülitus ta õige pea küll uuesti töösse, aga nüüd oli tal muidugi palju raskem. Kuna tal magu praktiliselt ei olnud, sai ta korraga süüa vaid vähehaaval. Mäletan, kuidas ta keset arutelu äkki püsti tõusis ja kõrvale läks, et ära süüa üks kohuke ja siis jälle koosolekule tagasi tulla. Aasta pärast operatsiooni Aare suri.

Tõnu Lohuaru (vasakul) ja Andrus Voolaine. Paremal: Ahto Buldas, kes ütles, miks meie simulaator valesti töötab.

Aaret asendas hiljem aga väga edukalt noor Tartu Ülikooli lõpetanud matemaatik **Andrus Voolaine**. Olin elektronskeemide dünaamika modelleerimise kiirendamiseks välja mõelnud ühe uue meetodi – *signaalide mitmemõõtmelise simuleerimise AG-mudelil*. Kui tavaline 2-väärtuseline algebra võimaldas esitada üksnes signaalide loogikat, siis väärtuste arvu suurendamine võimaldas arvestada ka signaalide ajalisi faktoreid ning modelleerida reaalseid skeeme adekvaatsemalt.

Andrus pakkus välja huvitava ja elegantse täienduse, mis tegi meetodi veelgi kiiremaks. Avaldasime saadud tulemused ühes artiklis ja sellest meetodist sai üks peatükk ka Andruse väitekirjas. 1986. aastal, samal aastal kui Martin, kaitses ka Andrus oma teaduste kandidaadi dissertatsiooni pealkirjaga „*Digitaalseadmete testide modelleerimine ja diagnostiline analüüs alternatiivsetel graafidel*" (juhendaja dots. **Raimund Ubar**, oponendid prof. **A. Romankevitš** Kiievi Polütehnilisest Instituudist ja **J. Skobtsov** Ukraina TA Rakendusmatemaatika ja Mehaanika Instituudist).

Kümmekond aastat hiljem aga programmeeris selle *mitmeväärtuselise simuleerimise meetodi* uuesti meie kateedri tudeng **Kalle Pungas** ja me hakkasime seda uut programmi kasutama ka õppetöös. Minu tookordne magistrant **Ahto Buldas** märkas aga kord anomaaliaid selle programmi töös: mõnikord osutusid simulatsiooni tulemused vigasteks. Ahtot hakkas probleem huvitama ja viimaks avastas ta, et see optimeerimise idee[27], millega me koos Andrusega esialgset algoritmi olime täiendanud, osutus vigaseks. Ka nii juhtub mõnikord teaduses.

Ahtost on saanud tänaseks maailmas tunnustatud krüptoloogia spetsialist. Ta on ka vist senini kõige noorema teadlasena saanud professoriks Tallinna Tehnikaülikoolis.

See simuleerimisalgoritmi viga sai hiljem parandatud ühes teises artiklis[28], mis küll muutis algoritmi mõnevõrra aeglasemalt toimivaks.

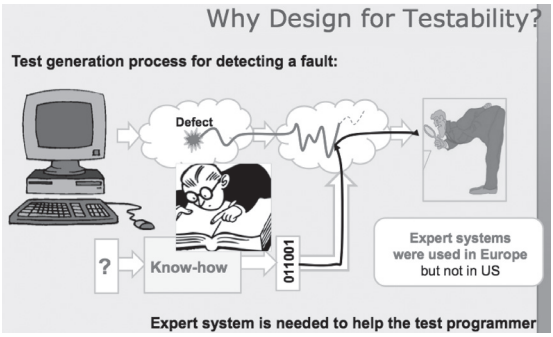
---

27 А. Воолайне, М. Палл, Р. Убар. Обобщённый подход к многозначному моделированию цифровых схем на модели альтернативных графов. Труды Таллиннского Политехнического Института, No.530, 1982, pp.23-38. A. Voolaine, M. Pall, R. Ubar. General Approach to Multi-Valued Simulation of Digital Circuits on Alternative Graphs. Transactions of Tallinn University of Technology, No.530, 1982, Tallinn, pp.23-38.

28 R. Ubar. Multi-Valued Simulation of Digital Circuits with Structurally Synthesized Binary Decision Diagrams. OPA (Overseas Publishers Assotiation) N.V. Gordon and Breach Publishers, Multiple Valued Logic, Vol.4, pp. 141-157, 1998.

Miks ameeriklased ei armastanud ekspertsüsteeme?

„Sellepärast, et USA-s insenerid, käivitanud arvutiprogrammi, tahaksid minna vahepeal kohvinurka kolleegidega juttu ajama, selle asemel, et jääda istuma arvuti kõrvale, et aeg-ajalt olla valmis arvuti „rumalatele küsimustele" vastama. Euroopas osteti 90-ndatel diagnostika ekspertsüsteeme agaramalt, sest eurooplane on distsiplineeritum ja eneseohverdusmeelsem." Nii arvas üks ameerika teadlane ühe konverentsi diskussioonipaneelil. Eurooplased, kes sama laua taga istusid, ei vaielnud vastu.



Arvuti jäi hätta, sest tal pole piisavalt intellekti. Appi tuleb ekspert kes ütleb arvutile, kuidas protsessi jätkata.

Eelmainitud testide masinprojekteerimissüsteemi NAKS sai kasutada keeruliste digitaalskeemide testprogrammide automaatseks koostamiseks. Spetsiaalses keeles tuli arvutisse sisestada testitava objekti (näiteks elektroonikaplaadi) kirjeldus (plaadil olevate mikroskeemide nimed ja nende ühendused). Sõltuvalt objekti keerukusest (kuni mõni tuhat elementi) võttis testide genereerimine tookord aega mõned minutid kuni mõni tund. Inimesel oleks kulunud vastavate testprogrammide koostamiseks käsitsi nädalaid kui mitte kuid, kusjuures inimene poleks muidugi suutnud ära hoida eksimusi oma programmis. Ja just käsitsi neid teste tehtigi selles firmas, kes meilt oli NAKS-i tellinud.

Meie süsteemi kasutati edukalt mitmetes Moskva ettevõtetes universaal- ja spetsiaalarvutite montaažplaatide testide automaatseks koostamiseks ning nende korrektsuse ja täielikkuse kontrolliks. Samuti juurutasime selle süsteemi oma kateedris laboritööde läbiviimise ning kursuse- ja diplomiprojektide täitmise eesmärgil kasuliku tööriistana. Süsteemi rakendamiseks õppetöös koostas **Peeter Kitsnik** ka vastava õppevahendi.[29]

Brošüür oli venekeelne, kuna meil tuli õpetada ka vene õppegruppide tudengeid, kellel polnud kohustust osata eesti keelt. Eestlastel üldiselt probleeme vene keele tundmisega ei olnud. Kui ühe ja sama loengukursuse dubleerimisega mõlemas keeles raisati üsna palju nii raha- kui ajaressursse, siis sedavõrd õnnestus kokku hoida dubleerimise vältimisega õppevahendite väljatöötamisel. Niiviisi aga imbus tasapisi ülikooli sisse võõrkeele prevaleerimine rahvuskeele ees. Kannatas eelkõige eestikeelse terminoloogia areng. Rahvuslikult mõtlevad õppejõud püüdsid võidelda selle tendentsi vastu, aga raiskasid seejuures eestikeelsete õppevahendite väljatöötamisega oma aega ja paratamatult hakkas kannatama seetõttu ka nende teadustöö kvaliteet.

Süsteemi NAKS kasutamisel praktiliste ülesannete lahendamisel tuli aga kokku puutuda aeg-ajalt mitmesuguste objektiivsete raskustega: objekti printsiipskeem osutus mõnikord ebapiisavaks lähteinfoks testide automaatsel projekteerimisel keerulisematele objektidele, mis omakorda tingis vajaduse inimese ja masina vahetumale interaktiivsele koostööle omavahel. Ebakompetentsemate kasutajate hulgas, kes lootsid hakkama saada „ainult nupule vajutamise põhimõttel", tekitas see väärpretensioone, nagu ei täidaks

[29] Система проектирования тестов для цифровых автоматов. Сост. П. Китсник, Т. Лохуар Р. Убар. Таллин: ТПИ, 1984, 58 с.

Laboratoorne baas paraneb. Uus õppeklass: CM 1800, CM 1420 ja DVK-2 terminalid. Meelis Antoi esiplaanil.

süsteem talle esitatud nõudeid – teste täisautomaatselt genereerida.

Arvutite tehnilise diagnostika täisautomatiseerimisega oli seotud neil aegadel järgmine paradoks. Ühelt poolt, arvutustehnika projekteerimine toimus enamjaolt paljuski käsitsi, sest rakendatavad meetodid polnud formaliseeritavad ning seega kujutasid endast loomingulist tegevust selle otseses mõttes. Teiselt poolt aga, soovitav diagnostikatarkvara pidi olema targem kui see inimene, kes oli projekteerinud testitava süsteemi, sest erinevalt projekteerijast (süsteemi disainerist) tuleb diagnoosimisel arvestada teabega mitte ainult selle kohta, kuidas süsteem peab töötama, vaid ka selle kohta, kuidas süsteem võiks käituda kõikvõimalike rikete korral. Siit siis tulenebki järeldus, et diagnostika tarkvara (masina) intellekt peab olema kõrgem (!) projekteerija (inimese) omast.

Niisugusest olukorrast oleks kaks väljapääsu.

Esiteks, keeruliste süsteemide projekteerimisel tuleks nõuda projekteerijatelt teatavatest kitsendustest (reeglitest või kaanonitest) kinnipidamist, s.t. suruda alla loomingulist vabadust projekteerimise etapil. Neid kaanoneid, mida on kindlasti lõplik hulk, oleks võimalik masinale „selgeks õpetada", võimaldades tal seega „tunnetada kõiki projekteerija mõtteid ja kavatsusi". Nimelt niisuguses suunas on hiljem mindudki – tuues ellu uuelaadilise projekteerimise paradigma – „testikõlbuliku projekteerimise" (DFT – *design for testability*). Testide masinprojekteerimine pole mõeldav, kui kõik projekteerimisprotsessid ei ole formaliseeritavad. Tänapäeval näiteks on tööstuses keelatud projekteerida niisugusi järjestikskeeme (sisemäluga tagasisidestatud skeeme), milliseid pole testimise hetkeks võimalik automaatselt ümber konfigureerida kombinatoorseteks skeemideks. Põhjus on selles, et kombinatsioonskeemidele on õpitud lõpuks täiesti automaatselt teste genereerima, mida aga pole suudetud teha järjestikskeemide jaoks.

Teiseks, kuni testide masinprojekteerimine pole täielikult teostatav, tuleks testitava objekti kirjeldust täiendada vastava lisateabega spetsiaalselt testide generaatori jaoks, milleks võivad olla andmed (nn. eksperdi teave) objekti töörežiimide ja kasutatavate funktsioonide kohta võimalikult otsesel ja lihtsal kujul. Printsiipskeemides on selline info varjatud ja esitatud raskesti „välja õngitsetaval" kujul.

Seda teist teed minnes põrgatakse harilikult raskustesse arvuti varustamisel niisuguse ekspertteabega. Sest arvutustehnika tormilise arengu tingimustes muutuvad pidevalt nii komponentide baas, kui ka projekteerimise tehnoloogiad ja meetodid, mistõttu ei ole erilist mõtet näha vaeva ajutise info genereerimisega, mis kiiresti aegub. Seetõttu kestis ekspertsüsteemidega toetatud testigeneraatorite ehitamine 80-ndatel ja 90-ndatel vaid üürikest aega ja mindi lõpuks üle testikõlbuliku projekteerimise paradigmale. Selleks ajaks oli elementide tihedus integraalskeemides juba sedavõrd kasvanud, et testikõlbulikkuse tagamiseks vajalik lisaaparatuur, mis tuli kiipi lisaks projekteerida, polnud enam probleem.

Ameeriklased said lõpuks oma tahtmise – testigeneraatorid, mis töötasid nupule vajutamise põhimõttel. Ja seega olid nõukogude ajast tuntud „suitsutunnid" ehk kohvijoomised ameeriklaste jaoks jällegi võimalikud. Aga aeg läks veelgi edasi (tehnoloogia samuti) ja saabusid uued probleemid. Testigeneraatorid hakkasid liiga kiiresti töötama ja hoidma taas insenere ekraani taga, seekord mitte enam jõude, vaid andes koheselt vastuseid inseneride küsimustele.

Heal lapsel mitu nime

Suurte ja ülisuurte integraalskeemide kasutuselevõtt arvutustehnikas põhjustas uue – *keerukuse probleemi* drastilise „kohalejõudmise" diagnostikaülesannete lahendamisel. Traditsioonilised meetodid, mis põhinesid digitaalsete süsteemide ainuüksi loogikalisel käsitlusel, muutusid „üleöö" kõlbmatuks, sest ülisuurte integraalskeemide kirjelduse maht loogikatasandil osutub liiga suureks kõige võimsamategi arvutite jaoks, põhjustades loogikatasandil toimuva testide sünteesi keerukuse ja ajakulu eksponentsiaalset kasvu. Niisuguste süsteemide (nt mikroprotsessorite) modelleerimiseks rikete diagnostika eesmärgil puudus matemaatika ja testprogramme kirjutati käsitsi. Aluseks võeti seejuures *manuaalides esitatud käsusüsteemid* – informatsioon, mida kasutati tarkvara loomiseks. Käsitsi kirjutatud intuitiivsete testide puhul puudus aga igasugune *usaldusväärsus* testimise kvaliteedi suhtes.

Siin avastasime nüüd ootamatult niši oma spetsiaalse graafide teooria ehk AG-mudeli rakendamiseks, leides viisi, kuidas seda mudelit kergesti üldistada kasutamiseks madala ja liigse detailirohkusega seotud loogikatasandi kõrval ka kõrgematel ja jämedakoelisematel funktsionaalsetel tasanditel, milleks võisid olla *käsusüsteemid* või käske esitavad *mikroprogrammid*. Selle võimaluse andis meile kaks olulist leidu, mis tulenesid keerukate süsteemide traditsioonilisest jagamisest kahte ossa: *juhtosaks*, mis jagas süsteemi siseselt käske ja *operatsioonosaks*, kus neid käske täideti. Juhtosa puhul õnnestus säilitada peaaegu 100%-line üksühene vastavus kõrge ja madala taseme vahel, operatsioonosa õnnestus aga tükeldada mõistliku keerukusega osadeks, kus endiselt sobisid kasutamiseks loogikameetodid. Mudeli üldistamise põhiidee seisnes nii uute *muutujate klasside* sisseviimises senisele lihtsale loogikamuutuja klassile lisaks (vektorid, täisarvud, impulssjadad, aja- ja tsüklimuutujad jne.), kui ka vastavate uute *rikete mudelite* väljatöötamine.

Tööd AG-mudeli üldistamise eesmärgil keerukate süsteemide diagnoosimiseks algasid juba 70-ndate lõpul[30,31] ja said täie hoo 80-ndate esimesel poolel. 70-ndate lõpul alustasime nn. vektorgraafide sissetoomisega ja nende kasutamisega testide genereerimiseks. Sarnane mudel nn. sõnade tasemel otsustusdiagrammide (*word-level decision diagrams*) sai uurimisobjektiks alles 90-ndatel.

Just sel perioodil oli meie valdkonda haaranud teatav kriis ka traditsiooniliste trükkplaatide testimisel loogika tasandil, sest ei suudetud hakkama saada järjestikskeemidele (automaatidele) testide formaalse sünteesiga. Lahendus oleks olnud lihtne – oleks vaja olnud modelleerida neid automaate kõrgemal mikroprogrammilisel tasandil, mille jaoks meil oli ka teooria nüüd kujunemas. Paraku oli tööstuse projekteerimispraktika selline, et testitavate objektide (elektroonikaplaatide) kirjeldused, mille põhjal tuli teste sünteesida, esitati üksnes loogika tasandil. Kui küsisime tööstusest (meie partneriks oli N Liidu elektroonika tipptööstus) kõrgema tasandi kirjeldusi, siis neid lihtsalt ei eksisteerinud. Ja kui eksisteerisidki, siis üksnes projekteerijate peades, sest sellist dokumentatsiooni ei vajanud keegi (peale meie – diagnostikute).

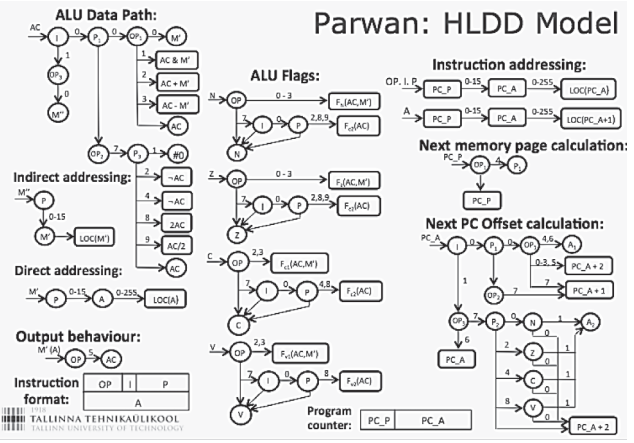
Võtsime siis ühel teataval perioodil ette ülesande hakata seadme skeemist (loogikaelementide võrgust) ise välja dešifreerima mikroprogrammi, mida sellesse skeemi „pei-

[30] R. Ubar. Description of Digital Devices by Alternative Graphs. Transactions of Tallinn University of Technology, No.474, 1979, Tallinn, pp.11-33.

[31] R. Ubar. Beschreibung Digitaler Einrichtungen mit Alternativen Graphen für die Fehlerdiagnose. Nachrichtentechnik/ Elektronik, (30) 1980, H.3, pp.96-102.

tunud“ automaat oli mõeldud täitma. Põhimõtteliselt oli see ülesanne muidugi lahendatav (analoogiliselt näiteks *mikroprotsessorite pöördprojekteerimisega kiibi mikrostruktuuri analüüsi teel*), aga see tundus nõme, sest teadsime, et projekteerimiskultuur peab lähiajal niikuinii muutuma ühetasandilisest lähenemisest mitmetasandiliseks ehk hierarhiliseks. Ja nii see ajalooliselt ka läks.

Oma graafiteooria arendamisel 80-ndate algul olime liiga palju (!) ajast ees, eeskätt võimaluste leidmisel selle uue teooria rakendamiseks. Ja see maksis meile hiljem ka kätte. 80-ndate teisel poolel mitmetel praktilistel põhjustel (rakendusvõimaluste mitte leidmine ja teadustöö teisejärguliseks muutumine 80-ndate lõpul ja 90-ndate algul) hakkas tasapisi raugema meie ind selles suunas edasi minna. Aga just siis hakkas muu maailm just selles suunas liikuma ja peagi nägime vaid mööduva kiirrongi saba.



Alternatiivsete graafide kõrgtasandi mudel keeruka süsteemi – mikroprotsessori PARWAN jaoks. Graafi tipud tähendavad signaale või funktsioone ja nooled näitavad, kuidas funktsioonide täitmine sõltub juhtsignaalide kombinatsioonidest. AG-mudel on instituudi teadlaste looming.

Aga 80-ndate algul oli entusiasm veel suur. Ja uued ideed haarasid meid jäägitult. Me loobusime küll elektroonikaskeemide pöördprojekteerimisest mikroprogrammideks, mida skeemid realiseerima pidid, aga läksime palju perspektiivsemas suunas – võtsime ette uusimate mikroprotsessorite manuaalid ja hakkasime mikroprotsessoritele ja teistele süsteemikomponentidele käsitsi AG-mudeleid ehitama. Demonstreerisime uute mudelite kasutamise võimalikkust ja suure efektiivsuse saavutamist suurte integraalskeemide puhul vastavate näidetega mikroprotsessorite testprogrammide formaalsel sünteesil.[32,33,34]

AG-mudeli üldistamine loogikatasandilt kõrgemale mikroprotsessorite käsusüsteemide tasandile seisnes kahes võttes: esiteks lubati alternatiivse graafi (otsustusdiagrammi) tippude väljundite arvu suurendada kahelt väljundilt suvalise arvu väljunditeni ja terminaaltippudele anda Boole'i graafide kahe konstandi 0 ja 1 asemel Boole'i vektorite või Boole'i vektorfunktsioonide interpretatsioon. Siit tuli ka uus nimetus AG-mudelile – *vektoralternatiivsete graafide mudel* (VAG-mudel).

Kuna hilisemas ajajärgus läksime elu sunnil *alternatiivsete graafide* (AG) nimetuselt üle peavooluna juurdunud *binaarsete otsustusdiagrammide* (*Binary Decision Diagrams* – BDD) nimetusele, siis nüüd olime hädas uuele üldisema kõrgema tasandi AG-mudelile nimetuse leidmisega. Kuna tegu oli ikkagi endiselt otsustusdiagrammiga, siis asendasime nimetuses BDD sümboli B lihtsalt sümboliks HL tähistamaks kõrgema tasandi graafmudelit (HLDD – *High-Level Decision Diagrams*). Vana nimetuse puhul oleks AG jäänud ikkagi AG-ks sõltumata sellest, millist tasandit vaadeldakse, loogika- või kõrgemat tasandit.

---

32 R. Ubar. Test Generation for Digital Systems on the Vector Alternative Graph Model. Proc. of the 13th Annual Int. Symp. on Fault Tolerant Computing, Milano, Italy, 1983, pp.374-377.

33 A. Toomsalu, R. Ubar. Data Generation in Test Development for Microprocessors. Transactions of Tallinn University of Technology, No.530, 1982, Tallinn, pp.63-73 (in Russian).

34 T. Lohuaru, O. Räisa, T. Toome. Mathematical Model for the Structure and Functions of Microprocessor VLSI. Proc. of TTU, 1986, No 601, c. 75-82.

Selle AG-mudeli arendustööga tuli huviga kaasa ka EKTA. Koos töötasime välja algoritme HLDD-mudeli (tookord küll VAG-mudeli) sünteesi automatiseerimiseks, keele väljatöötamiseks süsteemide manuaalides oleva tekstilise info kirjeldamiseks ja siis ka selle mudeli baasil juba testprogrammide sünteesi automatiseerimiseks mikroprotsessorsüsteemidele ja komponentidele. Selle teema kallal töötasid EKTA-s **Mati Männisalu** (keele küsimused), **Olev Räisa** (mudeli süntees), meie kateedri poolt algul **Tõnis Toome**, **Teet Evartson** ja **Agu Viilup**, seejärel **Viktor Zaugarov**, hiljem võtsid probleemi üle **Villem Alango** ja **Toomas Kont**. Kahjuks käsitsi töö lõplikule automatiseerimiseni me siin siiski ei jõudnud. Vastu tulid muutuste aastad 1987-1992, kui kateedris uurimistöö ei olnud enam väga motiveeritud.

Teaduste kandidaadi kraadi kaitses sellest kateedri töörühmast vaid **Teet Evartson** (1986) tänu sellele, et ta fokuseeris oma töö kindlale konkreetsele probleemile – meetodite uurimisele rikete otsimiseks digitaalskeemides, mis leidis ka praktilise rakenduse elektroonikaskeemide testrite väljatöötamisel koostöös EKTA-ga N Liidu elektroonika suurtööstuse tellimuste raames.

Diagnostikatestrite ehitamine

Agu Viilupi tester

80-ndatel mõlkus meil peas mõte genereerida automaatselt teste mitte selleks, et neid välja paberile trükkida või arvuti mälusse salvestada hilisemaks kasutamiseks reaalsete objektide testimisel, vaid selleks, et neid testvektoreid kasutada sellel samal hetkel, kui nad genereeritud said. Teisisõnu, meil mõlkus mõte ehitada riistvaraline *deterministlik*[35] *testigeneraator*, millega saaks vahetult siduda ka testitava objekti. Niisugust süsteemi oleks pidanud siis nimetama *testide generaatoriks reaalajas*.

Tänapäeval on see idee juba pisut rohkem kui kaks aastakümmet rakenduses nn. isetestivate süsteemide paradigmana (*BIST – Built-in Self-Test*). Tõsi, testide genereerimise idee on realiseeritud neis süsteemides üsnagi triviaalselt – juhuslike arvude generaatoreid kasutades, mis põhinevad lineaarsete tagasisidega nihkeregistritel (*LFSR – Linear Feedback Shift Register*). Meie ambitsioonid olid palju kõrgemad, meie tahtsime ehitada deterministliku testri, mis oleks genereerinud testvektori igale üksikule rikkele ja garanteerinud 100%-lise testimiskvaliteedi. LFSR-tüüpi generaatorid niisugust kvaliteeti ei suuda tagada või kui siiski, siis ainult tänu väga suure pikkusega juhuslike testvektorite jadale. Deterministliku generaatori eelis oleks testi lühiduses ehk siis testimise kiiruses.

Meie deterministliku testri idee põhines AG-mudeli kasutamises. Projekteerisime riistvarana programmi, mis genereeris testvektoreid skaneerides AG-graafides pinumälu kasutades läbi erinevaid teesid. Igale teele vastas üks testvektor. Teede varieerumine ja seega ka uue testvektori saamine toimus praktiliselt mõne takti jooksul. Konkreetse vektori mittekasutatud bitte võis täiendada juhuslike signaalidega, mis võimaldas genereerida uusi testvektoreid veelgi kiiremini. Niiviisi tegelikult ühitasime kaks kontseptsiooni – deterministliku ja juhusliku testide genereerimise.

Selle testri ehitamine jäi kahjuks pooleli. Aparatuuri maht, mis tuli valmis ehitada, kasvas lihtsalt üle pea. Testri ehitamisega tegelesid **Agu Viilup** ja **Teet Evartson** ja raiskasid sellele tööle kohutavalt palju aega. Poisid töötasid kõigepealt välja skeemid (lõpliku automaadi), mis realiseeris meie idee. Siis panid nad laboris kokku reaalse juhtautomaadi nendel samadel makettidel, kus tudengid tegid laboritöid – makettidel, kus tuli skee-

[35] Deterministlik tähendab seda, et testide genereerimise protsess on otseselt testitava skeemi struktuuri poolt „dirigeeritav".

Kateedri suusapäev. Vasakult Teet Evartson, Toomas Plaks, Agu Viilup. Agu oli see, kes võttis Teet Evartsoni kampa ja koos nad ehitasid valmis AG-mudelil põhineva maailmas unikaalse testri, mis oskas reaalajas teste sünteesida konkreetsetele riketele.

mid kokku panna, ühendades juhtmetega omavahel loogikaelemente ja trigereid. Seda oli vaja veendumaks, et testri juhtautomaadi algoritmid ikka töötavad õigesti ka reaalse elektroonikaskeemina. See oli hiiglaslik töö. Rabelemist jätkus päevade kaupa hiliste öötundideni. Seejärel tuli skeemid kokku tinutada. Seda tegid poisid üksikute plokkide kaupa kodus, aga testri terviklik montaaž toimus laboris. Lõpuks oli testri esimene versioon valmis ja prototüüp töötas. Idee realiseeritavus oli ära tõestatud. Nüüd oleks vaja olnud tõsine projekt käivitada.

Seni oli puudunud otsene tellimus sellele tööle (loe: finantseerimine). Sisuliselt nägid Agu ja Teet vaeva omaenda vaba aja arvel. Õppe-uurimisasutuses „Algoritm" tunti küll huvi meie töö vastu, aga mitte nii palju, et meie tööd finantseerida. Probleemiks oli ka autorluse probleem.

Leiutis[36] „Sünkroonsete digitaalsete plokkide testimisseade" (**Raimund Ubar**, **Agu Viilup**, **Teet Evartson**) võimaldas esmakordselt realiseerida testide deterministlikku genereerimist aparatuursete meetoditega testris eneses vahetult nende realiseerimise hetkel. Uudne oli idee hoida mälus testide asemel testitava skeemi mudelit nn. otsustusdiagrammidena, mis võimaldas selle mudeli baasil aparatuurselt realiseerida kiired algoritmid testjadade genereerimiseks reaalajas.

Autoritunnistuse saamine võttis aga aega ja enne seda ei olnud tahtmist oma idee detaile „reeta" ilma tagatist omamata. Aga kui tunnistus, mis meie autorlust tõendas, juba käes oli, oli ülalmainitud raskuste tõttu vaibunud ka meie entusiasm testrit edasi ehitada.

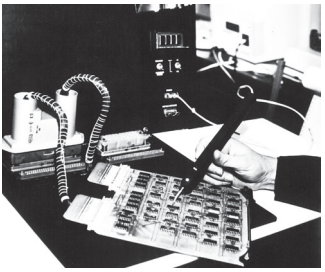
> Idee väärib aga endiselt küünlaid ja selle teostatavus oleks täna võrreldamatult lihtsam kui tookord, kus iga loogikaelemendi ühendamiseks tuli käes hoida jootetõlvikut. Täna oleks võimalik see lihtne algoritm kristalli projekteerida või isegi programmeeritavaid maatrikseid kasutades lihtsalt kiipi programmeerida. Seda enam, et autoriõigus on meil olemas. Küll vist tuleks seda uuendada, tänapäevast tehnoloogiat silmas pidades.

„Diagnostiline" dialoog

Edukalt arenesid EKTA ja kateeri vahelises koostöös automaatsete testimise ja diagnostika aparatuuri (testrite) väljatöötamisega seotud uurimistööd. Testide masinprojekteerimissüsteemide loomise kõrval tegeldi EKTA-s ka testeksperimentide automatiseerimisega. Arvutite CM-3 ja CM-4 baasil loodi mitu automatiseeritud digitaalskeemide (elektroonikaplaatide) diagnostikasüsteemi versiooni, mille kallal töötas **Tõnu Lohuaru** juhtimisel

[36] Авторское свидетвеьство СССР SU 1242964 A1 „Устройство для контроля синхронных цифровых узлов". Убар Р, Вийлуп А, Евартсон Т. Таллинсий Политехнический Институт, 08.03.1986. Государственный Комитет СССР по делам изобретений и открытий. Patent SU 1242964 A1 „Equipment for Testing Synchronized digital circuits". R. Ubar, A. Viilup, T. Evartson. Tallinn Polytechnical Institute, 03/08/1986. The USSR State Committee for Inventions and Discoveries.

uurimisgrupp, kuhu kuulusid **Heldur Haak**, **Eduard Vanamölder**, **Tõnu Riisman**, **Paul Pukk** jt. Nendes testrites kasutati arvutil EC-1052 süsteemi NAKS abil projekteeritud testjadasid, testimisprotsess toimus täisautomaatselt, rikete lokaliseerimine aga operaatori ja testri vahelise dialoogina.



EKB ja TTÜ ühistöös valminud programmeeritav tester. Dialoogrežiimis toimuv elektronskeemi rikete diagnoos prooviku abil.

Veasignaalide avastamisel väljastab arvuti kuvarile selle testpunkti koordinaadid testitaval plaadil, kuhu operaator peaks asetama prooviku (sondi). Proovikult saadav signaal (või signaalide jada) läheb arvutisse, mis analüüsib saadud informatsiooni ja vastavat testsituatsiooni ning väljastab operaatorile järgmise korralduse prooviku ümber tõstmiseks mingile järgmisele testpunktile plaadil või loeb diagnostikaprotseduuri lõppenuks ning teatab kuvaril vigase mikroskeemi või vigase kontakti asukoha plaadil.

Kirjeldatud dialoogrežiimi realiseerimise aluseks said EKTA-s ja meie kateedris loodud diagnostika eksperimentide dešifreerimise ja rikete lokaliseerimise meetodid ning algoritmid.[37,38] AG-mudeli kasutamine võimaldas välja töötada efektiivseid modelleerimise algoritme ja põhimõtteliselt uut moodi lahendada testris etaloninfo esitamise probleemi.

Traditsiooniliselt genereeritakse etaloninfo objekti sisemiste testpunktide jaoks eelneva testeksperimendi modelleerimise teel ja salvestatakse hilisema kasutamise eesmärgil testri mälus. Meetodi puuduseks on suurte infomassiivide tekkimine keeruliste objektide puhul. See viib ühelt poolt suurte mälumahtude vajaduseni testris ja teiselt poolt suurte ajakadudeni etaloninfo edastamisel testri operatiivmällu.

Meie poolt loodud uue meetodi puhul genereeritakse etaloninfot reaalajas ja üksnes veasignaali avastamise hetkel, üksnes vastavat testiosa simuleerides ja ainult selles mahus, mis on vajalik rikke ülesotsimiseks. Lisaefektina õnnestub modelleerimise protsessis ühitada ka optimaalse rikete lokaliseerimise strateegia reaalajas genereerimist.

Teadmiste diagnoos. Raimund Ubar uurib Natalja Kuzmenko diplomiprojekti, mis valmis eksperimentaaluuringute põhjal EKTA-s ehitatud testriga.

Uus meetod võimaldas minimeerida testris vajalikku mälumahtu ja lühendada dialoogrežiimis toimuvat diagnostika protsessi ajalist kestvust, s.t. vähendada dialoogiseansside arvu ehk siis proovikuga käsitsi sooritatavate operatsioonide arvu. Meetodi aparatuurne lahendus on kaitstud autoritunnistusega.

Leiutises[39] „Digitaalsete plokkide testimise ja diagnostika seade“ (**T. Lohuaru**, **R. Ubar**, **H. Haak**, **T. Evartson**) on realiseeritud idee rikete automatiseeritud otsimiseks digitaalskeemides testsüsteemi

[37] R. Ubar. Optimization of Fault Location Processes in Digital Circuits. Journal of Applied Automata Theory, Humboldt University, Berlin, 1984, pp.71-106.

[38] T. Lohuaru, R. Ubar, A. Viilup. Minicomputer Software for Fault Localization Control in Digital Circuits. Preprints of IFAC/IFIP 2nd Int. Symposium, Prague, Czechoslovakia, 1979, v.1, pp. P-XIV-1-4.

[39] Авторское свидетвеьство SU 1312580 A1 „Устройство для контроля и диагностики цифровых блоков“. Лохуару Т, Убар Р, Хаак Х, Евартсон Т. Специальное Констрктрское Бюро Вычислительной Техники Института Кибрнетики АН ЭССР, 22.01.1987. Государственный Комитет СССР по делам изобретений и открытий. Patent SU 1312580 A1 „A device for testing and diagnosis of digital blocks.“ Lohuaru T, Ubar R, H. Haak, Evartson T. SKB of Cybernetic Institute of the Academy of Sciences of Estonian SSR, 22.01.1987. The USSR State Committee for Inventions and Discoveries.

abil dialoogrežiimis. Uudseks ideeks oli spetsiaalse alamsüsteemi väljatöötamine Boole'i diferentsiaalvõrrandite aparatuurseks lahendamiseks ning selle integreerimine testsüsteemi.

Kasutades kateedris välja töötatud uuenduslikku *pikkade testjadade modelleerimismeetodit*[40] arendasime välja uued põhimõtted rikete lokaliseerimiseks pikki impulssjadasid kasutavates digitaalskeemides ning konstrueerisime algoritmid impulsspakkide dekompositsiooniks ja etalonsignaalide arvutamiseks töötamisel proovikuga nii potentsiaalide tasemel kui ka frontide arve impulsspakkides või nende üksikutes osades arvesse võttes. Neid algoritme kasutades õnnestus luua uued meetodid rikete otsimise marsruutide optimeerimiseks, mis osutusid laialt levinud signatuurmeetoditest tõhusamaks.

EKB ja TTÜ ühistöös valminud tester pälvis hõbemedali Rahvamajandussaavutuste Näitusel Moskvas (1986). Modelliks on diplomand Natalja Kuzmenko.

Saadud tulemuste autorlus on kaitstud leiutisega[41] „Suurte integraalskeemide testimisseade" (**Tõnu Lohuaru**, **R. Ubar**), kus realiseeriti idee testimisinfo kompaktseks salvestamiseks, mis võimaldas kokku hoida vajalikku mälumahtu. Uudne oli mikroprogrammjuhtimisseade, milles oli realiseeritud riistvaraliselt algoritm kompaktse testinfo lahti pakkimiseks reaalseteks testsignaalide jadaks. Kõnealuste uurimistöö tulemuste põhjal kaitses **Teet Evartson** 1986. aastal oma kandidaadi väitekirja teemal *„Digitaalskeemide rikete otsimise meetodite uurimine ja väljatöötamine"* (juhendaja dots. **R. Ubar**, oponendid prof. **R. Šeinauskas** Kaunase PI-st ja dots. **L. Derbunovitš** Harkovi PI-st).

Märkimist väärivad veel EKB tööd montaažikontrolli testrite väljatöötamisel (**T. Lohuaru**, **H. Haak**, **E. Vanamölder**, TPI tudeng **Konstantin Sokolov** jt.), mille käigus loodi kolm põlvkonda testreid trükkplaatide, žguttide ja krossmontaažide kontrolliks. Testrid kasutasid nõeladaptereid, mis töötasid pneumaatilisel põhimõttel (nõelte arvuga kuni 4096).

Eelpool nimetatud diagnostikavahendite (testide masinprojekteerimissüsteemi ja automaatsete diagnostikatestrite) oluliseks eeliseks seniste vahendite ees oli kompleksne lähenemine kõigi diagnostikaülesannete lahendamisele. Nii testide sünteesiks, analüüsiks, testide simuleerimiseks erinevates signaalide alfabeetides kui ka diagnostikaprotseduuride juhtimiseks ja optimeerimiseks kasutati ühte ja sama väga efektiivset AG-mudelit. Ühelt poolt lihtsustas uus mudel testitava süsteemi komponentide mudelite arhiivi loomist, vähendades ka arhiivide ekspluatatsioonikulusid, teiselt poolt aga suurendas diagnostikaülesannete lahendamise kiirust tänu loogikaelementide asendamisele vähema keerukusega makromudelitega.

---

[40] R. Ubar, T. Evartson. About Simulation of Long Input Sequences for Digital circuits with Counter Structures. Transactions of Tallinn University of Technology, No.601, 1985, Tallinn, pp.61-74 (in Russian).

[41] Авторское свидетвеьство SU 1218390 A. „Устройство для тестового контроля больших интегральных схем". Лохуару Т, Убар Р. Специальное Констрkторское Бюро Вычислительной Техники Института Кибрнетики АН ЭССР, 15.11.1985. Государственный Комитет СССР по делам изобретений и открытий. Patent SU 1218390 A. „Device for test control of large-scale integrated circuits." Lohuaru T., R. Ubar. SKB of Cybernetic Institute of the Academy of Sciences of Estonian SSR, 15.11.1985. The USSR State Committee for Inventions and Discoveries.

Intelligentne tester

80-ndate keskel hakkasid TPI ja EKTA diagnostikate uuringud liikuma kaugemate eesmärkide suunas – keerukamate süsteemide testimise poole. Võtsime eesmärgiks töötada välja automaatne tester mikroprotsessorsüsteemide diagnostikaeksperimentide läbiviimiseks.

Niisuguse testri ülesandeks oli eelnevalt arvuti abil sünteesitud nn. universaalsetest „toorik-testprogrammidest" (šabloonidest) ja samuti eelnevalt genereeritud andmemassiividest sünteesida reaalajas „valmik-testprogramme", kus iga selline programm modifitseeris ennast tsükliliselt ise erinevate testandmete kasutamiseks ja selle põhjal asünkroonses *handshaking*-režiimis testsignaalide saatmiseks testitavale objektile (nt. mikroprotsessorile). Andmeteks sellises protsessis olid käsukoodid ja operandid käskude sooritamiseks. Testprogramm varieeris käske ja iga käsu puhul varieeris omakorda operande.

Testri riistvaralist osa töötasid välja EKB-s **Tõnu Lohuaru** juhtimisel **Paul Pukk** ja **Eduard Vanamölder**, testri tarkvara väljatöötamist juhtis **Mati Männisalu** ja testrile vajalike andmeid genereerivat tarkvara projekteerisid EKTA poolel **Olev Räisa** ning kateedri poolel **Villem Alango** ja **Toomas Kont**. Testprogrammide ja vastavate testandmete automaatseks genereerimiseks kasutati seda sama kõrgtaseme alternatiivsete graafide (VAG-mudeli) matemaatilist aparaati, millele olid rajatud senised tööd ja tulemused.[42,43] Testri idee on kaitstud autoritunnistusega.[44]

Selles leiutises „Suurte integraalskeemide testimisseade" (**R. Ubar**, T. Lohuaru, P. Pukk, M. Männisalu, E. Vanamölder) on realiseeritud idee mikroprotsessorite testimiseks testinfo struktureeritud esitamise ja reaalajas lahtipakkimise teel. Uudseks oli testi esitamine varieeritava testprogrammina, mida teisendati vastava info alusel reaalajas ning kõiki variatsioone omakorda realiseeriti tsükliliselt erinevate andmetega. Testprogrammi, varieeritava info ja testoperandide esitamine eri mäludes võimaldas drastiliselt vähendada testimiseks vajaliku kogumälu mahtu.

Praktilises mõttes seisnes testri uudsus väga pikkade testjadade kokku pakkimises spetsiaalsesse andmestruktuuri, mis võttis väga vähe mälu ja mida õnnestus testimise protsessis reaalajas väga kiiresti lahti pakkida.

Pilk uurimistöö logiraamatusse

Teadustulemuste loetelu tähendab alati pidupäeva. Ja kui ise omaenda tulemusi tuleb loetleda, siis peitub viimastes ikka vaid suhteline tõde. Palju huvitavam on seejuures hoopis teekond ehk siis protsess, mis tulemusteni viib. Sest protsess on see, mis jääb mälestustes elama kuni lõpuni, tulemused aga aeguvad, kustuvad ja ununevad uute ja järgmiste tulemuste all.

Tabelis lk 155 on lühike pilguheit kateedri ja EKTA koostöö päevikusse (aeg/koht/osavõtjad/arutelu teema) aastatel 1985-1986, kui töötasime välja algoritme ja meetodeid ning ehitasime generaatoreid ja testreid. 1985. a. sügisel alustasime konkreetseid

42 T. Lohuaru, O. Räisa, T. Toome. Mathematical model for representing the structure and functions of microprocessor VLSI. Proc. of TTU No 601, Tallinn, 1985 (in Russian).

43 V. Alango, T. Kont. Preprocessor for a system of the automated test synthesis. VLSI. Proc. of TTU No 626, Tallinn, 1986 (in Russian).

44 Авторское свидетвеьство SU 1652976 A1 „Устройство для тестового контроля больших интегральных схем". Убар Р, Лохуару Т, Пукк П, Мяннисалу М, Ванамёлдер Э. Специальное Констрктороское Бюро Вычислительной Техники Института Кибрнетики АН ЭССР. 1.02.1991. Государственный Комитет СССР по делам изобретений и открытий. Patent SU 1652976 A1 „Device for testing of large integrated circuits". Ubar R, Lohuaru T, Pukk P, Männisalu M, Vanamölder E. SKB of Cybernetic Institute of the Academy of Sciences of Estonian SSR. 01/02/1991. The USSR State Committee for Inventions and Discoveries.

September, 1985 (kokku 13 koosolekut)			
03.09.	EKTA	Pall, Voolaine, Viilup	Eksperimentide kavandamine, metoodika
	TPI	Alango	AG-mudeli formaatide väljatöötamine
05.09.	EKTA	Viilup, Pukk, Vanamölder	Kooliarvuti diagnostika, töötada välja funktsionaalne skeem
		Pukk, Vanamölder, Männisalu	Testri juhtimiskäskude formaadid
		Männisalu, Räisa	Olevil on probleemid, uurida uuesti algset ideed
10.09.	EKTA	Pukk, Vanamölder, Männisalu	Formaatide sobitamine keelega, testri programmeerimisest
20.09.	EKTA	Pall, Voolaine, Viilup	Eksperimendid on pooleli, tulemused on kehvad
23.09.	Õismäe[1]	Toome, Jakovleva	Ülesanded AG-mudeli sünteesi meetodi testimiseks
27.09.	EKTA	Toome, Pukk	Kooliarvuti diagnostika strateegia väljatöötamine
		Männisalu	Testri programmeerimiskeele loomisest
30.09.	EKB	Kizub (Leningradist), Lohuaru	Uue lepingu sõlmimine Leningradi postkast-asutusega
Oktoober, 1985 (kokku 15 koosolekut)			
08.10.	TTÜ	Jaak Tepandi	Tegi ettepaneku koostööks diagnostika valdkonnas
	EKTA	Viilup, Lohuaru	Uuest lepingust, strateegia kujundamine, Viilupi ideede analüüs
09.10.	EKTA	Rein Raud, Lohuaru	EKTA külalised, ülevaate andmine neile meie süsteemidest
11.10.	EKTA	Lohuaru, Tani	X-arvuti diagnostika ülesande formuleerimine
		Männisalu, Pukk, Vanamölder	Testri mikroprogrammidest
18.10.	EKTA	Raud, Lohuaru	Modelleerimise ja testisüsteemide ühendamisest
	EKTA	Norvik, Pukk, Vanamölder	Kooliarvuti struktuuri testitavuse parandamisest
21.10.	EKTA	Lohuaru, Martson	Interfeisi MULTIBUS-2 kasutamisest
22.10.	EKTA	Lohuaru, Viilup, Pall, Voolaine	Uue Kizubi firmaga sõlmitava lepingu ülesannetest
30.10.	EKTA	Räisa	Rikkesignaalide transportimisest süsteemitasandil
November, 1985 (kokku 8 koosolekut)			
04.11.	EKTA	Räisa	AG-mudeli definitsiooni täpsustamine
		Männisalu, Pukk	Testri tööreziimidest ja funktsioonidest
		Lohuaru, Viilup, Pall	Kuidas edasi minna süsteemiga NAKS, Viilupi ideed
		Lohuaru	Kuidas ühitada probleeme: kooliarvuti, X-arvuti, Raua süsteem
14.11.	EKTA	Männisalu, Räisa	Räisa ja Männisalu andmeformaatide sobitamisest
20.11.	EKTA	Pall, Voolaine, Viilup	Testide sünteesist mikroprogrammide põhjal
29.11.	EKTA	Männisalu, Räisa	Transportjadade šabloonidest
Detsember, 1985 (Kokku 12 koosolekut)			
09.12.	EKTA	Lohuaru, Pall, Voolaine	Saksa DV artiklitest, väitekirjade kirjutamisest
12.12.	TTÜ	Einasto	Intel 8080 AG-mudeli koostamisest
17.12.	Algoritm	Lohuaru, Ubar	Ettekanne riiklikule komisjonile EKTA töödest
18.12.	EKTA	Lohuaru, Pall, Voolaine	Mudeli korrektsusest. Väitekirjadest
		Lohuaru, Sokolov	Mälude testimisest
27.12.	EKTA	Pall, Einasto	Eksperiment Intel 8080 testprogrammiga
Jaanuar, 1986 (Kokku 16 koosolekut)			
03.01.	EKTA	Lohuaru, Räisa, Männisalu	Olev Räisa edasisest tööst
04.01.	EKTA	Lohuaru, Tani	Tööprogrammi kooskõlastamine aastateks 1986/87
13.01.	EKTA	Männisalu, Pukk	Etalonsignaalide ülesvõtmise probleem
		Tõnu Riisman	Alustab Intel 8251 testide tegemist
		Voolaine	Intel 8080 eksperimendi lõpetamine
17.01.	EKTA	Haak, Männisalu	Alamosa valimine testimiskeelest JASTEK
	EKTA	Tõnu Arulaane	Kooliarvuti testimiseks oleks vaja välja töötada nõelpadi
23.01.	EKTA	Haak,Männisalu, Vanamölder	Testri keelest: Jastek ja Membrain keelte võrdlus
	TTÜ	Einasto	8080 testide listingute analüüs
29.01.	EKTA	Kruglikovi delegatsioon	Ettekanded komisjonile Moskvast lepingulise töö tulemustest
		Spitzberg (Moskvast), Pall	Maatriksskeemide testimise ülesande formuleerimine
Veebruar, 1986 (Kokku 18 koosolekut)			
03.02.	EKTA	Viilup, Pall, Lohuaru	Süsteemi NAKS edasi arendamisest
04.02.	TTÜ	Siem, Alango, Kont	Diagnostikaobjekti kirjeldamise keeltest
07.02.	EKTA	Voolaine	Mudeli adekvaatsusest mitmemõõtmeliseks modelleerimiseks
		Pall	Süsteemi NAKS täiendamisest loendusstruktuuride testimiseks
10.02	EKTA	Uued partnerid EKB-s[2]	Uue edasi arendatud testide sünteesi tarkvara loomisest
13.02.	EKTA	Lohuaru	Leitakse, et EKTA töö tuleb „teadusele lähemale“ viia
14.02.	EKTA	Norvik, Klepikov	Kooliarvuti dekompositsioon tuleb ära teha
25.02.	EKTA	Arulaane, Norvik	Alternatiivide arutelu kooliarvutile: klips, nõelpadi, väline tester
	EKTA	Ariste	Süstolarvutite testimisest
	EKTA	Pall, Einasto, Mizerkina	Operatsioonmudeli programmeerimisest
Aprill, 1986			
10.04.	TTÜ	Min, Toomsalu	Kooliarvuti testidest, labori loomisest teaduskonda
September, 1986			
12.09.	EKB	Baranov, Lepik, Jaaksoo	Uude programmi VLSI – 10^7 lülitumisest, ülesande püstitusest

[45] Töötasin sageli tudengitega ka kodus Õismäel.

[46] Mikoni, Štšupak (Leningradist), Krivulja, Hahanov, Škil (Harkovist).

Paremal: Mati Männisalu

ülesandeid lahendama neljas töögrupis: (1) elektroonikaplaatide testide projekteerimine (**Martin Pall**, **Andrus Voolaine** EKTA-st, **Agu Viilup**, **Natalja Einasto** TTÜ-st), (2) mikroprotsessorite tester (**Paul Pukk**, **Eduard Vanamölder** EKTA-st, **Teet Evartson** TTÜ-st), (3) mikroprotsessorite testprogrammide genereerimise süsteem (**Olev Räisa**, **Mati Männisalu** EKTA-st, **Agu Viilup**, **Villem Alango** TTÜ-st), (4) kooliarvuti testide projekteerimine (**Margus Norvik** EKTA-st, **Tõnis Toome**, **Uno Kuuskor**, **Viktor Zaugarov** TTÜ-st). Töögruppide tööd juhtis EKTA poolel **Tõnu Lohuaru** ja TTÜ poolel **Raimund Ubar**. Töös osalesid muidugi ka tudengid ja meie tööga ühines ka teisi kolleege.

Olles enesekriitiline, ei arenenud meie uurimistöö väga efektiivselt, eriti rakenduste lõpuleviimise osas. Põhjuseks oli inimeste puudus, ülesanded olid siiski rasked, taolisi ülesandeid (*kõrgtasandil testprogrammide automatiseerimine, mikroprotsessorite testrisse intelligentsuse projekteerimine*) ei oldud ju ka mujal maailmas varem lahendatud. Vähemalt osaliselt siiski pärjas meie rakendusi ka edu – kaks hõbemedalit 1986. aastal Moskvast Rahvamajandussaavutuste Näituselt, millistel oli päris suur kaal ja mis tõstis meie prestiiži uute lepingute sõlmimisel. Töö individuaalseteks viljadeks olid ka mitmed kaitstud väitekirjad. Oli väga kahju, et mitte kõik meie hulgas, kes olid selle samuti ära teeninud, siiski väitekirjadeni ei jõudnud.

Konverentsidest, kontaktidest ja rahvusvahelisest koostööst

Kontaktide avardumisest

Seoses asjaoluga, et digitaalsüsteemide testide genereerimine muutus objekti keerukuse kasvades üha raskemaks ja raskemaks, jõuti peagi arusaamisele, et keerukate süsteemide projekteerimine ei tohi enam toimuda ilma spetsiaalsete testimist ja diagnostikat hõlbustavate nõudmiste arvestamiseta. Maailmas hakkas kiiresti levima uus tendents – mitte üksnes testikõlbulike, nagu eespool sai juba mainitud, vaid ka hästidiagnoositavate süsteemide projekteerimismeetodite väljatöötamine.

Margus Kruus oli üks edukamaid Keevalliku õpilasi. Nüüd on ta Arvutitehnika instituudi direktor.

Kuna TPI elektronarvutite kateedris oli paralleelselt diagnostika-alaste uurimistöödega viljeldud ka juba üle 10 aasta automaatide masinprojekteerimise alaseid uuringuid dots. **Andres Keevalliku** juhendamisel, siis oli tekkinud soodne pinnas kateedri kahe uurimissuuna ühinemiseks. Niisuguse sünergia tekkimise võimaluse näiteks olid mitmed Andres Keevalliku ja tema aspirandi **Margus Kruusi** koostöös väljatöötatud meetodid numbriliste automaatide diagnoositavuse parandamiseks.[47,48] Selle koostöö tulemuseks oli Margus Kruusi kandidaadiväitekiri *Hästikontrollitavate juhtsead-*

[47] М. Круус. Контрольные эксперименты с микропрограммными автоматами. Тр. Таллиннского Политехнического института, 1985, Нр. 601, с. 45-50.

[48] А. Кеэваллик, М. Круус. Метод нахождения диагностических и установочных последовательностей для сетей автоматов.Тр. Таллиннского Политехнического института, 1986, Нр. 626, с. 43-51.

mete süstees mille ta kaitses 1987. aastal A. Keevalliku juhendamisel. Üheks tema oponendiks oli prof. **Dmitri Speranski** Ukraina NSV TA Rakendusmatemaatika ja Mehaanika Instituudist Donetskist, kes oli üks juhtivamaid diagnostika teadlasi tolleagses N Liidus.

Kaks projektijuhti. Vasakult Tõnu Lohuaru (EKTA) ja Raimund Ubar (TPI).

Elektronarvutite kateedris välja töötatud *alternatiivsete graafide kontseptsiooni* eelis seisnes selles, et erinevalt tuntud lähenemisviisidest oli graafmudeli abil võimalik esitada ühtses vormis erinevaid arvutisüsteemide hierarhiatasandeid, nagu transistorskeeme ja loogikaelementide võrke, mikroprogramme ja arvutite käsusüsteeme, ning seega varieerides mudeli sisu, taotleda ühelt poolt diagnostika täpsuse suurendamist (madalama tasandi AG-mudelite abil) ja teiselt poolt sünteesi või analüüsi algoritmide suuremat jõudlust (kõrgema tasandi VAG-mudelite abil). Algoritmide põhiideed jäid mõlemal juhul samaks ja muutusid ainult detailides.[49,50] Samuti, erinevalt seni kasutusel olnud matemaatilistest abstraheerimismeetoditest, võimaldas uus mudel komplekssselt lahendada diagnostika *otse- ja pöördülesandeid*, mis praktika jaoks tähendas testimise ja diagnostika süsteemide ekspluatatsioonikulude kahanemist.

Elektronarvutite kateedri ja EKTA väga viljaka koostöö raames valmis aegamisi ka **Raimund Ubari** doktoritöö. Selle põhiideed ja põhitulemused olid saadud küll juba 80-ndate alguseks, aga kaitsmiseni jõudis see väitekiri alles 1986. aastal.

TPI ja EKTA diagnostika-alases koostöös kujunesid head tööalased sidemed paljude tähtsate uurimiskeskustega nii N Liidus kui lähivälismaal (tolleaegsetes nn. rahvademokraatia riikides). Nende kahe ühistööna valminud süsteemi – testide generaatori NAKS ja digitaalsüsteemide testri – versioone kasutati Arvutustehnika Teadusliku Uurimise Keskuses Moskvas, üleliidulises koondises „SojuzEVMkompleks“, mitmetes aparaadiehitusettevõtetes Moskvas, Leningradis ja mujal. Kateedris väljatöötatud meetodeid kasutasid oma uurimistöös Moskva Baumani nim. Tehnikaülikool, Leningradi Elektrotehnika Instituut jt. kõrgkoolid. Tihedad koostöösidemed olid neil aastatel eesti diagnostikutel Moskva Juhtimisprobleemide Instituudiga, Ukraina TA Modelleerimisprobleemide Instituudiga Kiievis, Arvutustehnika Teadusliku Uurimise Keskusega Moskvas ja selle filiaaliga Vladivostokis, Läti TA Elektroonika ja Arvutustehnika Instituudiga Riias, Minski Tehnilise Küberneetika Instituudiga, Saraatovi Riikliku Ülikooliga, Siberi Füüsika-Tehnika Instituudiga Tomskis, Kaug-Ida Polütehnilise instituudiga Vladivostokis, Ukraina TA Rakendusmatemaatika ja Mehaanika Instituudiga Donetskis, Kiievi Automaatika Instituudiga ja paljude teiste õppening uurimisasutustega üle terve N Liidu.

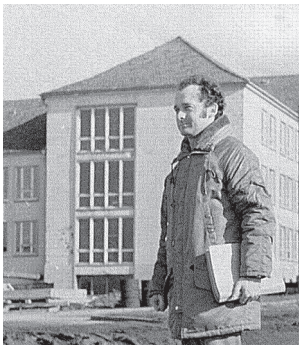
TPI elektronarvutite kateedris arendatud uurimistöö kuulus aastatel 1980-1988 N Liidu Teaduste Akadeemia ja N Liidu Kõrg- ja Keskerihariduse Ministeeriumi programmidesse, tööd olid samuti koordineeritud VMN-i maade ühisprogrammidega. Alates

[49] Р. Убар. Универсальный подход к автоматизации проектирования тестов для широкого класса цифровых объектов. Труды Таллиннского Политехнического Института, No.626, 1986, pp.70-92. R.Ubar. Universal Approach to Automated Test Generation for a Large Class of Digital Systems. Transactions of Tallinn University of Technology, No.626, 1986, Tallinn, pp.70-92.

[50] Р. Убар. Альтернативные графы и техническое диагностирование дискретных объектов. Электронная техника, Сер. упр. кач-вом, стандартизация, метрология, испытания, 1988, вып. 5, (132), с.33-57. R.Ubar. Alternative Graphs and Technical Diagnosis of Digital Objects. Electronic Techniques, 1988, Vol.5, (132), Moscow, pp.33-57.

1987. aastast täideti paari aasta jooksul ülisuurte integraalskeemide masinprojekteerimise ja diagnostikaga seotud ülesannet teaduslik-tehnilise progressi kompleksprogrammi raames, kuni see programm piiride avanamisel selles regioonis katkes.

Rahvusvahelistumisest 80-ndate esimesel poolel



Dr. Harald Killenberg, Ilmenau Tehnikaülikool.

Eks tasapisi arenesid kontaktid meil ka väljapoole riigipiire. Ehkki algul oli näiteks minul praktiliselt vaid üksainus „auk" selles meid tihedalt ümbritsevas KGB ja piirivalvurite müüris, selleks auguks oli kahepäevane rongisõit Tallinn – Moskva – Berliin Ida-Saksamaale.

Tänu 70-ndate keskel loodud headele sidemetele Ilmenau Tehnikaülikooliga, kus mu tööpartneriteks olid professorid **Werner Liebich**, **Harald Killenberg** ja **Michael Krapp** (viimasest sai pärast Saksamaa ühinemist haridusminister), hiljem **Heinz Dietrich Wuttke,** kelle kõigiga mind ühendas ühine huvi automaatide teooria ja digitaalsüsteemide diagnostika vastu, kutsuti mind ikka ja jälle tagasi Saksamaale loenguid pidama. Mu *ca* 16-tunnine kursus kujunes seal juba iga 2-3 aasta tagant korduvaks traditsiooniks. Tavaliselt kestsid need *ca* 2-nädalat, mille jooksul mul õnnestus ka teisi DDR-i ülikoole külastada ja samuti oma külalisloengute abil meie kateedri vastu huvi äratada ning kontakte luua ja neid kinnistada.

Teiseks tugipunktiks oli mulle loomulikult Dresdeni Tehnikaülikool, kus ma veetsin oma esimese terve aasta pikkuse (1974-75) tööperioodi Saksamaal. Olles asendanud terve semestri jooksul edukalt instituudi direktorit prof. **Walter Cimanderit** tema loengutel, kutsuti mind 1977. a. sinna tagasi neljaks kuuks loenguid pidama. Kahjuks ei tulnud sellest sõidust midagi välja, Moskva ei andnud väljasõiduks viisat. Mu programm oleks olnud väga tihe, lisasin Moskvasse HM välisosakonna juhatajale tovarištš **Ašeulovile** saadetud taotlusse ka kolm muud kutset teistesse ülikoolidesse Dresdenis, Ilmenaus ja Wismaris, aga neist polnud abi. Võib-olla tulid need paljud kutsed hoopis kahjuks. Võib-olla aga oli see periood ka liiga pikk, sest Ilmenausse mind ikka aeg-ajalt kaheks nädalaks lubati küll.

Wismar. 1983 – see oli aeg, kus lükati võistles veel arvutiga.

Küll õnnestus mul siiski hiljem 1983. aastal võtta vastu pakkumine kolmeks kuuks külalisdotsentuuri sõita Wismari Kõrgemasse Inseneride Kooli prof. **Werner Stammbergeri** juurde. See oli tore aeg, kus elasin professori majas pööningukambris, nautisin tema juures priikosti ja väga toredaid õhtusi jutuajamisi. Enamuse ajast aga töötasin oma AG-teooria kallal, päevitasin koos oma raamatute ja paberitega mererannas, konstrueerides protsessorile Intel 8080 AG-mudeleid ning mõtlesin välja algoritme testprogrammide sünteesiks. Wismaris leidsin ka ühise keele kolleegide **Torsten Lorenzi** ja **Gerd Knospega**, kes olid küll tarkvara spetsialistid, aga kellega koos töötades avastasin, et meie AG-mudel sobib hästi ka spetsiaalarvutite tarkvara testimiseks. Kirjutasime ka ühisartikli.[51] Kasu-

[51] R. Ubar, T. Lorenz, G. Knospe. Testverfahren für Assembler-Programme. Proceedings of the Ingenieurhochschule Wismar, No4, 1985, s.8-19.

tades seda kolmekuist perioodi Wismaris, õnnestus külastada veel teisigi põhjapoolsemaid ülikoole Ida-Saksamaal. Magdeburgi Tehnikaülikoolis töötasin mõned päevad siis ja ka hiljem prof. **Gerhard Liermanniga**, kes oli tööstusautomaatika rikete diagnostika spetsialist. Rostocki Tehnikaülikoolis kohtusin professorite **Preussi** ja **Pulowiga**, kes olid tehniliste süsteemide töökindluse eriteadlased ja kes mind mõned aastad hiljem endakorraldatud konverentsile kutsusid. Potsdami Tehnikaülikoolis kohtusin prof. **Michael Gösseliga**, kes on ka praegu üks tunnustatumaid diagnostikateadlasi maailmas ja kellega ma senini hoian tihedalt kontakti.

Väga head sidemed olid mul erinevate teadusasutustega Dresdenis, mis on mul püsinud samuti kuni tänaseni. Allpool tuleb hiljem juttu minu neljakuusest professuurist Dresdeni Tehnikaülikooli, mis toimus aga alles 1988. aastal, kui ajad olid muutunud juba teiseks. Dresdeni Tehnikaülikoolis oli mu koostööpartneriks prof. **Gerhard Entress**, kellega meil olid ühised huvid automaatide teooria alal. Pärast Saksamaa ühinemist 1990. aastal läks ta tööle Jena Ülikooli ja kutsus ka mind sinna tööle, aga miskipärast see taotlemisprotsess ei võtnud vedu. Võib-olla tekkisid tal endal mingid probleemid, sest ta oli SED-partei liige ja teatavasti ei käinud Saksamaa endiste DDR-i professoritega, kes olid enamasti kõik kompartei liikmed, eriti leebelt ümber – peaaegu kõik kaotasid oma töö.

Eriti drastiliselt toimus see prof. **Dieter Bochmanniga** Chemnitzi Tehnikaülikoolist, kellega me avaldasime kahasse ühe monograafia.[52] Bochmann oli rahvusvahelise renomeega teadlane, kel oli tervelt 8 monograafiat, aga kes pidi oma punaparteilise mineviku pärast lahkuma professoritoolilt. Tema saatusest ei ole ma enam midagi kuulnud, aga tema kolleegi **Berndt Steinbachiga** jätkuvad mul seni töised kontaktid, 2012. a. kutsus ta mind oma konverentsile esinema plenaarettekandega[53] ja järgmisel aastal osalesin ka ühe peatükiga[54] tema koostatud raamatus.

Kontakt Leipzigi Tehnikakõrgkooliga käivitus seoses ühe 1981. a. konverentsikülastusega Leipzigis, mille tulemusena juhendasime koos dots. **Heinz Wolfiga** doktoranti **Heinz Trenknerit**. Doktoritööd juhendasin ka Ilmenau Tehnikaülikoolis, kus mu õpilaseks oli **Elke Thoma**, kellega meil on ka ühispublikatsioon.[55]

Muudest töökontaktidest Saksamaal on juttu veel peatükkides 2 ja 4. Millegipärast olen nimetanud neid visiite Saksamaale – „sõitudeks vabadusse", ehkki Saksa DV oli veelgi raudsema eesriide taga kui Nõukogude Liit ise oligi. Aga Saksamaaga ühenduses oli siiski midagi niisugust, mis vähemalt minu jaoks neid kahte keskkonda drastiliselt eristas. Need olid keel ja kultuur ja kindlasti minu vahetu võimalus keeleoskuse tõttu sellest läänepoolsest kultuurist 100%-liselt osa saada. Koju saabusin Saksamaalt ikka „seesmiselt puhtamana", emotsionaalselt rõõmsamana ja vaimselt ettevõtlikumana.

Minu kontaktid ülikoolidega rahvademokraatlikes maades Bulgaarias, Ungaris, Tšehhoslovakkias ja Poolas jäid hilisematesse aastatesse. Aga tõukeks visiitidele nendesse maadesse said seejuures kutsed just juhuslikel kohtumistel Saksamaal tekkinud tutvustest. Bulgaaria oligi teine selline maa Saksa DV kõrval, kuhu pääsesin järgmisena – 1987.

52 D. Bochmann, R. Ubar. Fehler in Automaten. VEB Verlag Technik Berlin, 1989.

53 R. Ubar. Topological Analysis of SSBDDs with Applications in Fault Diagnosis. Freiberg, 10th Int. WS on Boolean Problems Sept. 19-21, 2012, p. 1-16. Invited paper.

54 R. Ubar. Boolean Fault Diagnosis with Structurally Synthesized BDDs.In „Recent Progress in the Boolean Domain", Edited by Bernd Steinbach. Cambridge University Press, 2013, pp.302-331.

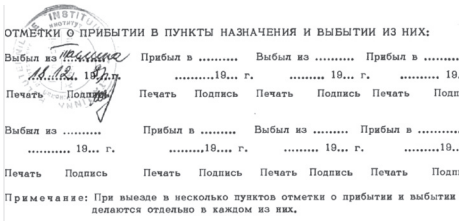
55 R. Ubar, E. Thoma. Optimierte Steuerung der Fehlersuche auf digitalen Leiterplatten. Proc. of the 27th International Conference, Technical University of Ilmenau, October, 1982, H.3, pp.65-68.

aastal toimunud ülemaailmsele konverentsile[56], kus tutvusin ka mitmete Lääne tippteadlastega, sh **Stephen Su** USA-st, kes oli väga huvitatud tulla külastama N Liitu. Eks ta nüüd siis kontakteeruski sellel eesmärgil minuga. Järgmisel aastal ma tegelesingi päris mitu kuud tema küllasõiduloa taotlemisega, aga millegipärast me seda luba siiski ei saanud. Mõned aastad hiljem mu kolleeg prof. **Hans-Joachim Wunderlich** ütles, et meil „vedas" selle ebaõnnestumisega, sest prof. Su olevat nende jaoks olnud väga tülikas ja pretensioonikas külaline ja pärast viimase lahkumist USA-sse tagasi olevat terve labor selle sündmuse tähistamiseks suure peo (!) korraldanud.

Prahasse pääsesin esimest korda plenaarettekandega[57] 1989. aastal prof. **Jan Hlavicka** kutsel. Viimasega oli meil tekkinud kolmik-koostöö, milles osalesid Praha Tehnikaülikool, TTÜ ja EKTA. Samasugune kolmik-kootöö oli meil EKTA-ga tekkinud ka Saksa DV Küberneetika Instituudiga Dresdenis, mis kuulus Saksa DV Teaduste Akadeemia alla, nii nagu meiegi Kübi ja EKTA kuulusid Eesti TA alla. Sellest koostööst tuleb hiljem juttu, sest see on jätkunud hilisemate europrojektide ja bilateraalsete projektide näol kuni viimase ajani.

Väljavõte konverentside päevikust anno 1983

Eks teaduskontaktid arenevad eelkõige konverentsidel. Muidugi loetakse ka artikleid nii konverentside kogumikest kui ka ajakirjadest, aga kõige tihedama kontakti loob ikkagi silmside ja vahetu ettekande kuulamine mingil foorumil ning võimalus sealsamas pikemaid vestlusi arendada. Sealt algavad ka vastastikused visiidid. Meie valdkonna konverentside stiili ja ilmet 80-ndate N Liidus iseloomustab järgnev lühiväljavõte väga kirevast 1983. aastast mu päeviku lakooniliste sissekannete näol:


ОТМЕТКИ О ПРИБЫТИИ В ПУНКТЫ НАЗНАЧЕНИЯ И ВЫБЫТИИ ИЗ НИХ:

Выбыл из Таллина 11.12. 1983 г. | Прибыл в ..... | Выбыл из ..... | Прибыл в .....

.....19... г. ..... 19... г. ..... 19..

Печать Подпись Печать Подпись Печать Подпись Печать Подп

Выбыл из ..... | Прибыл в ..... | Выбыл из ..... | Прибыл в .....

..... 19... г. .....19... г. ..... 19... г. .....19..

Печать Подпись Печать Подпись Печать Подпись Печать Подп

Примечание: При выезде в несколько пунктов отметки о прибытии и выбытии делаются отдельно в каждом из них.

Mistahes välisläbetusel tuli komandeerimistunnistusele „kollektsioneerida" reisi toimumise tõestamiseks templeid kõigist reisil läbitud punktidest. Praegu tuleb koguda maksukviitungeid.

23.03.83. Nii Milaano kui ka Praha ettekanded on vastu võetud. Trükin Milaano ettekannet, teades, et sinna nagunii ei sõida. Poolast saadeti mulle postiga konverentsikogumik koos minu ettekandega, kus ma ka muidugi ei käinud. Olen rahvusvaheline mees! Ainult välismaale ei pääse – seega „no-show" autor.

01.04.83. Üleliiduline Diagnostikakool Palangas. *Esmaspäev.* Äge diskussioon **Saša Petrenkoga** (elab ja töötab praegu Kanadas). *Teisipäev.* Õhtul tants. Baaris leningradlastega. Hiljem dispuudid: **Ikramov** (juhtiv Usbeki arvutiteadlane), **Birger** (NL Teaduste A Liidu diagnostika tippteadlane, töötab praegu juba aastaid USA tippfirmas CADENCE), **Oleg Fomitš Nemolotšnov** (Leningradi ülikooli LITMO prorektor, minu doktoritöö hilisem oponent). *Kolmapäev.* Saunaõhtu leedukatelt. Konverentsi juhtkomitee koosolek (N Liidu tippteadlased: **Parhomenko** (NL Teaduste Akadeemia liige), **Totsenko** Ukraina TA akadeemik, kindral-polkovnik), **Sogomonjan**, **Karavai**, Birger (kõik kolm NL tipptegijad diagnostikas), Nemolotšnov (LITMO prorektor), **Matrossova** (Tomski tippdiagnostik), **Želenevskaja** (tippteadlane Kiievi salajasest postkastist, kus kopeeriti INTEL mikroprotsessoreid), **Jasineviciene** (Leedu tippdiagnostik). *Neljapäev.* Ekskursioon Palangasse. Müüdid Eglest ja Juraitest. Bankett Gabijas (tuli) Jura (vesi). Minu toost pisaratest läbi naeru. Lõbustasin seltskonda vene lauludega suupillil. Teeõhtu leningradlaste hotellitoas. *Reede.* Hüvastijätud. Bussiga Šiauliaisse ja sealt 22.30 Kaliningradi bussiga koju.

[56] R. Ubar. Test Generation for Microprocessor Control Mechanisms. Proc. of the 10th Conf. on Fault-Tolerant Systems and Diagnostics, Varna, Bulgaria, September, 1987, pp. 305-311.

[57] R. Ubar. Functional Level Test Set Generation Methods. Invited paper. Proc. of the 12th Conf. on Fault-Tolerant Systems and Diagnostics, Prague, September, 1989, pp.46-55. Invited Paper.

04.04.83. Gurzufis võeti mu ettekanne vastu, Jerevanis – mitte. „Avangandi" mehed külas, diskussioon, kaitseme oma projekti. Kolmepoolne koosolek „Algoritmis" EKTA-ga.

10.04.83. Üleeile oli kateedri arvutipäev. Trükkisin Brno ettekannet.

14.05.83. Üleliiduline konverents Gurzufis. Lend Simferoopoli. 21.00 kohal. Sõit trolliga Gurzuffi (00:30), hotell „Sputnik" (01:00). Trollis sain kokku **Jura Tatarnikoviga** (praegu töötab juba aastaid Silicon Valley's). *Esimene päev.* Vesi on +10. Hilisõhtune Gurzuf tuledes, justkui arvuti juhtimispult. Diskussioon arvutiala perspektiividest. Elame tünnides (6-8 kohalised ööbimismajakesed) otse mererannas, kuus aset põrandamattidel, öösel päris külm. *Teine päev.* Vihma sajab. Kuulan ettekandeid. Püüan kaugekõnet võtta, ei õnnestu. Üritan tööd teha, ehitada mudeleid mikroprotsessorile INTEL 8080 ja komponentidele. Aga ebamugav on, ei taha ju kollektiivist irduda, keegi teine siin tööle ei mõtle. *Kolmas päev.* Hommikul pisut päevitame. Bravuuritsen rannas käte peal kõndides. Ettekandeid peetakse randa toodud tahvli ees. Pärast lõunat leedukatega tõus Aju Dagile (565m). Vahepeal oli päris kaljuronimine. Laskusime Frunzenskojesse. Lift, tunnel, uhked sanatooriumid, viimane laev Gurzuffi. Lõkkeõhtu. *Neljas päev.* Päevitame hommikul. Seekord isegi ujun 3 korda. Veest välja tulla on valus, keha põleb. Vesi +10. **Tatarnikovi** ja **Zakrevski** ettekanded. Tulutu ettevõtmine tantsupõrandal – aina korvid. Mängitakse valssi „Püha öö" viisil. Venelane ei tea, et see on jõululaul. *Viies päev.* Viilin miitingust ja laupäevakust. Rimase ja Eimisega Jaltasse. Bussiga Karagoli. Jalgsi 1.40-ga Ai-Petrile. Lõikasime ja vältisime metsavahti. Tõus tippu – 1233 m. Pilvedes. Lumelaigud. Viimase kaatriga koju tagasi. *Kuues päev.* Herilane hammustas. Kurk on pisut valus, ujumas ei käinud. Jahe tuul ja kõrged lained. **Hetagurovi** loeng. Lahkumisõhtu Sergeiga. Puuk hammustas. *Seitsmes päev.* Laevaga Jaltasse, sealt jänest Mišori. Pääsupesa. Päikeserada. Livaadia. Jalta poed. Degustatsioonibaar: proovisime 9 sorti veini. Rimase ära saatmine. **Rimantas Šeinauskas** on 38-aastane professor Kaunasest. *Kaheksas päev.* Päevitan ja konstrueerin paberil mikroprotsessori mudelit. Ujun palju, vesi on ootamatult kiiresti talutavaks muutunud. Õhtuks olen punane ja soolane. Kätelseisud ja -kõnnid plaažil. Lahkumisõhtu. Tantsuõhtu. Seekord jäid korvid tulemata – mu kätelseise rannas oli märgatud. *Üheksas päev.* Päevitan terve hommikupooliku. Pildistan Zakrevskit, akadeemik ikkagi. Sõidame koos **Tetelbaumiga** (asutas hiljem USAs kunstide ja teaduste eraakadeemia) Simferoopolisse. Ka **Valeri Grigorenko** EKTA-st oli oma naisega bussis. Simferoopol ja valged akaatsiad. Maandume halva ilma tõttu Riias. Öö Riia lennujaamas. Hommikul saabume koju.

Konverents vabas õhus. Ettekannet teeb Kaunase Tehnikaülikooli professor Genovaite Jasineviciene.

08.06.83. Konverents Kaunases. Lendan koos **Peeter Kitsnikuga** Vilniusesse, sealt rongiga Kaunasesse. Õhtune jalutuskäik. Varietee Muza, õllerestoran Gildija. Kella kaheni öösel tegin ettekannet. Pärast ettekannet lõuna Eimis Burgise juures. Õhtul **Genja Jasineviciene** juures: Raimond (Genja abikaasa, professor, tulevane saadik Poolas), veel külalisi: **Kestutis**, **Burgis**, **Nemolotšnov**. Alles kell 2 öösel lasti meid koos Nemolotšnoviga ära. Viimasel päeval kunstimuuseum. Õhtul **Krivitskase** onu saunas. **Boris Kukuškin** (Leningradist, Nemolotšnovi grupist) mängib hästi kitarri. Öösel kell kolm bussiga Vilniusse ja hommikul lennukiga koju.

Mälestus konverentsilt Šatskis, Rjazani oblastis Venemaal. Pärast kaugele järve keskele ujumist: Leena ja ära külmunud Raimund. Leenaga võtsime diagnostikas kasutusele peaaegu ühel ja samal ajal 70-ndate algul Boole'i funktsioonide diferentsiaalarvutuse.

02.07.83. Konverents Leningradis. Registreerimine. Pärast külastame **Leena Turtšinad** kodus (Leena on olnud koos minuga kaua-aegne Boole'i tuletiste fänn). Turtšina doktoritöö eelkaitsmine oli läbi kukkunud, pärast seda oli ta infarkti saanud. Nüüd lamas ta voodis ja konverentsile ei tulnud.

Alles eelmisel aastal olime temaga koos olnud konverentsil Šatskis. Olin sinna tulnud otse Brestist, ühelt teiselt konverentsilt, kus olin kuulnud lugu ühest vene kindralist, kelle saksa sõdurid olid sidunud alasti keset pakast telefoniposti külge ning lisaks valanud veel ka külma veega üle. Järgmisel päeval ujusime Leenaga külmas

järvevees kaugele järve keskele. Külm hakkas. Jutustasin nüüd ka Leenale seda lugu kindralist, kes ära külmus, ja küsisin vihjamisi, kas tal ei ole külm, et mis oleks, kui pöörduks tagasi... Kadestasin paksukest Leenat, kel külmaga mingeid probleeme ei saanudki olla. Kaldale jõudsime õnnelikult... Nüüd aga taastus Leena voodis infarktist.

Õhtul kolime laevale, kus toimub konverents. Sõidame marsruudil Neeva – Laadoga – Svir – Onega – Kirillov. Nikolai Kolesovi kontranäitega taheti mu teooria ümber lükata. Aga näide oli ebakorrektne. Pool ööd tegin selle tõestamiseks tööd ja loobusin banketist… Päeva veetsime Kirillovis ringi jalutades. Õhtul seminarid ja ka järgmisel hommikul. Pärast lõunat Võterga. Käime ujumas. Petrozavodsk. Hommik vihmane, hiljem päike. Kiži saar. Päevitame Svirstrois. Ümarlaud teemal „*Liiasus* digitaalskeemides“, võtan sõna liiasuse suhtelisusest.

02.09.83. Elu on lootusetult suhteline. Tõed on suhtelised. Alati jõuame lõpuks ainsale järeldusele: kõik on mõttekas, aga kõik on mõttetu. Ei oma tähtsust ei hästi ega halvasti tehtu, tähtsust omab vaid tegemine.

23.09.83. ENSV Teaduskomiteele tuli Moskvast üleliiduliste ürituste plaan Eesti jaoks. Plaanis olid üritused, millest meie teaduskomitee ei teadnud midagi, aga puudusid need, mida komitee oli taotlenud, s.h. 10. Üleliiduline Diagnostikakonverents järgmisel aastal Tallinnas, mille organiseerijaks olen mina.

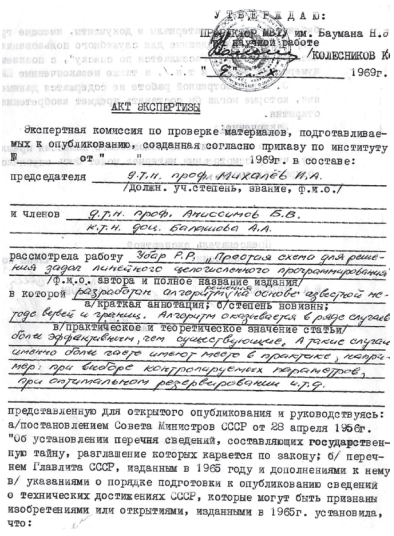
06.10.83. IMEKO konverents Moskvas. Käisin Lavrikul külas. On õnnelikus abielus ja töötab dotsendina Baumani nim. Tehnikaülikoolis. Lavrik on see, kellele 12 aastat tagasi aspirantuuri ajal valemeid tema dissertatsiooni „genereerisin“, et tema töö „teaduslikum“ välja näeks.

Niiviisi veetsime me oma konverentsipäevi. Aga ega neil aegadelgi konverentsidele niisama sõita ei saanudki. Ka siis pidi meil oma kateedris selle jaoks projektide raha olemas olema.

Järgmine, 1984. aasta oli kateedrile teadustöö liinis väga töine: viisime läbi üleliidulise 10. Diagnostikakooli, alustasime uut teadusprojekti, andsime välja TPI teadustööde kogumiku ja külastasime mitmeid konverentse. Maikuu lõpupäevadel toimus Doni-äärses Rostovis üleliiduline seminar-nõupidamine arvutisüsteemide häirekindluse ja diagnostika alal, kus esinesin samuti ettekandega. Seminari eesmärgiks oli analüüsida kogu riigi arvutitööstuse ja projekteerimisorganisatsioonide valmisolekut arvutitoodangu murranguliseks suurendamiseks. Probleem oli aktuaalne ka meie vabariigile seoses käimasolevate ettevalmistustega kooliarvutite seeriaviisiliseks tootmiseks.

Olin TPI teaduslike tööde 1984. a. kogumiku *Elektrotehnika ja automaatika* vastutav toimetaja, kus kolleegiumisse kuulusid **E. Rüstern**, **A. Bachverk** ja **B. Gurjanov**.

Automaatikateaduskond andis välja ka teist kogumikku *Raadiotehnika*, mille vastutav toimetaja oli dots. **Hiie Hinrikus**. Tema kolleegiumisse kuulusid **E. Laksberg**, **O. Kangur** ja **U. Niinsalu**. Nagu ikka, kuulus aga põhisõna selles toimetamistöös ja artiklite avaldamiseks loa andmises ülikooli ekspertiisikomisjonile, mida juhtis dots. **Vladimir Heinrichsen**, kelle komisjoni kuulusid veel TPI I osakonna juhataja **Antonina Tšalova**, TPI teadusosakonna vaneminsener **Helgi Arumaa**, TPI patendiosakonna juhataja **Raul Kartus** ja automaatikateaduskonna esindajana dots. **Harri Mägi**.



УТВЕРЖДАЮ:
Проректор МВТУ им. Баумана Н.Э
по научной работе
_____ /КОЛЕСНИКОВ К
"___" _____ 1969г.

АКТ ЭКСПЕРТИЗЫ

Экспертная комиссия по проверке материалов, подготавливаемых к опубликованию, созданная согласно приказу по институту
№_____ от "___" _____ 1969г. в составе:
председателя д.т.н. проф. Михалёв М.А.
/должн. уч.степень, звание, ф.и.о./
и членов д.т.н. проф. Анисимов Б.В.
к.т.н. доц. Балашова А.А.
рассмотрела работу Зибер Р.Р. „Проверка схем для решения задач линейного целочисленного программирования"
/ф.и.о. автора и полное название издания/
в которой разработан алгоритм на основе идеи перебора и границ. Алгоритм оказывается в ряде случаев
а/краткая аннотация; б/степень новизны;
в/практическое и теоретическое значение статьи/
более эффективным, чем существующие, а также случаи именно более узкого имеют место в практике, например: при выборе контролируемых параметров, при оптимальном резервировании и т.д.
представленную для открытого опубликования и руководствуясь:
а/постановлением Совета Министров СССР от 28 апреля 1956г. "Об установлении перечня сведений, составляющих государственную тайну, разглашение которых карается по закону; б/ перечнем Главлита СССР, изданным в 1965 году и дополнениями к нему в/ указаниями о порядке подготовки к опубликованию сведений о технических достижениях СССР, которые могут быть признаны изобретениями или открытиями, изданными в 1965г. установила, что:

Iga artikli publitseerimiseks oli vaja taotleda ülikooli poolsalajases nn. „teises“ osakonnas luba, mis päädis ekspertiisiaktile allkirjade kogumisega

Uus lepinguline töö XO-404 „Mikroprotsessorsüsteemide diagnostika meetodite ja algoritmide väljatöötamine“ sõlmiti perioodiks 1984-85. See oli kuum teema rahvusvahelises ulatuses, just neil aastail ilmusid mitmed põhjapanevad selleteemalised teaduslikud artiklid ameeriklaste poolt, mida hiljem tsiteeriti mitmeid aastakümneid. Ka meil Tallinnas ja mujalgi N Liidus, eeskätt Vladivostoki **Šaršunovi** ja **Tšipulise** koolkonnas, tehti paralleelselt ja sõltumatult samu asju, mida ameeriklasedki tegid, aga ajalukku läksid ja selle suuna sihtmärke seadsid üles Suure Lombi tagused tegelased.

Meie lepinguline töö XO-404 kuulus kõikidesse kõrgematesse N Liidu riiklikesse programmidesse (näit. programm GKNT 30/2, N Liidu Teaduste Akadeemia Küberneetika programm, N Liidu Haridusministeeriumi ülikoolide-vaheline programm) ja kõige lõpuks ka kõrgeima prioriteediga vabariiklik programm. Meie teadustöö tulemuste rakendajateks olid EKTA, Tallinna TU keskus SojuzEVMkompleks „Algoritm“, mitmed Moskva, Leningradi ja Harkovi, eeskätt sõjatehnika tootmisega seotud tehased ja uurimisasutused. Eks niisugusel tasemel toimunud tööde koordineeritus oli ka üheks põhjuseks, miks meile oli usaldatud sel aastal Tallinnas läbi viia see 10. juubeli tippkonverents diagnostikas.

Koostöö unikaalsusest EKTA-ga

Koostöö Küberneetika Instituudiga ehk täpsemalt Kübi Erikonstrueerimisbüroo EKTA-ga jätkus meil pidevalt kuni Eesti taasiseseisvumiseni. Uurisime süsteemide diagnostika teooriat, programmeerisime uut tüüpi testigeneraatori ja konstrueerisime intelligentse diagnoosiva testimisautomaadi, mille oli meilt tellinud N Liidu kõige tuntum arvutitetehas Minskis ning millelaadseid NL-is ei olnud. Testri kohta saime neli autoritunnistust, mille osanikeks olid **T. Lohuaru**, **H. Haak**, **M. Männisalu** ja **P. Pukk** EKTA-st ning **T. Evartson**, **A. Viilup** ja **R. Ubar** TPI-st.

Sel perioodil kaitsesid mitmed mu õpilased kandidaadiväitekirju: **Peeter Kitsnik** (1981), **Mari Plakk** (1984), **Teet Evartson** (1986) TPI-s ja **Martin Pall** (1986) ning **Andrus Voolaine** (1986) EKTA-s.

1980-ndal aastal kolis EKTA Estonia puiesteel asuvatest ruumidest Mustamäele, lähemale TPI-le, mistõttu ka koostöö kahe asutuse vahel tihenes märksa rohkem. Lisaks elektronarvutite kateedrile said EKTA partneriteks veel teisedki kateedrid TPI automaatikateaduskonnast. EKTA kasvas kiiresti ja seda kasvu toetas uute andekate töötajate juurdevool eriti TPI lõpetajate hulgast. Suur panus oli siin elektronarvutite kateedril, mille lõpetajatest **Tiit Siida** (1972-94), **Ants Kollo** (1973-80), **Imre Pall** (1974-78, 1982-92), **Tõnu Tõnspoeg** (1981-92), **Anti Ira** (1975-88), **Arvo Toomsalu** (1976-79), **Vladimir Kovrov** (1976-80), **Boris Tolbast** (1976-86), **Margus Norvik** (1977-93), **Rein Maasik** (1977-97), **Eduard Vanamölder** (1977-90),**Tõnis Toome** (1977-79), **Toomas Kont** (1979-80), **Villem Alango** (1980-81), **Vahur Kadakas** (1980-87), **Jüri Lankots** (1981-92), **Aleksander Astanovski** (1981-93), **Tarmo Kriis** (1981-84), **Tõnu Arulaane** (1982-92), **Agu Viilup** (1984-92), **Toomas Miikla** (1984-93), **Ülo Liivamägi** (1984-91), **Ott Köstner** (1985-90), **Kalle Pungas** (1988-91), **Viljar Tulit** (1993-97) jt. kujunes aastate vältel Küberneetika Instituudi ja EKTA raudvara, või siis kasutati Kübit ja EKTA-t hüppeplatvormina oma insenerikarjääri edasisel kujundamisel.

Väga hea sõnaga tahaks siinkohal meenutada ka kõiki neid EKTA ja Küberneetika Instituudi teadureid ja insenere, kellega me koos töötanud oleme ja kellest eespool juba

Unustamatu Andri Ariste loengute vaheajal koos kolleegi Galina Kuznetsovaga õppejõudude ruumis kohvitamas

juttu on olnud, aga eriti **Andri Aristet** (1935-1995) õppejõuna, **Harry Tani** (1930-2007) teadustöö organisaatorina ja **Tõnu Lohuaru** EKTA diagnostika-grupi juhina. Andri oli raudvaraks selles koostöös kateedri ja EKTA vahel nii õppe- kui teadustöös, kes alustas tunnitasulise õppejõuna TPI-s juba 60-ndate algul TUPTI insenerina ning jätkas väga armastatud ja hinnatud õppejõuna seda tööd kuni surmani, ja kes oli ka selleks ühenduslüliks, tänu kellele sai üldse alguse 20 aastat kestnud diagnostika-alane teaduslik koostöö EKTA ja TTÜ vahel.

Teatud mõttes oli EKTA ja elektronarvutite kateedri koostöö sellel perioodil unikaalne terves Nõukogude Liidus. Sest vaatamata totaalsele plaanimajandusele, ei planeerinud EKTA tööd ja seega ka EKTA ning TPI vahelist koostööd ükski riiklik organ ja kõiki töid sai valida oma äranägemise järgi. Kuna Teaduste Akadeemia EKTA-t ei finantseerinud, siis sellega oli EKTA-le jäetud täielik (isemajandamisel põhinev) vabadus. Tänu heale reputatsioonile, milles oma osa oli ka EKTA ja TPI koostööl, ei olnud aga lepingute ja tellimuste saamisel probleeme. Positiivne oli see, et EKTA oli mitte üksnes ideaalseks õppebaasiks TPI-le, vaid ka suurepäraseks vaheplatvormiks TPI-s ja eeskätt elektronarvutite kateedris läbiviidud teadustöö tulemuste rakendamisel tööstuses, mis sest et peamiselt küll Venemaa avarustel.

Ühe doktoritöö lugu[58]

Konverents Pirita Olümpiakeskuses

Vahetevahel, 80-ndate esimesel poolel konverentse külastades küsiti mult, kui kaugel on juba mu doktoritöö. Mina aga polnud tõsiselt mõelnudki veel selle üle. Nüüd tagantjärele ütleksin, et mu töö oli valmis juba 1980-ks aastaks (ma polnud veel siis 40-ne). Just sel ajal publitseerisin ühe 200-leheküljelise monograafia[59], kus mu põhilised tulemused olid kirja pandud. Monograafia oli vene keelne ja avaldati kaheosalise raamatuna TPI kirjastuses, pisut hiljem ka Nõukogude Liidu ühes tähtsamas kirjastuses Mašinostrojenije.[60] Umbes samal ajal valmis ka meie testigeneraator, mida tegime koostöös EKTA-ga. Generaatorit katsetades saime hulga andmeid, mida oleksin võinud kasutada väitekirjas uute meetodite efektiivsuse tõenditena.

Ometigi ei mõelnud ma üldse doktoritöö kaitsmisele. Üheks põhjuseks oli see, et tehnikateaduste doktoritööde tase oli tol ajal väga kõrge ja nad võrdusid enamasti elutööga. Nõuti tulemuste juurutamist tööstuses, aga see võttis kõik palju aega. Nii kaitstigi doktoritöid harilikult 45-50 aastaselt. Sellest lähtuvalt suhtusin lihtsalt oma tulemustesse väga kriitiliselt. Seda, et olime oma tulemusi rakendanud seni vaid ühesainsas Moskva tehases, lugesin ebapiisavaks.

---

58 Tekst pärineb lühendatud kujul mälestusteraamatust Raimund Ubar „Teadusemees", TTÜ kirjastus, Tallinn, 2011

59 R. Ubar. Diagnosis of Digital Devices. I and II. Tallinn Technical University, 1980, 226 pp. (in Russian).

60 Design of Automatic Test Equipments. (A. Seleznev, B. Dobriza, R. Ubar), Mašinostrojenie, Moscow, 1983, 224 pp., (in Russian).

Teine põhjus, miks ma oma doktoritööga venitasin, oli omapärane häbelikkuse tunne **oma õpetajast** „mööda minna“ – **Hanno Sillamaast**, keda ma väga austasin, aga kes ise ikka veel doktor ei olnud. Minu teadmised ja silmaring ei kannatanud lihtsalt välja võrdlust Sillamaa omaga. Kuidas oleksin siis võinud kanda paguneid, mis olid kõrgemad kui mu õpetaja omad.

Nii ma siis ei forsseerinudki sündmusi, elasin rahulikku elu, püüdes aeg-ajalt oma teadustulemusi eksponeerida konverentsidel, organiseerides kandidaadiväitekirjade kaitsmisi oma õpilastele, otsides uusi kontakte tööstusega, kes oleksid huvitunud meie tulemustest ja kellega oleks võinud lepinguid sõlmida. Paralleelselt olin muidugi veel õppejõud ja pidasin loenguid.

Külalised üleliidulisel konverentsil Tallinnas 1984. Jasinievicene doktoritööd oponeeris Ubar, Ubari väitekirja Nemolotšnov, Speranski oponeeris Kruusi kandidaaditööd, Evartsoni „tegi“ teaduste kandidaadiks Romankevitš ja Mari Plaki – Parhomenko.

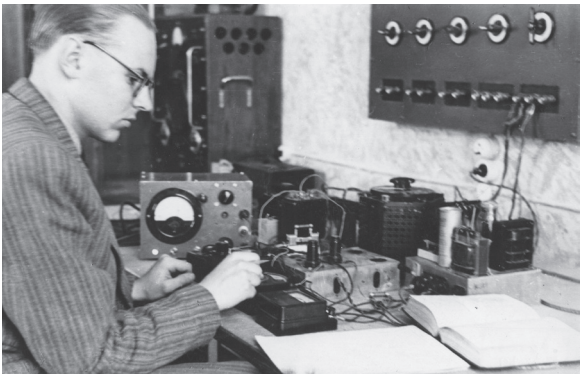
Ühel hetkel meid siin Eestis ometi märgati ka üleliidulisel tasandil ja meie tulemusi hakati kõrgelt hindama. Eks sel põhjusel tehti meile ka ettepanek korraldada 1984. aastal Tallinnas 10. Üleliiduline juubeli-diagnostikakool.

Korraldasime selle kooli (sisuliselt kõrgetasemelise konverentsi) koos Küberneetika Instituudi EKTA-ga Pirita Olümpiakeskuses. Eesti oli alati olnud venelastele pisut eksootiline maa, eks nii oli ka selle kooli puhul. Lisaks atraktiivsele vanalinnale, mis koolist osavõtjaid konverentsi sessioonidelt „poppi tegema“ võrgutas, oli meil pakkuda muidki üllatusi.

Esmakordselt selle kooli ajaloos toimus bankett mitte tihedalt üksteise kõrval toitudest ja jookidest lookas laua taga istudes, vaid püsti seistes rootsi laua ümber. Esimesel hetkel see uudne peokorraldus šokeeris teistsuguse kultuuriga nõukogude inimesi: kuidas siis nii, kas viina tuleb siis tõesti juua igaüks omaette ilma toostita. Siis aga lepiti saatusega ja asuti tegutsema. Veerand tunni pärast oli meie rootsi laud toitudest ja jookidest tühi. Pidasime kiiresti köögiga läbirääkimisi ja varsti oli laual jälle ühtteist suhupanemiseks olemas. Seejärel avastasid meie külalised veel ühe nende jaoks uudse positiivse nüansi: selle asemel, et ainult kahe naabriga lauas vestelda, võis nüüd vabalt ringi liikuda ja mõne sõna vahetada kellega iganes ja kas või toostegi öelda. Ega üldisedki kõned siis olemata ei jäänud. Lõppkokkuvõttes tänati korraldajaid südamest väga toreda ja meeldejääva banketi eest.

Lookas traditsiooniline peolaud ei jäänud siiski organiseerimata. Korraldasime peo väljavalitud seltskonnale Pirita Botaanikaaia saunas, kus isegi basseinis oli võimalik ujuda. Ka see oli ootamatu ja tore üllatus meie külalistele.

Tegin konverentsil ülevaatelise ettekande kõigist oma tulemustest, mis olid ühtsesse süsteemi asetatud. Hiljem selgus, et mu ettekannet oli üksmeelselt mõistetud kui doktoritöö eeltutvustust. Pärast ettekannet vaheaegadel ja vabal ajal järgnesid mulle siin-seal küsimused: millal ma siis kaitsma hakkan, kus ma kaitsen, kas oponendid on valitud, kes on oponendid? Konkreetselt astus mu juurde Kiievi Juhtimisprobleemide Instituudi professor akadeemik **Anatoli Guljajev** ja tegi ettepaneku kaitsta tema instituudi nõukogus.



Hanno Sillamaa – eesti automaatikute isa (1950). Sillamaa oma väitekirjas ei kaitsnud uut „tulemust" traditsioonilises mõttes. Tema teadustulemuseks oli see, et ta suutis tõestada, et probleemil, mida ta uuris, ei olnudki lahendust.

Pärast niisuguseid reaktsioone ja tagasisidesid polnud enam rohkem kõhklusi ja tuli tegutsema hakata, ja ilma tagasihoidlikkuse kompleksideta. Probleem oli vaid selles, et mul polnud veel mitte ühtegi rida väitekirjast kirjutatud. Nüüd tuli tööle asuda.

Aasta pärast oli väitekiri valmis.

Mis on teadustulemus?

Helistasin Guljajevile, aga asjaolud olid muutunud. Tema instituudi õpetatud nõukogus oli tekkinud vahepeal väga pikk kaitsmiste järjekord ja Guljajev soovitas mul mujal kaitsta, vastasel korral oleksin pidanud terve aasta ootama. Küll oli ta aga hea meelega nõus olema oma asutusega nn. kollektiivseks oponendiks, kellelt samuti oli kaitsmiseks retsensiooni vaja.

Anatoli Guljajev oli Ukraina Teaduste Akadeemia liige, äärmiselt meeldiv inimene. Ta oli lugenud ka mu raamatut ja ütles, et see on suurepärane monograafia, mis sobib ka õppevahendiks ülikoolidele. Eks see asjaolu samuti mõjutas positiivselt tema esialgset kutset kaitsma minna Kiievisse. Veel mitmed aastad hiljem pidasime tihedat kontakti, kuni peapõrutus jalgpalli mängides professori hauda viis.

Uut kaitsmisnõukogu otsides pöördusin kõigepealt TPI rektori **Boris Tamme** poole, kes kuulus Riia Arvutustehnika Instituudi, nn. **Jakubaitise** instituudi nõukogusse. Tammest oli niipalju abi, et mind võeti Riias jutule. Saatsin sinna kõigepealt oma töö ja seejärel tegin seal ettekande. Pärast ettekannet sain põhimõttelise nõusoleku Riias oma tööd kaitsta.

Enne tuli aga veel kaua aega oma tööd viimistleda. Oponentideks olid seejuures automaatika labori teadlased eesotsas **Aleksander Petrenkoga**, kes praegu juba aastaid Kanadas töötab. Mu töö järeldused said Petrenko laboris põhjaliku kriitika osaliseks. Näiteks olin kirjutanud, et „olen välja töötanud nii ja niisuguse algoritmi". Sellepeale küsis oponent lihtsalt ja kerge (ehkki mitte halvustava) irooniaga:

„Noh ja mis siis?"

Tuli välja, et ma ei osanudki formuleerida oma teaduslikke tulemusi. See oli vast üllatus: oled teadlane ja ei tea, mis on teadustulemus. See, kui väidad, et oled lihtsalt midagi ära teinud ja uut loonud, ei tähenda veel, et see oleks **teadustulemus**. Teadustulemuse põhiomadus on see, et väide oleks ümber lükatav ehk oponeeritav. Filosoofias öeldakse: teadustulemus peab olema *falsifitseeritav.*[61] Kui ümberlükkamise ehk oponeerimise võimalust pole, ei ole ka tegemist teadusega. Kui väidad lihtsalt, et *„on välja töötatud uus meetod"*, ei saa seda väidet ümber lükata. Seega see meetod iseenesest ei pea veel tähendama teadustulemust. Kui aga väidetakse, et on välja töötatud *„parim meetod maailmas"*, on hoopis teine lugu. Nüüd jääb võimalus oponeerida ja püüda väidet ümber lükata, näiteks välja nuuskida, et eksisteerib siiski kusagil veelgi parem meetod. Ja algabki teaduslik diskussioon. Kui väite ümberlükkamine ebaõnnestub, ongi teadustulemus ära kaitstud.

[61] Karl Popper. Conjectures and Refutations. The growth of scientific knowledge, New York: Basic Books 1962.

Pidin oma väitekirja järeldused enamuses ümber formuleerima. Selleks tuli kasutada väljendeid nagu: *„esmakordselt maailmas"* või *„parim maailmas"*. Niisuguste väljendite kasutamiseks peab aga olema suur enesekindlus ja veendumus. Ehk teiste sõnadega pead olema eelnevalt ära tõestanud, et see tõesti on nii. Ja nüüd selgubki, milles seisneb üks teadustöö: see peab sisaldama mõlemat – nii väidet kui ka väite tõestust. Väited peavad olema korrektsed, s.t. ümber lükatavad ja tõestused peavad olema ammendavad.

Kõiki oma järeldusi ei õnnestunudki mul teadustulemuseks ümber formuleerida. Sest ma lihtsalt ei julgenud mõnel juhul neid enesekindlaid fraase *„parim"* või *„esmakordne"* paberile panna, kuna vastavat ammendavat analüüsi polnud ma teinud piisavalt. Kas puudusid ranged tõestused või olid eksperimendid ebapiisavad. See aga tähendas siis, et antud küsimuses mul polnudki midagi väita. Olin küll uue meetodi välja töötanud, aga kahtlesin, kas ta ikka on teistest meetoditest parem. Niisiis tuli see järeldus ära visata.

Selline järelduste testimine ongi esimeseks sammuks ühe teadustöö hindamisel. Teiseks sammuks on veendumine tõestuste ja põhjenduste õigsuses ja piisavuses.

Läbisin niiviisi oma esimese kadalipu Riias, kaks nõukogu liiget ja üks laborikollektiiv andsid lõpuks mulle „läbipääsuviisa" ja mu töö võeti nõukogusse kaitsmiseks vastu.

Kuidas valida oponenti?

Järgmiseks sammuks oli kolme oponendi leidmine. Siin tuli arvestada järgmist fakti. VAK-is ehk Kõrgemas Atesteerimise Komitees oli kohustuslik pärast kaitsmist saata iga doktoritöö veelkordsele retsenseerimisele nn. tundmatule *„mustale oponendile"*. Too must oponent võis positiivselt kaitstud tööd mitte aktsepteerida ja dissertant oligi läbi kukkunud. Et seda ei juhtuks, oli otstarbekas läbi skaneerida kogu teadlaste eliit omas valdkonnas ja teha kindlaks võimalikud „vaenlased", kes võisid sattuda „musta" oponendi rolli. Niisugusteks vaenlasteks võisid olla näiteks need teadlased, kes sind konverentsidel on kõige rohkem rünnanud, või kellele sa võiksid olla konkurent. Enne väitekirja kaitsmisele asumist tuleks nüüd sellised vaenlased *„neutraliseerida"*. Aga kuidas? Väga lihtsalt: teha neile ettepanek oponeerima tulla avalikule kaitsmisele. Nii poleks neil enam võimalust musta oponendina omaenda kabineti vaikuses suvaliselt ja tagaselja tööd „maha teha".

Ühe sellise oponendi ma leidsin kohe. See oli **Oleg Fomitš Nemolotšnov** Leningradi Täppismehaanika ja Optika Instituudist (LITMO). Meie uurimisvaldkonnad langesid peaaegu täiesti kokku, me olime teineteisele ehtsad konkurendid ja **Nemolotšnov** ning tema õpilased **Zvjagin**, **Golõnitšev**, **Kolesov**, **Usvjatski** jt. olid alati olnud minu konverentsiesinemistel kõige „vihasemad" vaidlejad ja oponeerijad. Nemolotšnov oli väga kinnine, tähtis ja äärmiselt üleolev persoon. Tema hüüdnimekski oli *barin* .[62] Ta hoidis enamasti kõigiga distantsi. Läheneda oli talle raske. Eriti keeruline oli talle läheneda tööasjus siis, kui ta oli viina võtnud. Viina armastas ta aga kõvasti. Kord ühel banketil astusin ta juurde ja püüdsin pinda sondeerida, kas ta ei tahaks ühte mu aspiranti oponeerida. **Oleg Fomitš** vaatas mulle silma ja ütles, et napsisena ta tööasjadest ei räägi… Seekord minu oponeerimiseks ta esialgse nõusoleku teatud reservatsioonidega andis.

Teise oponendi valisin Moskva Juhtimisprobleemide Instituudist, mida nimetati lõvikoopaks, sest seminariettekanded tehti seal tavaliselt pihuks ja põrmuks. **Pavel Parhomenko** keeldus eetilistel põhjustel – valdkonna juhina püüdis ta vältida isiklikku mõju niisugustes küsimustes nagu uute doktorite tekkimine. Aga Parhomenko soovitas mulle ühte teist juhtfiguuri nende instituudis – **Jegor Sogomonjani**. Sogomonjan mäletas hästi mu varasemat kahte seminari nende instituudis ja andis kergesti nõusoleku.

62 Isand, saks (vene k.).

Kolmandaks valisin akadeemik **Arkadi Zakrevski** Valgevene Küberneetika Instituudist. **Arkadi Dimitrijevitš** ütles, et tahab kõigepealt mu tööd näha, põhimõttelise nõusoleku andis aga samuti.

Kõik kolm olid Nõukogude Liidu tunnustatuimad spetsialistid ja kui nüüd töö oleksk läinud kellelegi minu suhtes negatiivse hoiakuga mustale oponendile, siis poleks too enam saanud olla kõrgema renomeega kui mu valitud oponendid ja vaevalt oleks see must oponent söandanud minna konfrontatsiooni mu avalike oponentide hinnanguga.

Oponendid olid niisiis valitud, aga ees seisis veel nende lõpliku nõusoleku saamine. Siin oli tavaks kõigepealt saata oponentidele oma dissertatsioon, mille siis see oponent delegeeris oma laboris kellelegi läbilugemiseks ja esialgse hinnangu saamiseks ning alles seejärel paluti dissertant laborisse ettekannet tegema.

Tšernobõliga silmitsi

Nüüd seisis mul ees veel kaks reisi – Minskisse **Zakrevski** juurde ja Kiievisse **Guljajevi** juurde. Minskisse sõitsin 5. mail 1986. aastal, üheksa päeva pärast Tšernobõli. Tookordne Tallinn-Minski rong Tšaika startis Tallinnast vara hommikul ja oli Minskis südaööl. Istusin terve päeva pehmel Tšaika istmel ja lugesin veelkord läbi kogu oma töö, et edukalt Zakrevskiga väidelda.

Mäletan oma jalutuskäiku Minskis pikki Lenini prospekti otse päikesele vastu. Seda oli neli metroo jaamavahet, aga ilm oli ilus ja ma tahtsingi just jalgsi astuda. Ettekanne oli läinud suurepäraselt ja mu enesekindlus üha tõusis. Oponentidega oli asi nüüd klaar.

Tšernobõlist teati siin juba, aga ohtu üldiselt ei kardetud. Teadjamad inimesed nagu näiteks Zakrevski ise käisid küll igaks juhuks mütsiga. Minul mütsi kaasas ei olnud, seepärast tundsin end jalutades ka pisut ebamugavalt.

Lõunatasin ühes tavalises sööklas samas lauas kahe erupolkovnikuga. Mehed vestlesid omavahel Tšernobõli õnnetusest. Võtsin ka sõna ja rääkisin sellest, mida olin teada saanud Soomest televisiooni vahendusel. Polkovnikud vihastusid tõsiselt mu peale – see olevat Lääne laim ja propaganda.

„Kui tõesti kõik nii oleks, nagu te räägite," ütles üks lauanaabritest ilmse tigedusega hääles, „ei varjaks meie valitsus seda oma rahva eest".

Kiievisse sõitsin Minskist öise Riia - Kiiev rongiga. Kõik oli rahulik, vagunid olid pooltühjad. Ühes jaamas kohtusime vastutuleva rongiga, mis oli aga puupüsti inimesi täis ja rahvas vagunites valjuhäälne ning ärev. Ma ei seostanud seda esialgu millegagi. Kiievisse jõudes sain aga teada, et linnast väljasõiduks (tagasi koju Eesti suunas) pileteid ei ole.

Guljajevi juures läks samuti ettekanne hästi. Tänu Guljajevile sain ka tagasisõidupiletid, tõsi küll, üksnes seisukohad kupeevagunisse. Niisugusest asjast nagu seisupiletid kupeevagunisse polnud ma varem kuulnud. Aga peaasi, et olid piletid. Inimesed põgenesid massidena Kiievist. Enesetunne muutus üha ebamugavamaks. Püüdsin vältida liiga palju Kiievi tänavatel käimist. Ei teadnud ka, mida õieti süüa ja mida juua. Tol ajal oli üsna tavaline juua igal pool kraanivett. Nüüd Kiievis ma seda teha ei julgenud.

Pärast ettekannet ruttasin öisele Riia rongile.

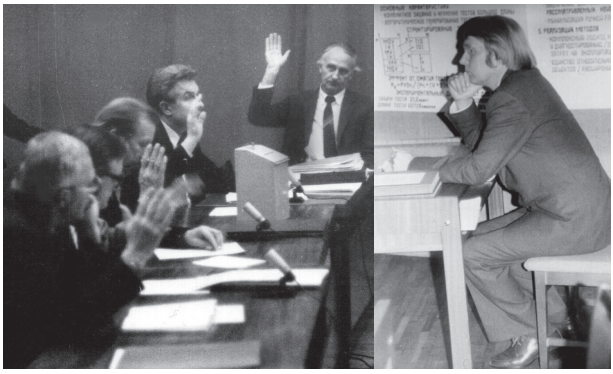
Kupeevagun oli puupüsti rahvast täis. Inimesed seisid koridoris akende all. Rohkem veel kui inimesi, oli pampe. Põgeneti linnast pikemaks ajaks, sugulaste või tuttavate juur-

de kusagile põhja, Leningradi või Moskvasse. Põhiliselt üritati just lapsi ohutumasse paika toimetada.

Mitmed tulid otse Tšernobõlist või selle lähedastest küladest. Kupees, mille ukse juures seisin, lamas koikudel perekond, kes oli töötanud sel hetkel põllul, kui plahvatus käis. Pärast olevat neil lakkamatu janu olnud. Aga keegi põllult ära ei läinud.

Vilniuses kolis see perekond kupeest välja ja lahkus rongist. Kupee jäi vabaks ja sinna oli nüüd võimalik ise minna, heita pikali samadele linadele, kus äsja põgenikud olid lebanud. Ronisin teisele narile. Oli tunne justkui linad ja padi kiirgaksid. Ei julgenud põske vastu patja panna. Aga kõik panid. Ja nii minagi ning uinusin.

Doktoritöö kaitsmine



Hääletamine pärast Raimund Ubari doktoritöö kaitsmist Riias Läti Teaduste Akadeemias 1986. a. 30. oktoobril. Hääletavad vasakult Samari Baranov (Leningrad), Boris Tamm (Tallinn TPI rektor), Guntis Fritznovitš (Riia, komisjoni esimees laua otsas); Paremal: hääletamise tulemust oodates.

Veel üheks nõudeks kaitsmise eel oli saata laiali umbes 50 eksemplari autoreferaati ehk väitekirja lühikokkuvõtet raamatukogudesse, ülikoolidesse ja teadusasutustesse. Mu dissertatsioon koosnes kahest osast, kokku umbes 500 leheküljest. Autoreferaat koosnes 32-st leheküljest. Osa sellest nimestikust, kuhu referaate saata, oli kohustuslik. Ülejäänud adressaadid võis ise valida.

Nõukogusse oodati tagasi retsensioone vastuseks autoreferaatidele. Kui retsensioone ei tulnud, oli halb – töö ei pakkunud järelikult huvi. Eks seetõttu valisingi niisugused ülikoolid ja instituudid, kus tegeldi diagnostikaga ja kus mind ikka tunti. Heaks tooniks oli, kui doktoritöö kohta tuleb 8-10 retsensiooni. Kui rohkem tuleb, oli halb, sest sellest võis siis välja lugeda ülepingutatud „organiseerimist“.

Ma mäletan, et vaid ühele kolleegile mainisin nii mokaotsast, et kui too aega saab, kirjutagu mulle üks retsensioon. Tegelikult tuli mulle neid retsensioone aga kokku tervelt 25 ja kõrvaltvaatajate ees oli mul selle pärast isegi piinlik. Mu enese jaoks tähendas niisugune fakt aga väga suurt tunnustust. See oli isegi ebatavaline. Sest lihtsalt „ilusate silmade eest“, ilma palumiseta, ilma mulje jätmiseta, et teenega on tegemist, ei hakka ju keegi asja eest teist taga kahte lehekülge teksti kokku kirjutama. Aga ometi kirjutati mulle 24 niisugust teksti (ühe jaoks olin ise „vihje“ andnud).

Nüüd jäi üle veel väitekiri ära kaitsta.

Kaitsmine toimus 1986. aasta 30. oktoobril. Protseduur kestis ligemale kolm tundi. Küsimusi oli palju. Oponentide kõned olid pikad. **Nemolotšnov** oli väga kriitiline. See oli äärmiselt õige samm, et „võtsin talt võimaluse“ saada mustaks oponendiks. Olen täiesti kindel, et tema see olekski olnud. **Zakrevski** rääkis toredasti, et tema hobiks on otsida dissertatsioonidest vigu ning vasturääkivusi. Ja peaaegu alati ta neid ka leiab. Minu töös ta aga polevat leidnud. **Sogomonjan** rõhutas uue graafide mudeli revolutsioonilist täht-

sust. Ta ütles, et peaksime omal maal s.t. Nõukogude Liidus kõik koos väga tõsiselt sellel probleemil sarvist haarama, millega mina oma töös olin alustanud.

„Ja kui meie ei tee seda, siis teevad teised," ütles **Sogomonjan**. Ta pidas silmas ameeriklasi.

Sogomonjani kõne osutus prohvetlikuks. Täpselt samal aastal ilmus kusagil seal kaugel raudse eesriide taga teisel pool ookeani pöördelise tähtsusega artikkel.[63] See artikkel käsitles neid samu graafe, mida ka mina oma töös kaitsesin, aga avas nendes ühe uue külje – kanoonilisuse. Tänu sellele omadusele said graafid nüüdsest väga populaarseks ja sisuliselt algas üks suur buum. Meie artiklitele selles töös viiteid ei olnud. Aga polnudki ju, kuhu viidata – olin seni avaldanud oma töid vaid vene keeles, kui välja arvata mõned üksikud saksakeelsed artiklid Ida-Saksamaal, mida laiemalt niikuinii ei loetud.

Pärast doktoritöö kaitsmist tagasi kateedris. Vasakult Julia, Natalja, Raimund, Kaie ja Jelena.

Kaitsmisele sõitis Riiga väga palju mu sõpru, kolleege ja tuttavaid. Mitte ainult Eestist, vaid ka Leedust ja Moskvast. Saal oli rahvast täis, mis harilikult kaitsmiste ajal selles nõukogus nii ei pidanud olema. **Boris Tamm** ütles selle peale mulle hiljem komplimendi: „Ma ei arvanudki, et teil nii lai sõprusringkond on!"

Harri Mägi: Kateedri teise kümnendi kroonika

Käesoleva peatüki eelnev osa kirjeldas ühte huvitavat perioodi eeskätt instituudi teaduselus. Kuid samal ajal toimus ju kateedris ka vilgas õppetöö tegevus koos õppelaborite pideva ja ennastsalgava arendamisega. Alljärgnev on lühikokkuvõte ülevaatest, mille koostas dots. **Harri Mägi** TTÜ arhiivis säilinud kateedrikoosolekute protokollide põhjal ajavahemikust 1978 kuni 1987, mil kateedrit juhatas dots. **Andres Keevallik**. Selles kokkuvõttes on tähelepanu pööratud olulisematele ja märgilisematele episoodidele kateedri elus, kus suurem tähelepanu on pööratud laboratoorse baasi arendamisele, mõnikord kuni ilmekamatele ja ajale iseloomulike detailideni välja, jättes kõrvale standardse ja korduva ning sageli formaalse tüüparuandluse.

1978/79. Kateedri koosseisu kuuluvad: Keevallik, Mägi, Ubar, Melnikov, Leis, Sudnitsõn, Piht, Jänes, Plaks, Grigorjeva, Kull, Plakk, Kitsnik, Arulaane, Penkova, sekretär Vaike Sisask. Kateedrijuhataja Andres Keevallik tõstab üles õppe-metoodilise probleemi: kuidas paremini õpetada üliõpilasi. Diplomiprojektide üldjuhendajaks määratakse Mägi. Programmeerimise õpetamisel kiidetakse Imre Melnikovi (koos mureliku repliigiga: mida me teeksime, kui Imre läheks ära!). Laborite väljaarendamine ei edene nii, kuidas oleks vaja.

1979/80. Labori juhatajaks saab Juhan Kull. Hinnang möödunud aastale: diplomitööd on nõrgad, laboribaasi väljaehitamine poolik. Tööle võetakse Jugandi ja Toomsalu ning kaks eriala lõpetanut, Kruus ja Allikmäe. Sisse viiakse uued palgamäärad: laborijuhataja – 160, õppemeister – 120, vanemlaborant – 122.50, laborant – 90, vaneminsener – 150, insener 110. Laboribaasi arendamise ülesande saab Kull. 27.12. Hinnang Ubari teadustööle: publikatsioone – vähe, ei ole ühtki autoritunnistust, ükski juhendatud väitekiri pole jõudnud kaitsmiseni. Laboribaasi arendamiseks tuleks muretseda mikroprotsessoreid.

[63] R. E. Bryant, Graph-based algorithms for Boolean function manipulation. IEEE Trans. on Computers, Vol.C-35, No8, 1986, pp. 667-690.

Lõpetab 1980. aasta lend. Vasakult: kateedrijuhataja, hilisem kahekordne rektor Andres Keevallik (3), hilisem TTÜ kuldsponsor, AS Harju Elekter juhataja Andres Allikmäe (5), praegune arvutitehnika instituudi direktor Margus Kruus (12).

1980/81. Eelmise aasta kokkuvõte: laboribaasi suhtes resultaate ei ole ikka näha. Toomsalu töötab eeskujulikult, kõik teised aga ei tunne vastutust. Kateedri teadustöö näitajad on aga teaduskonnas parimad (lepingute maht, publikatsioonide arv). Väitekirjade seis: Kitsnik – töö on esitatud oponendile, Viilup – sisuliselt on töö tublisti edenenud, Jänes, Leis – töö seisab. Kateedrisse võetakse tööle Eda Nurk. Tuleks tihendada kontakte Leningradi ülikoolidega, eeskätt prof. Novikoviga.

23.10. Olukorrast Tallinna linnas. Meie teaduskonna tudengid toimunuga seotud ei ole. Mehaanikateaduskonnas on aga neli tudengit TPI-st ja komsomolist välja heidetud. Manitsus rühmajuhendajatele – suurendada tähelepanu kasvatustööle. Õppe-metoodiline töö ei ole päris korras (laborite juhendid puuduvad). Igal õppejõul peaks olema diplomiteemade portfell tudengitele pakkumiseks. 28-st tööle suunatust jäetakse kateedri juurde Salum ja Tammemäe.

29.12. Mari Plaki ettekanne valminud väitekirjast; lugeda tema aspirantuur lõppenuks väitekirja esitamisega. Kitsnik valitakse assistendi kohale, tema väitekirja kaitsmisajaks määratakse 26.02.1981.

1981/82. Tööle võetakse van. insenerina Merike Silling. Laborite arendamisest (Allikmäe): puudub kaasaegne tehnika, jätkata tuleb universaalmakettide edasiarendamist keskmiste ja suurte integraalskeemide suunas. Koostöös koondisega „Algoritm“ välja ehitada programmeerimise klass. Juurutada õppetöösse mikroprotsessorite arendussüsteemid. Plaanis on üles ehitada mikroprotsessortehnika labor. Diplomiprojekteerimise tulemustest (Leis): 26-st diplomiprojektist oli 17 pühendatud liideste projekteerimisele.

11.11. Väitekirjade valulasteks on: Leis, Jänes, Plaks. 15.06. Plaksi ettekanne valmivast väitekirjast (juh. E. Tõugu). Väitekiri peaks valmima sügiseks. Siemi ettekanne väitekirjast andis lootust, et see peaks valmima 1982. a. jooksul.

1982/83. Heal tasemel on digitaalarvutite elementide ja perifeerseadmete laborid (tänu Toomsalule).

19.11. Leisi ettekanne väitekirjast. Otsus: soovitada kaitsmisele. Õppejõude kohustati lülitama mikroprotsessortehnika alaseid teemasid oma tööprogrammidesse. Masinprojekteerimise õpetamisel toimub edasiminek. Raskuseks on arvutitehnilise baasi nõrkus. Baaskateedri moodustamisest 1983. a. sügisel koostöös Kübi EKB-ga. Diplomiprojekteerimisest (Leis): moodustada eraldi kaks komisjoni riistvara ja tarkvara valdkondadele. Erialapäev 8. aprillil. Tänavune lõpetaja Uno Kuuskor jääb kateedrisse tööle inseneriks, LS rühma lõpetaja Boris Berkman tuleb lepingulisele tööle. Kuulati Leisi stažeerimise aruannet Kübi EKB-s.

1983/84. Moodustatud on baaskateeder koosseisus: Tõugu, Jaaksoo, A. Wõrk, Mere jt. Uus vastuvõtt: 110 üliõpilast 0608 erialale. Kateeder on saanud toetuse mikroprotsessorgrupi moodustamiseks, mille juhiks on Arvo Toomsalu.

Lõpetab 1984. aasta lend. Vasakult kõige pikem rivis Aleksander Maksimenkov (7), kõnet peab dots. Paul Leis.

Teadustöös hiilgavaid resultaate pole. Leisil väitekiri kaitstud, kinnitus käes. Sudnitsõnil kaitsmine planeeritud 1983. a. lõpuks. Suuri raskusi on mikroprotsessortehnika hankimisel. Otsustati töökorda seada Taganrogi RTI-s väljatöötatud stendid ja laiendada olemasolevaid. Toomsalult kaks uut maketti. Viilupi ettekanne valmivast dissertatsioonist *Mitmetasemelise diagnostikasüsteemi projekteerimine arvutile.* Sõna võtsid: Leis, Keevallik, Jänes, Ubar, Toomsalu. Keevalliku hinnang esimese aasta aspirandile Margus Kruusile: töö on hästi edenenud, on originaalset lähenemist; teab, mida teha, kust otsida. Ubari hinnang teise aasta aspirandile Teet Evartsonile: 2 publikatsiooni, töö on rakendustega tihedalt seotud. Siem on valmistanud ette mitu loengukursust ja laboritööde tsüklit, väitekiri on valmimisjärgus.

Erialapäev toimub Glehni lossis 13.04. ÜTÜ konkursil eriala parimaks üliõpilaseks tunnistatakse Peeter Ellervee. Arvutustehnikat tuleb hakata lugema nüüdsest ka TI erialale ja M-teaduskonnale. Kateedri ühiskondlikuks patentoloogiks määratakse Ksenja Grigorjeva. Otsustavasse järku on jõudnud probleemlabori loomine.

1984/85. Kokkuvõte eelmisest õppeaastast: 40% diplomiprojektidest on mikroprotsessortehnika ja automaatprojekteerimise teemadel. NSVL Kõrgema Hariduse Ministeeriumi kontrollkomisjon andis kateedrile kõrge hinnangu.

Töötada välja õppeainete kompleksid I ja II kursuste osas. Kateedri õppe-metoodikatöö korraldajaks määratakse Ubar. Mägi: Tõsiseks takistuseks tootmispraktika korraldamisel on üliõpilaste osalemine EÜE-s. M. Plaksi väitekirja läbivaatamine ja kaitsmiseks esitamine. Staažikamatele õppejõududele määrati kontrollimise kohustus noorema personali õppetöö üle: dots. Mägile – Kruus, Tammemäe, Siem; dots. Ubarile – Viilup, Kuuskor; dots. Kitsnikule – Kont, Viies; van.-õp. Leisile – Berkman, Salum.

26.11. Keevalliku info tootmisharulabori moodustamisest kateedri juurde: NSVL Raadiotööstuse Ministeeriumis on dokumendid allakirjutatud; võib loota labori avamist 1985. a. alguses. Margus Kruusi esitamisest vanemõpetaja ametikohale – Kruus on võimekas ja kohusetundlik töötaja, edukas nii õpetamises kui ka ühiskondlikus töös.

18.02. Väga halvad eksamisessioonitulemused rühmas LI-41, kus on jäänud nimekirja vaid 2 üliõpilast. Otsustati taotleda teiste erialade üliõpilaste ületoomist sellesse rühma. Diplomitööde arv on tavatult suur, Leis delegeerib nende kaitsmise korraldamise 2 komisjonile, mida juhatavad: Sudnitsõn –riistvara, Kitsnik – tarkvara. Erialapäeva otsustatakse sel aastal mitte korraldada, küll aga järgmisel, 1986.

aastal, seoses kahe juubeli ühitamisega: kateedri 20. aastapäev ja 10. erialapäev. Kitsniku aruanne oma juhendatava ja kateedri šefluse all oleva Polütehnikumi III kursuse erialaringi tööst. Ubari aruanne õppekomplekside koostamisest: I ja II kursuse kompleksid on valmis, töös on osalenud Ariste, Keevallik, Kitsnik, Leis, Mägi, Siem, Ubar. Leis tõstatas küsimuse silp-protsessorite õpetamisest.

26.03. Laboribaasi arendamisest (Kuuskor): käsil on makettide täiustamine (Remmer, Antoi); mõelda läbi peatselt kateedrisse ilmuvate arvutite CM-1800 kasutamisest õppetöös; kateeder vajab miniarvutit. ÜTÜ tööst (Kruus): Ellervee ja Maksimenkovi ÜTÜ tööd vormistatakse saatmiseks üleliidulisele konkursile.

1985/86. Tööle võetakse Heljo Saar (sekretäriks) ja Enn Rebane (labori arendustööd juhtima). Teadustöö on edukas: Üleliiduliselt ÜTÜ konkursilt on saadud medal (Ellervee) ja diplom (Maksimenkov), 1 autoritunnistus (Evartson, Ubar, Viilup), 2 programmide süsteemi on antud üleliidulisse algoritmide ja programmide fondi.

25.12. Laborite arendustöö: Mägi – teha laborijuhendid kursustele „DA skeemitehnika" ja „MP süsteemide projekteerimine" kateedrile planeeritud trenažööride K580 baasil. Ubar, Evartson – teha laborijuhendid ainele „Arvutite teooria ja projekteerimine" trenažööri 1804 baasil; Siem – täiendada laboritööde kompleksi aines „Perifeerseadmed" trenažööri K580 baasil; Leis, Alango – uurida võimalusi CM-1420 kasutamiseks õppetöös. Seoses ruumide 208, 209, 210, 211 remondiga nihkub arvutite CM-1800 ja CM-1420 ülespanek vähemalt 1986 märtsini.

04.02. Osavõtjad: Keevallik, Ubar, Mägi, Kruus, Sudnitsõn, Viies, Leis, Grigorjeva, Evartson, Siem, Piht, Alango, Kont, Maksimenkov, Rebane, Tammemäe, Ellervee, Saar.

Laborite ehitamisest. Eestvedajaks on Piht. „Metallistist" on tellitud põrand ja alumiiniumvaheseinte raamid. Raskusi on elektriprojektiga ja materjalidega. Harju KEK-ist on tellitud kaabel ja kilbid, akendesse konditsioneerid, Püssi tehasest on õnnestunud tellida lamineeritud plaate. 211 ehitatakse maast laeni kappe täis, sinna tuuakse 217-st labor. Väljaehitamisel on hästi töötanud Rebane, Antoi, Liivar.

Suurim mure: kindlustada uued laborid tööde läbiviimise metoodikaga mikroprotsessortehnika kursuse osas (Leis, Mägi). Töösse „Elektronika K580" baasil on rakendatud diplomandid Kallaspoolik, Pariis ja Süld. Mure: millal saame kätte kasvõi ühe K-580. Praegu saab vaadata seda ainult Toomsalu juures. EC ja CM laborikursustega tegeleb hetkel Viies.

14.04. Õppetööst I kursusel. Prodekaan ei ole rahul LI-11 rühmaga, tuleb valida uus rühmajuhendaja. Rühmas LI-27 on ainult 2 üliõpilast, kel pole hindeid „2". Laborite arendusest. Saadi veel üks APM. Ruumist 211 tuleb trenažööride klass. Juurde saadakse veel 20 trenažööri. „Elektronika K580" ei ole veel saabunud. Displeideks tahetakse väikesi televiisoreid, mille ostmiseks, kuna see on tarbekaup, on vaja eriluba. RET-ist on kavas hankida lasergrammofoni veomehhanism koos digitaalse juhtosaga, mida hakatakse kasutama „Elektronika K580" poolt juhitava objektina. Õpilasringist. Töö kulgeb edukalt, tänu Viiesele, Alangole, Kondile. Õpilased käivad loengutel ja praktikal Valgast, Raplast ja Pärnust. Nimekirjas on 100 õpilast, 11 nende hulgast tahavad meie erialale TPI-sse õppima tulla. A. Jaanson lubas neljapäeviti ja laupäeviti kasutada AK-s mikromasinaid. ÜTÜ-st. Balti vabariikide, Valgevene ja Moldaavia ÜTÜ konverentsil esines meie erialalt ainult Natalja Einasto (diagnostika teemal).

1986/87. Sellest aastast hakatakse tõstma nõudlikkust õppetöös, on lubatud rohkemal arvul eksmatrikuleerida nõrku. Antakse suurem vabadus õpetada nii, nagu paremaks peame, ei ole enam vaja end jäigalt siduda üleliiduliste programmidega.

28.08. Laboribaasist. Personaalarvutite klass saab suure koormuse, oleks vaja täiendavat mälumahtu. Alango: Arvutil APM saab praegu lahendada ainult programmeerimise ja tekstitöötluse ülesandeid, masinprojekteerimise osa praegu ei ole. Trenažöörid peaks tööle saama arvutite teooria laborite tarvis. Meie mikroprotsessorite laboreid tahavad hakata kasutama ka automaatikud. Ruumis 208 on juhtivaks õppejõuks Leis, tema abilisteks Grigorjeva ja Alango; kateedri inseneriks tuleb Süld, kes hakkab andma ka laboreid.

Erialapäev toimub pärast TPI juubelit, arvatavasti novembris, õhtune osa on planeeritud Glehni lossi, ürituse üldjuhiks on Kitsnik. Kateedri uueks sekretäriks tuleb Kaie Elevant. 20.-25. okt. toimub Frunzes üleliiduline olümpiaad, kuhu plaanime saata 3 üliõpilast (Miikla, Udre, Neidre) ja juhendajana Margus Kruusi.

Siinkohal kateedri koosolekute protokollid katkevad kuni õppeaasta 1987/88 alguseni. Kaks aastat kestnud **Andres Keevalliku** sihikindel töö uue probleemlabori rajamisel ülikooli juurde kandis lõpuks vilja. 18. juunil 1987 andis rektor akad. **Boris Tamm** välja käskkirja TPI digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika laboratooriumi asutamisest, mille juhatajaks määrati Andres Keevallik. Samaaegselt toimus ka elektronarvutite kateedri juhataja vahetus. Alates 1. sept. 1987 asus kateedrit juhatama **Raimund Ubar**. Edasist kateedri elu ja arengut alates 1987/88 õppeaastast kirjeldab järgmine peatükk.

1987–1992
Muutuste aeg

Kateeder saab laboratooriumi

Mida arvas Henn Salum

Ühel päeval pärast minu doktoritöö kaitsmist astus ülikooli koridoris rektor **Boris Tamm** uue doktori juurde ja ütles:

Uus labor Raja tn. 15, „mobiilsete" IBM PC arvutitega – need osteti Läänest, „vahepeatusega" laboris, kuid vahendamiseks rikastele ostjatele Eestis. Vahepeatuses aga kasutati võimalust nendel arvutitel keerulisi algoritme programmeerida. Niiviis töötasid käsikäes majanduslik ettevõtlus ja teadus.

„Teil tuleb nüüd kateedrit juhatama hakata."

Eks võis ju aimata ka, et niisugune ümberkorraldamine kateedri administratsioonis võib hakata toimuma, aga see polnud ju ka väga kindel, sest sellel doktoril puudus tolleaegne juhiluba – kommunistliku partei liikmepilet. Ajad aga olid muutunud ja partei teemal esialgu juttu ei olnudki. Teisest küljest, **Andres Keevallik** oli olnud juba kaks vahetust ehk kümme aastat kateedrijuhataja ning tõestanud oma võimeid olla väga hea administraator. Kuid see 10 aastat oli maksimaalne aeg, mis anti nõukogude ajal kateedri juhatamiseks dotsendile, kes oli doktorikraadita. Seega asjad olid otsustatud, sest Andres oli jätnud kateedri juhatamise kõrval oma doktoritöö kokkukirjutamise teisejärguliseks.

16. juunil 1987 TPI nõukogu istungil (protokoll Nr. 11 p.4) otsustati salajase hääletamise tulemuste põhjal (poolt – 36, vastu ja kehtetuid bülletääne ei olnud) lugeda tehnikadoktor dotsent **Raimund Ubar** konkursi korras valituks elektronarvutite kateedri juhataja kohale. Allkirjad: Nõukogu esimees **B. Tamm**, Nõukogu sekretär **V. Russ.**

Kuid Andres Keevalliku juhiomadused ei läinud kaduma. Andres oli rajanud juba selleks ajaks kateedri kõrvale Raja tänava arvutuskeskusesse uue digitaalsüsteemide labori, mille juhatajaks ta nüüd pärast kateedri üleandmist sai.

Kaks päeva pärast Raimund Ubari kateedrijuhatajaks valimist 18. juunil 1987 andis rektor B. Tamm välja käskkirja nr. 218 TPI teadusosakonna uue struktuuri kohta, mille järgi moodustati automaatikateaduskonnas kolm uut teaduslikku allüksust: tootmisprotsesside automatiseerimise laboratoorium (juh. dots. **H. Sillamaa**), digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika laboratoorium (teaduslikud juhendajad prof. R. Ubar ja dots. A. Keevallik) ja signaalitöötluse laboratoorium (juh. dots. **V. Heinrichsen**). Oli mõistlik ühendada arvutitehnika instituudi juurde loodud laboris kaks teadussuunda, mis tegi labori teadusliku potentsiaali tugevamaks. Laborit juhatama hakkas Andres Keevallik.

Juba esimesel kateedri juhatamise nädalal astus uue kateedrijuhataja juurde teaduskonna partorg ja küsis sõbraliku häälega, kas too pole mõelnud ka parteisse astuda. See olevat

ikka traditsiooniks olnud, et kateerijuhatajad on parteilased. Kuid niisugune „lisandväärtus“ ei tulnud kõne allagi. Rohkem selleteemalisi jutuajamisi ei toimunud…

Saades kateedrijuhatajaks, hakkasin tunnetama kohustust ja sellega seotud vastutustunnet tõsta kateedri taset nii õppetöö kui ka teadustöö suhtes. Meil polnud ju tol ajal isegi korralikku laboratooriumit ja ka teadusega tegeldi ebapiisavalt. See oli periood, kus uksed olid valla muutustele ja kasvasid vabadused. Aktiivsemad õppejõud hakkasid otsima võimalusi realiseerida ennast väljaspool ülikooli, kohustuslik õppetöö tehti küll ära, aga see oli ka kõik.

Need olid aastad, kus teadustöö tegemise asemel oli palju atraktiivsem astuda ärisse. Äri oli võimalik nüüd muuta ka rahvusvaheliseks. Otsiti kontakte välismaaga, et leida sealt tööotsi programmeerimiseks või vahendada sinna meie tudengeid, kes programmeerida osakasid. Väga populaarne oli arvutiäri, mis oli ka kateedrile mõnikord kasulik, kuna osutus võimalikuks luua ülikooli juurde „ajutine arvutipark“ müügile kuuluvatest eksemplaridest. Arvuti seisis mõne kuu kateedris, saime sellel töötada, kuni leidus ostja, kes selle ära viis.

Uus kateedrijuhataja Raimund Ubar koostab aruannet koos oma tubli abilise Heljo Saarega

Omaenda teadustöö pidin mõneks ajaks, vähemalt alguses, täiesti unustama. Pidasin sel sügisel Küberneetika Instituudis loengutsüklit teemal, milles olin kaitsnud eelmisel aastal oma doktoritöö. Mu peatükkide numeratsioon sellel kursusel meenutas monograafia ülesehitust. **Raul Tavast** astuski pärast ühte mu loengut ligi ja küsis, kas mul on monograafia käsikiri juba valmis. Ei olnud muidugi ja isegi sellele mõtlemiseks ei olnud hetkel aega. Teisel korral astus mu juurde arvuti Eestisse maaletoojate hulka kuulunud **Henn Salum**, kes samuti mu loenguid külastas, ja õnnitles kateedrijuhatajaks saamise puhul. Aga sealsamas pööras ta oma õnnesoovil kohe ka „jalad ülespidi“ ja ütles: „Kahju, üks mees on jälle teaduse jaoks kaotsi läinud.“

See lause jäi mulle meelde ja hoidis „sildade purustamisest“ selja taga.

Pilguheit senitehtule

Elektronarvutite kateeder oli eksisteerinud selleks ajaks juba 21 aastat, 11 aastat oli juhtinud **Ustus Agur** (1966-1977) ja 10 aastat **Andres Keevallik** (1977-1987). 10 aastat oli niisiis „reeglite järgi“ ülemine piir, Ustus oli saanud lisa-aasta kateedrijuhataja kohusetäitjana sel ajal, kui Keevallik juba ametliku kateedrijuhatajana viibis aasta Rootsis stažeerimisel. Seetõttu oli üsnagi mõistlik teha üks kokkuvõte kateedri *status quo*'st, et seada plaane tulevikuks.

Selline kokkuvõte tehtigi automaatikateaduskonna dekaani korraldusega 1987. a. märtsist, mille jaoks moodustati komisjon koosseisus: esimees – dots. **H. Sillamaa**, liikmed – dots. **U. Tamm**, dots. k.t. **M. Min** ja ass. **M. Lavrov**. Komisjonile oli seatud küll pisut väiksem ülesanne – analüüsida kateedri tegevust töökorralduse ja tulemuslikkuse suhtes senise kateedrijuhataja valimisperioodil 1981-1987. Komisjon koostas oma töö tulemusena järgmise akti.

Elektronarvutite kateeder anno 1988. Vasakult: istuvad – Ilona ja Kaie, seisavad – Boris, Nõgisto, Enn, Raimund, Margus, Harri, Andres, Villem, Toomas, Jüri, Nigul, Dmitri, Viktor, Peeter ja Kalle.

1.1. Õppetöö. Kõige silmapaistvamad õppetöö-alased kordaminekud kateedris on seotud õppebaasi arendamisega. 1985. a. laienes kateedri üldpind 116 m^2-lt 302 m^2-ni (II korpuses lisandus 78 m^2 ning AK hoones 108 m^2). Enamikku laiendustest kasutati õppetöö huvides. Praeguseks on uued õppelaborid teaduskonna korpuses lõplikult välja ehitatud, sisaldades projekteerimiskomplekse APM 2.01 (CM-1420) ja APM 2.05.11, trenažööre MT1804 jne., automatiseeritud projekteerimise, mikroprotsessortehnika ja nendega lähedaste õppelaborite tarbeks, samuti arvutiklassi arvutite DVK „Elektronika HMC 0110.01-05" baasil. (Raja tn 15 arvutuskeskuse korpuses on paigaldatud mikroprotsessortehnika arendussüsteem PM4422, milline küll vajab efektiivseks kasutamiseks täiendavat programmvarustust ja mõningaid lisaseadmeid.)

1.2. Õppemetoodilises töös on olnud märgata hoogustumist üheaegselt laboratoorse baasi uuenemise ja täiustumisega. 1983. a. õppeplaanide tarbeks on koostatud uued õppeainete tööprogrammid kokku 13 õppeaines, kuid lõpliku kinnituseni teaduskonnas on jõudnud vaid 8. Seejuures õpetab kateeder ühtekokku 20 õppeainet. Õppevahendite ja abimaterjalide suunitlus on olnud mõnevõrra ühekülgne: 1981-1987 avaldatud 6 õppematerjalist on koguni 3 seotud digitaalaparatuuri diagnostika ja testimisega. Seejuures on aga kõik publitseeritud materjalid sisukad ja originaalsed.

Kateedri juures töötab teaduskonna ainuke kaugõppe-eriala (0608) praegu 55 üliõpilasega, kuid vaid kahte publitseeritud õppematerjali võib lugeda orienteerituks kaugõppijaile.

Esiletõstmist väärib kateedri aktiivne tegevus mikroprotsessortehnika täienduskursuste läbiviimisel mitme vooruna alates 1983. aastast, kus ettevalmistuse on saanud üle 300 inseneri. Samuti on tähtis kateedri juures arvutustehnika õpperingi ellukutsumine koolinoortele.

Tundub, et kateeder kasutab vähe TA KI juures loodud baaskateedri võimalusi erikursuste õpetamisel, mistõttu real õppejõududel tuleb tegelda samaaegselt üpris mitme õppekursusega.

2.1. Teadustöö ja selle resultatiivsus. Teaduslik uurimistöö kateedri uurimissuuna AX-04 raames toimub kahe põhiteemaga *digitaalsüsteemide diagnostikas* ja *automatiseeritud sünteesi* alal. Uurimissuund on pikaajaline ning ulatuslikult koordineeritud nii ENSV kui ka üleliidulises ulatuses. Uurimistöö plaane on pidevalt täidetud tähtajaliselt ja neist võtavad osa kõik õppejõud ning 11 TUS-i teadurit.

Lepinguliste uurimistööde aastamaht on vaadeldaval ajavahemikul kasvanud 92,5 tuh. rbl. (1981) kuni 170 tuh. rbl. (1986). Keskmiseks aastaefektiks on osutunud umbes 300 tuh. rbl. Uurimistööde tulemusena diagnostikasüsteemide alal on koostöös ENSV TA KI EKB-ga loodud diagnostikatestreid ning on välja töötatud testide automatiseeritud projekteerimise süsteem. Tallinna teadus- ja õppekes-

kuses on juurutatud digitaalsüsteemide automatiseeritud projekteerimise süsteem. Mõlemad tulemused on rakendamist leidnud ka õppetöös TPI-s.

Teoreetiliste uuringute kohta on igal aastal avaldatud keskmiselt 20 teaduslikku artiklit, neist 5-8 üleliidulistes ja rahvusvahelistes väljaannetes. Väärivad esiletõstmist üliõpilaste ulatuslik osavõtt uurimistööst ning auhinnalised kohad üleliidulistel ja vabariiklikel konkurssidel.

Teatavaks puuduseks uurimistöös võib lugeda mõningat teadustulemuste juurutamise ühekülgsust.

2.2. Teadusliku kvalifikatsiooni areng. Tähtsaimaks tulemuseks võib lugeda dots. **R. Ubari** doktoridissertatsiooni edukat kaitsmist 1986. a.oktoobris. Vaadeldaval perioodil on veel 4 õppejõudu kaitsnud kandidaadiväitekirju (**P. Kitsnik**, **P. Leis**, **A. Sudnitsõn**, **T. Evartson**).Esitamisjärgus on endise aspirandi **M. Kruusi** dissertatsioonitöö. Selle tulemusena on kraadiga õppejõudude osakaal kasvanud 67%-ni, vaatamata rea õppejõudude lahkumisele TPI-st. Positiivne on see, et kateeder on teaduskonna noorim töötajate keskmise vanuse mõttes.

See oli siis elektronarvutite kateedri objektiivne *status quo*, millega tuli astuda kateedri kolmandasse aastakümnesse.

Andres Keevallik: Kateedri 20. juubeli puhul

Kateedrijuhataja Andres Keevallik konsulteerib oma sekretäri Kaiet

Kateedri senise ajaloo jagamine 10 aastasteks perioodideks on muidugi äärmiselt tinglik. Kateedris nagu elavas ja arenevas organismis on kõik omavahel väga tihedalt seotud – mõned algusaastate mõjutused võivad näiteks end täiel määral ilmutada alles nüüd, ka on objektiivsed tingimused kateedri arengus olnud erinevad – seetõttu ma väldin võrdlusi kateedri algaastatega. Mainin vaid seda, et kateedri areng on olnud tema töö olulisemate tahkude – õppe- ja teadustöö osas üldiselt pidev, materiaalse baasi osas on aga toimunud oluline hüpe paremusele alles viimasel paaril aastal. Üldiselt pideva arengu konstateerimine ei tähenda aga seda, et oleme suutnud loodusseadusi korrigeerida. Elu käib ikka tõusude ja mõõnadega ja nii on see olnud ka meil.

Praeguseks on aga arvutustehnika positsioon teadus- ja tehnikahierarhias tõstnud ka meid uuele tõusulainele. See, kui kauaks me sinna jääme ja kui palju me suudame teha kateedri ja eriala arendamiseks, sõltub nüüd suures osas meist endist. Arvan, et meil on momendil meie kõigi aegade parim meeskond, kes mängib üldiselt kollektiivselt, aga kus ei puudu ka võimekad solistid. See meeskond-kateeder on TPI noorim, keskmine vanus on 38 aastat, aga mis seejuures on väga oluline – keskmine õppejõustaaž on 13 aastat. Ent kõige olulisem ja optimismi sisendav on minu arvates ikkagi see, et enamus meist on säilitanud õppimisvõime ja kriitilise hinnangu oma teadmiste taseme suhtes. Üks tunnikene tukkumist toob eluks ajaks kukkumist – see eesti rahva vanasõna peab meil ja ka teil seal saalis alati meeles olema.

Kui vaadelda kateedrit teaduskonna taustal ja hinnata arengutendentse, siis kõige rohkem rõõmu teeb asjaolu, et on õnnestunud peatada pikka aega võimutsenud tendents, et tugevad ja suured said veel tugevamateks ja suurematekks, väiksemad ja nõrgemad aga pidid leppima oma rolliga. Kateeder on võidelnud endale uut eluruumi nii otseses kui kaudses mõttes. Et tegemist on olnud piiratud ressursside jagamise ja ümberjagamisega, siis on teataval määral paratamatud olnud isiklikku laadi kaotused. Ent kokkuvõttes on teaduskond tervikuna kateedrite tasemete ühtlustamisest ikkagi ainult võitnud.

Nagu igal teisel kateedril on meilgi asja instituudi tasemel. Ja järjest rohkem, kuivõrd arvutustehnika (AT) tungib üha uutesse objektvaldkondadesse. Meie professionaalsust, mis seisneb riistvara ja tarkvara võrdväärselt heas tundmises, vajatakse tehnoloogiliste protsesside juhtimisel, arvjuhtimisega tööpinkide evitamisel ja hooldamisel, robotitehnikas jne. Tõsised plaanid on meil ka vastavasisulise täiendusõppe korraldamisel. Ma loodan, et eelöeldust ei loeta välja uusi ekspansionistlikke plaane, küll aga tuleb tõdeda seda, et elektronarvutite (EA) kateeder pole võitlust talle kohase positsiooni pärast instituudis kaugeltki veel lõpetanud. Süsteemist kinni pidades tuleks nüüd jätkata ka vabariikliku ja üleliidulise tasemega. Ma teengi seda, kuid ilmutamata kujul.

Vabariigile oleme me andnud 473 arvutiinseneri. Neist 391 päevasest ja 82 õhtusest õppevormist. On seda palju või vähe? Arvan, et vähe! Seda seetõttu, et ENSV Plaanikomitee andmetel on nõudmise ja pakkumise vahekord meie erialal 8:1.

Kas võib aga rahule jääda meie lõpetajate kvalifikatsiooniga? Arvan, et üldjoontes võib. Eriti seetõttu, et mitte igal pool meie tööstuses ja arvutuskeskustes (AK) pole kõrget kvalifikatsiooni vajagi. Teisiti on lugu TA ja mõningate teiste asutustega, kuhu on läinud paljud meie paremad lõpetajad.

Meie erialal pole kerge õppida – selle kinnituseks on fakt, et eriala efektiivsus on senini 0,65. Tõele au andes oleks see protsent pidanud kümnendiku võrra ehk väiksemgi olema. See kümnendik on meie ja REK[1]-i südametunnistusel. Ent teisest küljest, ma võin olla siin ülekohtune seetõttu, et ei arvesta nn. „järelvalmimist" töökohal. On ennegi ju nii olnud, et viimane saab esimeseks jne. Edaspidi aga tahame kindlasti eriala efektiivsust tõsta, teha seda õpetamise kvaliteedi ja üliõpilaste vastutustunde kasvu arvel. Saame tõsta ka väljalaset, sest alates järgmisest aastast võtame päevasesse osakonda senise 50 asemel 75 üliõpilast, õhtusesse 30 ja kaugõppesse 30. Muuseas, esimesed kaugõppijad on meil jõudnud 4. kursusele.

Nüüd veel õpetamise kvaliteedist. Hinnates taset 70-ndate keskpaigas pidime nentima, et teoreetilise ettevalmistusega võib enam-vähem rahule jääda, praktilisi oskusi on aga napilt. Kuna kateedri ja instituudi materiaalne baas oli AT osas sel ajal puudulik, siis otsustasime minna koopereerumise teed. Ja nimelt – tunnistasime ausameelselt üliõpilastele puudujääke praktilise hariduse andmise võimalustes kateedris ja soovitasime neil seetõttu õppimise kõrvalt poole kohaga töötamist heatasemelise tehnika ja spetsialistidega asutustes. Üliõpilased reageerisid sellele võimalusele elavalt. Poole kohaga töötamine õppimise kõrvalt on meil siiani moes. Meil on õpperühmi, kus kõik või peaaegu kõik üliõpilased töötavad õppimise kõrvalt. Tegemist on vastastikku kasuliku ettevõtmisega, sest üliõpilane saab hea praktilise ettevalmistuse ja teenib lisaks teise stipi, ettevõte saab aga tihti seal praktiseerinud üliõpilase pärast lõpetamist endale ja see on juba ettevõtte elu-olusse sisse elanud spetsialist. Tänan siinkohal kõiki neid, kes on koos meiega spetsialisti ettevalmistamise koormat vedanud (KI, EKB, SKB, „Algoritm" jne.). Ka nüüd, kus kateedri laboribaas on oluliselt paranenud, soovitame tudengitel käia sama teed.

Milline siis on käesoleval ajal olukord meie laborites? [*A.K. tutvustab laborite seisu ja tänab mitmeid, kes on laborite arendusse eriti panustanud:* ***Kuuskor***, ***Piht***, ***Rebane***, ***Liivar***, ***Antoi***, ***Berkman***, ***Süld***. *Ta tutvustab ka* ***Arvo Jaansoni*** *juhitava arvutuskeskuse panust*]. Ent ikkagi ei ole kateeder suuteline hankima sisseseadet kõikide erialalaborite jaoks. Siin

[1] Riiklik eksamikomisjon.

on meile appi tulnud veel üks koopereerumise vorm – nimelt baaskateeder: a) loevad parimad asjatundjad, b) saame kasutada nende laboreid, nt. arvutite tehnoloogias.

Uutmise tingimustes kavatseme ennekõike tõsta nõudlikkust endi ja üliõpilaste suhtes. Tuleb parandada õpetamise kvaliteeti, pöörata peatähelepanu õppeprotsessi metoodilisele kindlustatusele. See eeldab senisest rohkem trükiseid, õppe-abimaterjale. Võib öelda nii, et meie instituudi trükibaasi ja paljundusaparatuuri mahajäämus takistavad meie edasiminekut isegi rohkem kui konkreetse erialase aparatuuri puudumine.

Nüüd mõni sõna meie kateedris tehtavast teadustööst. Meil on üks teadussuund, mis sai alguse juba 70-ndate alguses, ja koosneb kahest eeskätt masinprojekteerimisele orienteerunud teemast. Võib rääkida kahest kateedris välja kujunenud koolkonnast: 1) **P. Kitsnik**, **M. Plakk**, **T. Evartson**,… ja 2) **P. Leis**, **A. Sudnitsõn**, **T. Lausmaa**, **M. Kruus**, **B. Berkman**... Me kuulume NSVL TA 1985 a. tööplaanidesse, meil on head lepingupartnerid. ÜTÜ-s on edukalt esinenud **T. Evartson**, **P. Ellervee**, **A. Maksimenkov**, **T. Miikla**. **Harri Mägi** ÜKB leping on väga vajalik kateedrile, see on üliõpilastele jõukohane töö. Meil on head perspektiivid edu saavutamiseks VLSI-i disaini valdkonnas ja lülituda vastavasse rahvusvahelisse kompleksprogrammi. [*Seejärel tutvustab A.K. veel mõningaid olulisi kateedri ettevõtmisi: täiendõpet, **V. Viiese** juhitavatest õpilasringidest (rõhutades vajadust hoolitseda järelkasvu eest, kuna konkurss ülikooli on kasvanud), mikroprotsessortehnika alasest konsultatsioonipunktist*].

Lõpetuseks ütleksin ma järgmist. 20 aasta tegevus on EA kateedri viinud just nagu vabadesse vetesse. Meid ootab ees lai tegevusväli. Me peame olema suutelised orienteeruma kiiresti muutuvates situatsioonides, me peame olema suutelised püstitama endile kõrgeid ent reaalseid eesmärke. Me peame jätkama võitlust seal, kus see on vajalik, et avada erialale ja kateedrile uusi arenguvõimalusi. Ma olen veendunud, et need ülesanded on meile üheskoos jõukohased. (**Andres Keevallik**).

Kahel pool metsa

Vasakul : teerada kahe maja vahel Raja tänavalt Ehitajate teele. Paremal: üle lumevallide Ehitajate teelt Raja tänavale. Pärast õhtuseid loenguid oli riskantne oma teed „õgvendada“.

1987. a. sügisest asus kateeder niisiis kahes erinevas majas, mis asusid teine teisel pool männimetsa ja mille vahele jäi ka staadion. Kevadel ja sügisel ühendasid kahte maja metsarajad, milliseid pidi jalutasime kes loengule, kes laborisse ja hingasime kopsudesse 100%-list osooni. Talvel tuli aga neid metsaradu läbi lume ise sisse tampida.

Ehkki kateedri ja laboratooriumi ruumid olid eri majades (kateeder asus TPI peamajas Ehitajate tee 5, laboratoorium aga paarisaja meetri kaugusel läbi metsa Raja tänaval 15), toimus selle koosluse areng ikkagi sünergia tingimustes, sest uurimistöö teemad olid sugulaslikud, täiendades teineteist ja sõltudes teineteisest.

Kateedri ja laboratooriumi koosseisu kuulus 1987. a. sügisel kokku 44 töötajat, kellest 18 olid labori koosseisus TU sektori alluvuses (6 olid riigieelarvelistel ja 12 lepingulistel kohtadel) ning 21 olid kateedri töötajad (12 õppejõudu ja 12 õppe-abipersonali). Teaduskraadiga oli meid 6 ja aspirante oli samuti 6. Järgnevas tabelis on esitatud selleaegne kateedri koosseis:

Teaduslabor		
Riigieelarvelised ametikohad		
1.	Andres Keevallik	lab. juh/dots.
2.	Boris Berkman	teadur/ass.
3.	Kalle Tammemäe	n. teadur/ass.
4.	Irina Stepantšikova	juhtiv insener
5.	Jelena Iljasajeva	insener
6.	Tarmo Mamers	v. tehnik
Lepingulised ametikohad		
1.	Galina Kuznetsova	0,5 v. laborant
2.	Toomas Nõgisto	v. laborant
3.	Jelena Nemeržitskaja	insener
4.	Neeme Oit	v. insener
5.	Valeri Gerassimtšuk	n. teadur
6.	Heljo Saar	v. insener
7.	Vaike Sisask	v. insener
8.	Ilona Malõševa	laborant
9.	Olga Sinani	0,5 v. lab
10.	Kulno Spirka	0,5 v. lab
11.	Dmitri Kuraksa	insener
12.	Jüri Udre	insener
Aspirandid		
Toomas Kont		Peeter Ellervee
Kaja Salum		Viktor Zaugarov
Aleksander Maksimenkov		Villem Alango

Kateeder		
Õppejõud		
1.	Raimund Ubar	prof., kat.juh.
2.	Paul Leis	Dotsent
3.	Harri Mägi	Dotsent
4.	Peeter Kitsnik	Dotsent
5.	Aleksander Sudnitsõn	Dotsent
6.	Vladimir Viies	van. õpetaja
7.	Margus Kruus	van. õpetaja
8.	Teet Evartson	van. õpetaja
9.	Arvo Toomsalu	van. õpetaja
10.	Leonard Siem	Assistent
11.	Ksenja Grigorjeva	Assistent
12.	Andres Süld	Assistent
Õppe-abipersonal		
1.	Villem Alango	lab. juhataja
2.	Nigul Piht	lab. juhataja
3.	Uno Kuuskor	masinaülem
4.	Raimond Kleis	masinaülem
5.	Enn Rebane	v. insener
6.	Kaie Elevant	v. laborant
7.	Antoi Meelis	insener
8.	Boris Fleiderviš	õppemeister
9.	Vaike Sisask	õppemeister

Teadustöö toimus kateedris ja laboris järgmistel teemadel: (1) *masinprojekteerimise meetodite ja -süsteemide väljatöötamine keeruliste digitaalsüsteemide loomiseks kaasaegsel elementbaasil* (teema XO-6082, juhendaja dots. **A. Keevallik**), (2) *meetodite väljatöötamine süsteemide diagnoositavuse tõstmiseks, testide sünteesi automatiseerimiseks ja diagnostikaks* (teema XO-7016, juhendaja prof. **R. Ubar**). Väga oluline oli see, et mõlemad uurimistööd olid koordineeritud kõige kõrgemal (rahvusvahelisel ja üleliidulisel) tasandil järgmiste programmidega.

Kaks programmi olid rahvusvahelised: (1) VMN-i riikide kompleksprogramm КПНТП, probleem 1.4.2., ülesanne 2.3 *„Masinprojekteerimissüsteemi loomine ülisuurte integraalskeemide valmistamiseks keerukusega 10 ^{6} elementi kristallis“* ja (2) VMN-i riikide kompleksprogramm КПНТП probleem 25.K *„Automaaatjuhtimissüsteemide arendamine“*, ülesanne 25.01.K *„Matemaatiliste ja programsete vahendite väljatöötamine numbriliste automaatide projekteerimiseks“*.

Kaks programmi olid üleliidulised: (1) Üleliiduline kõrgkoolide vaheline teadus-tehniline programm 1986-1990 *„Õppe-uurimuslike masinprojekteerimissüsteemide loomine ja arendamine“*, kinnitatud МИНВУЗ'i käskkirjaga nr. 195, 16.03.87. (2) NSVL Teaduste Akadeemia koordinatsiooniplaani kompleksprobleem „Küberneetika“, alateema 1.12.10.3 *„Matemaatiliste mudelite väljatöötamine ja uurimine loogiliste juhtsüsteemide projekteerimiseks“*, kusjuures mõlemad uurimisteemad olid lülitatud jooksva viisaastaku NSVL riiklikku juurutusplaani.

Kuues koordinatsiooni dimensioon oli vabariiklik kompleksprogramm ЭР.05 *„Automaatika ja arvutustehnika vahendid mikroprotsessorsüsteemidel“*, kinnitatud ENSV MN määrusega Nr. 325, 20.06.86.

Niisugune kõrge teadustööde koordineerituse tase andis õiges kohas ja õigel ajal hea põhjenduse lisaressursside taotlemisel nii laboratooriumile teadustööks kui kateedrile õppetööks.

Kateedri arendusplaanist

TPI-s oli tavaks esitada TU sektorisse sügissemestrite algul aastaplaane, aga 5-aastaste perioodidena ka viisaastakuplaane. *Aastaplaan* koosnes *kolmest* osast: teadustöö plaan, materiaal-tehnilise varustamise plaan ja lõpetatud uurimistööde tulemuste juurutamise plaan. Tulemuste planeerimist ei olnud vaja, küll aga oli selgelt vaja ette näha nende juurutamist. *Viisaastakuplaan* koosnes *kahest* osast: teadustöö plaan ja materiaal-tehnilise varustamise plaan. Seda planeerimistööd koordineeris sel ajal automaatikateaduskonnas dots. **Vladimir Heinrichsen**. Materiaal-tehnilise varustamisplaani projekt kuulus läbivaatamisele teaduskonna seadmekomisjonis ja kooskõlastamisele TPI seadmekomisjonis. Uurimistöö tulemuste juurutamisplaan kuulus aga kooskõlastamisele juurutatavate ettevõtetega, seejärel läbivaatamisele teaduskonna juurutamiskomisjonis ning lõpuks kooskõlastamisele TPI TU sektori vastavas osakonnas.

Selliste plaanide koostamine saigi kohe uue kateedrijuhataja esimeseks ülesandeks, millest ühtlasi kujunes tema stardiplatvormi kirjeldus.

Uue kateedrijuhataja esimeseks ülesandeks oli fikseerida kõigepealt tähtsamad ülesanded ja eesmärgid. Tähtsaim ülesanne oli juhtida kollektiivi teadustööd niiviisi, et saaksime üheks tunnustatuimaks kateedriks üleliiduliselt. Esialgu kõrgemaid ambitsioone polnud, sest see oli see piiratud regioon, mille ulatuses meil oligi üldse võimalik teistega maailmas jõudu mõõta ja end võrrelda. Mõne aasta pärast, kui piirid avanesid, kasvasid ka ambitsioonid ja siis sai formuleeritud juba kaugem eesmärk: viia kateeder Euroopasse. See oli vastutus, mille pidi võtma enesele kateedrijuhataja. Aga kanda seda vastutust polnudki raske seetõttu, et sel moel ühtisid nii teadlase kui ka administraatori huvid.

> Loomulikult oli iga õppejõu põhiülesanne õpetamine, aga kõrgkoolis pole võimalik õpetada, kui sa ei ole teadlane. Nii põimuvadki kaks kvaliteedinõuet, mis on aegadest aegadeni moodustanud ülikooli dilemma – kumb neist kahest on tähtsam, teadus või õpetamine? Ise pean tähtsamaks nõudeid teaduse kvaliteedile sel lihtsal põhjusel, et õppetöös reguleerivad tööd konkreetsed ja objektiivsed normid ning koormus, aga ka auditoorium, kelle ees ei tohi häbisse jääda. See kõik paneb õppejõu raamidesse, millest pole pääsu. Teaduses reguleerib aga kõike omaenda tahtejõud, visadus ja sisemine subjektiivne kontrollimehhanism. Sisemiselt oled aga alati üksinda, haavatavam ja aldis enesepettusele.

Kateedrijuhatajana tuli panna suurem rõhk teadustöö motiveerimisele kateedris, kus kolleegide kaasamiseks tuli püüda neid innustada isikliku eeskujuga. See aga tähendas, et ka kateedrijuhataja ise ei tohtinud libiseda teadusest liiga kaugele, vaatamata oma töökoormuse järsule tõusule administraatorina.

Ülikooli bürokraatiale esitamiseks valmistasime ette järgmise dokumendi arendusplaanina aastateks 1987-1992, mis kattis kateedri juhatamise viisaastaku.

1. **Kateeder.** Kateeder on komplekteeritud noortest 30-40-aastastest arenemisvõimelistest õppejõududest, kellest üle 70% omavad teaduslikku kraadi. Antud momendil on 12-st õppejõust 7 teaduste kandidaadid ja üks doktor. Lähemal ajal on oodata veel ühe doktoritöö kaitsmist. Ametikohtade jaotus on: 1 professor, 5 dotsenti, 5 vanemõpetajat, 3 assistenti, lisaks töötab kateedris kohakaasluse alusel kaks 0,25 kohaga dotsenti. Lähematel aastatel, seoses uute õpperühmade avamise plaaniga (1 päevane ja 1 õhtune) suureneb järsult õppejõudude töökoormus, mis tekitab tõsise kaadriprobleemi. Mõningat õppejõudude reservi pakub aspirantuur (kateedri juures on 4 aspiranti), kuid probleem nõuab kiiremat lahendust. Kateedri õppetöö koormus on praegu üle 1100 tunni aastas õppejõu kohta.
2. **Õppe- ja kasvatustöö.** Õpetamise tase on kateedris hea. Ka selle formaalne näitaja – õppeedukus on normaalne. Järgmisel viiel aastal tuleks suuremat tähelepanu pöörata üliõpilaste iseseisva töö juhen-

damisele ja ka sellele, et üliõpilaste panus mitmesuguste töö- ja õppevormide kaudu teadusse ja selle juurutamisel praktikasse oleks suurem.

On vaja suurendada individuaalset lähenemist üliõpilastele, haarates neid nii teadusuuringutesse kui ka laboribaasi arendustöösse. Heaks stiimuliks on siin TPI lülitamine üleliidulisse kõrgkoolide vahelisse teadus-tehnilisse programmi, mille raames tuleb kateedril välja töötada õppeuurimuslik masinprojekteerimise tarkvara digitaalsüsteemide automatiseeritud projekteerimiseks ja diagnostikaks.

3. Õppemetoodikatöö. Õppemetoodilist materjali on kateedris ebapiisavalt. Seoses kateedri laboribaasi järsu kasvuga viimastel aastatel osutub nüüd võimalikuks välja töötada uusi kaasaegsemaid laboritöid koos nende varustamisega vastavate juhendmaterjalidega.

Väga vajalikuks loen kateedri teadustöö tulemuste juurutamist õppeprotsessis. Konkreetselt peaksin silmas kahte eesmärki: (1) eespool mainitud õppeuurimusliku masinprojekteerimise tarkvara loomist ja (2) Küberneetika Instituudi EKB-s loodud diagnostikavahendite juurutamist õppetöös.

Olemasolevad õppeprogrammid tuleks põhjalikult läbi analüüsida ja kohandada tänapäeva vajadustele. Esimeseks sammuks pean siin kahe uue õppekursuse väljatöötamist: *„Personaalarvutite tarkvara“* ning *„Arvutustehnika vahendite häälestamine ja diagnostika“*. Viimase õppekursuse puhul saab eriti rõhutatud praktilist osa – eesmärgiga anda kogemusi, mida tänapäeva arvutiinsener üha rohkem vajab, mida aga senises õppetöös on vähe arvestatud.

4. Teadustöö. Teaduslik uurimistöö toimub kateedris kahe teema raames: *„Masinprojekteerimise meetodite ja –süsteemide uurimine ning väljatöötamine numbriliste seadmete projekteerimiseks“* [2] (juhendaja dots. **A. Keevallik**) ja *„Ülisuurte integraalskeemide testide automaatprojekteerimise ja diagnostika meetodite väljatöötamine“* [3] (juhendaja prof. **R. Ubar**). Mõlemad teemad on koordineeritud NL TA ja KHM plaanidega, aga samuti lülitatud VMN-i kompleksprogrammi. Diagnostika-alane teema toimub ühtlasi Teaduslik-tehnilise progressi kompleksprogrammi (KPNTP) raames, mis omab riigis kõrgeimat prioriteeti.

Järgnevate aastate jooksul on plaanis süvendada koostööd kahe mainitud koostööpartneriga, paljude teiste NL juhtivate ülikoolide ja uurimisasutustega, aga ka kõrgkoolidega Saksa DV-s, Tšehhoslovakkias, Ungaris ja mujal.

5. Materiaalne baas. Viimase 3-4 aasta jooksul on kateedris toimunud küll mõningane kvalitatiivne areng materiaal-tehnilise baasi osa (firma Philips mikroarvutid, miniarvuti CM-1420), töökohad CM-1800 baasil, klass personaalarvutite DVK-2 baasil, mikrotrenažööride ja õppe-mikroarvutite klass jne.), aga see oli kaugel päevavajadustest, kus maailma vallutasid IBM PC/AT-tüüpi personalarvutid. Neist ei maksnud ülikooli varustustaseme juures unistadagi.

Vasakul: arvutuskeskuse õppeklass II õppehoones 1980-ndatel. Paremal: kateedri arvutiklass kodumaiste DVK personaalarvutitega (PDP-11 prototüüp).

Rääkimata sellest, et arvutibaasi nõrkusest tingituna oli ohus programmi KPNTP raames täidetav ülesanne. Oleks vaja olnud leida võimalusi hankida kasvõi mõned kodumaisedki personaalarvutid EC-1841.

Sellest, kuidas ja milliste tulemustega õpetati 80-ndate lõpul TPI elektronarvutite kateedris arvutustehnikat ja kuidas kateedri tudengid käisid Kirgiisias üleliidulisel olümpiaadil, annavad järgnevalt kompaktse ülevaate algul dotsent **Paul Leis** oma 1987. aastal koostatud kokkuvõtlikus kirjutises kateedri tööst ja seejärel vanemõpetaja **Margus Kruus** oma reisikirjas tudengite olümpiaadile Kirgiisias.

---

2 Leping Tallinna Teadus-õppekeskusega „Algoritm“.

3 Leping ENSV TA Küberneetika Instituudi Arvutustehnika EKB-ga.

Dotsent Paul Leis loengul ja eksamil

Paul Leis: Arvutustehnika õpetamisest kateedris

1. **Arvutustehnika õpetamine.** Elektronarvutite erialal (nagu ilmselt ka mujal) jaguneb arvutustehnika õpetamine riistvara ja tarkvara õpetamiseks. Kuigi eriala lõpetaja peaks olema põhiliselt riistvara spetsialist, on ka tarkvara ainetel suur tähtsus: mikroprotsessorsüsteemide väljatöötamisel (see on aga eriala sõlmprobleem) on vaja sügavaid teadmisi nii riistvara kui ka tarkvara alalt.

   Teoreetilise ettevalmistuse korral pöörame suurt tähelepanu praktiliste oskuste kujundamisele kateedri mikroprotsessortehnika laboratooriumis. Siin saavad üliõpilased töötada mitmesuguste arvutite (CM-1420, CM-1800, DVK-2) ja mitmete operatsioonisüsteemidega (RT-11, CP/M, Unix). Alati oleme küllalt kiiresti lülitanud oma loengukursustesse need suunad (näiteks loeme me teist aastat C-keelt, milleks paljud kõrgkoolid ei ole veel valmis).

2. **Üliõpilased kasutavad arvuteid** kursuse ja diplomitööde koostamisel ja vormistamisel. Rea aastate vältel on tehtud palju töid, kasutades kateedris väljatöötatud digitaallülituste automaatprojekteerimise süsteemi ja digitaallülituste testide automaatprojekteerimise süsteemi. Tänavu loeme esmakordselt III kursuse üliõpilastele kursust mikroarvutite valmistarkvarast (WordStar, Multiplan, dBase II), mis võimaldab üliõpilastel senisest ulatuslikumalt kasutada arvuteid mitmesuguste kirjalike tööde (ka mitte-tehniliste õppeainete, näiteks poliitilise öknoomia) vormistamisel.

3. **Kateedri lepingulistes uurimistöödes** osaleb pidevalt 20-30 tudengit, põhiliselt kolmelt vanemalt kursuselt. Traditsiooniliselt võetakse igal aastal osa nii instituudi kui ka vabariigi üliõpilastööde konkursist, kus on saavutatud mitmeid auhinnalisi kohti. Igal aastal oleme olnud esindatud ka Balti liiduvabariikide, Valgevene ja Moldaavia üliõpilaste teadustööde konverentsil. Üleliidulisel üliõpilaste teadustööde konkursil on hinnatavamaks 1984. a. **Peeter Ellervee** esimene ja samal aastal **Aleksander Maksimenkovi** kolmas koht.

   Teist aastat Frunze Polütehnilises Instituudis toimuval üleliidulisel olümpiaadil „Üliõpilane ja teaduslik-tehniline progress“ oli esinemine sel aastal edukas – mitteametlik võistkondlik 4. koht, teadusettekannete osas saavutasid meie tudengid **Jüri Udre** ja **Sergei Moissejev** vastavalt 2. ja 3. koha.

4. **Õpilasring loodi 1984/85õppeaastast.** Esimesel aastal tegeldi ainult Polütehnikumi II ja III kursuse õpilastega. Alates 1985. a. võeti juurde uusi liikmeid Tallinna ja vabariigi keskkoolidest (Pärnust, Valgast). Kõrgperioodil (1985. a. algus) oli liikmeid 120, praegu 50. Ringis on proovitud kahte suunda: (1) keskkoolile orienteeritud suund 3-aastase töötsükliga. Eelmisel aastal tuli ülikooli teaduskonda õppima 7 inimest, käesoleval aastal 8. Kaks õpilasringi kasvandikku töötab praegu kateedris; (2) algõpetus (orienteeritud väiksematele).

   Praegu on siirdunud algõpetus põhiliselt Tallinna Koolinoorte ja Pioneeride Paleesse. Pioneeride Palee rühma juhendavad meie õpilasringi liikmed, rühmade üldkoordineerimisega tegelevad meie õpilasringi juhendajad. Töö toimub üks kord nädalas – kateedri õppejõudude vestlusloengud, töö kateedri arvutis CM-1420 ja TPI arvutussaali mikroarvutite klassis.

5. **Elektronarvutite kateedri seadmepark** (kodumaine tehnika) koosneb järgmistest seadmetest:
   – arendussüsteem mikroprotsessorite КР580ИК 80 baasil arendatavatele süsteemidele АРМ 2.05.11 3 tk. (CM-1800 baasil);

– arendussüsteem graafilise info töötlemiseks – APM 2.01 (CM 1420 baasil);
– personaalarvutid DVK-2 (15 tk);
– trenažöörid mikroprotsessorite seeria KP 580 õpetamiseks „Mikrolab КР580ИК 80-907" – 15 tk;
– 16-bitiste mikroprotsessorite arendussüsteem; kasutatakse operatsioonisüsteeme Unix (CM-1420), RT-11 (CM-1420, DVK-2), CP/M (CM-1800) ja VM (ES-tüüpi arvutitel).

6. Kateedri teadusliku töö põhisuunad digitaallülituste automaatprojekteerimissüsteemide väljatöötamine ja digitaallülituste testide automaatprojekteerimine ongi „tarkvara, mis on väljatöötatud riistvara tegemiseks". Suuremaid riistvara alaseid uurimistöid tehakse kateedris ÜKB lepingu raames. Mainida võiks sedagi, et van. õp. Arvo Toomsalu on olnud TPI parim ratsionaliseerija aastatel 1983-84. Kateeder tervikuna on tunnistatud parimaks allasutuseks ratsionaliseerimistegevuse alal 1984. a. Tehtud ratsionaliseerimisettepanekud on suunatud kateedri laboratoorse baasi väljaarendamiseks.

Margus Kruus: Tudengite võistlusreis Kirgiisiasse[4] (1987)

Oktoobri lõpus toimus Frunze Polütehnilises Instituudis olümpiaadi *„Üliõpilane ja teaduslik-tehniline progress"* kolmas üleliiduline voor elektronarvutite erialal. Esindatud oli kauges Kirgiisias ka TPI tudengitest koostatud Eesti NSV võistkond. Nimetatud olümpiaad on üks nooremaid omataoliste seas, toimudes sel aastal alles teistkordselt. Sellest hoolimata suutsid olümpiaadi peremehed, Frunze PI elektronarvutite kateedri kollektiiv ja tudengid selle igati eeskujulikult läbi viia. Olümpiaadil osales kokku 14 võistkonda (38 võistlejaga) erinevatest liiduvabariikidest ja Moskvast. Ülesannete lahendamine toimus kahel päeval, kusjuures temaatika puudutas kõiki põhilisi erialaseid õppeaineid. Siin tuli näidata oma teoreetilisi teadmisi ja praktilisi oskusi nii programmeerimise kui ka seadmete projekteerimise osas. Kui žürii teise päeva õhtul viimased punktidkohad kokku arvutas, siis selgus, et TPI tudengid olid saavutanud neljanda koha Ukraina, Moskva ja Kirgiisia järel. Meie tublimana oli **Sergei Moissejev** õpperühmast LI-77 individuaalselt kümnes. **Jüri Udre** (LI-97) saavutas 16. ja **Erkki Neidre** (LI-71) 27. koha. Mitte just hiilgavalt, kuid hästi siiski. Seejuures sai **Jüri Udre** eripreemia parima assembler-keeles programmi eest. Väga tublilt esinesid meie poisid ka olümpiaadi raames toimunud üliõpilaste teaduslik-tehnilisel konverentsil, kus J. Udre ja S. Moissejevi ettekanded tunnistati 2. ja 3. koha väärilisteks. Mõlema üliõpilase juhendajaks ettekande koostamisel oli elektronarvutite kateedri teadur **Boris Berkman**.

Jüri Udre (keskel) sai üleliidulisel olümpiaadil eripreemia parima assembler-programmi eest

Olümpiaad ei olnud ette nähtud ainult oma teadmiste näitamiseks. Hästi oli organiseeritud külaliste vaba aja veetmine. Ekskursioonid Frunzes ja mägedes, puhkeõhtud, tutvumine arvutitehasega – see oli vaid osa kultuuriprogrammi ürituste loetelust. Eriti tore oli see, et nende ürituste initsiaatoriteks, korraldajateks ja läbiviijateks olid Frunze PI tudengid ise koos oma komsomolikomiteega. Pole ju muuseas tähtsusetu ka fakt, et külalistele oli organiseeritud tasuta toitlustamine instituudi kohvik-sööklas (eriti kui tuletada meelde tudengite naeruväärselt väikest poolerublast komandeeringu päevaraha). Eks näita seegi peremeeste külalislahkust ja eelkõige head tahet.

[4] Margus Kruusi artikkel ajalehes Tallinna Polütehnik Nr. 38, 18. dets. 1987.

Aeg lendas kiiresti. Juba oligi nädal möödunud ja oli vaja hakata kotte kokku pakkima. Aga selle nädalaga olid tekkinud tihedad sõprussidemed eri rahvustest, eri instituutidest osalejate vahel. Ja selle fakti tähtsust on raske üle hinnata. Hoolimata udust Moskvas jõudsime koju vaid 24-tunnise hilinemisega. Kui küsisin juba Tallinna rongis istudes üliõpilastelt, kas nad on sõiduga rahul, siis kõlas üksmeelne vastus umbes nii: „ Hea oleks, kui saaks järgmisel aastal uuesti sõita ja paremini esineda". Jõudu neile selleks! (TPI võistkonna juhendaja, elektronarvutite kateedri vanemõpetaja **Margus Kruus)**.

Siia juurde võiks veel lisada, et kaks aastat hiljem 1989. a. osales Tbilisis korraldatud üleliidulisel üliõpilaste uurimuslike tööde konkursil valdkonnas „Tehniline küberneetika, arvuti- ja mikroprotsessortehnika, automatiseeritud projekteerimissüsteemid ja tootmistehnoloogia ning arvutite rakendamine õppetöös" samuti üks elektronarvutite kateedri tudeng **Sergei Storožev.** Tema võistlustööks, mille ta oli esitanud koodnime all „Lord", oli „Mikroprotsessori КР580ИК80А testimine". Tihedas konkurentsis sai Sergei autasustatud aukirjaga.

Eks üliõpilased võistlesid ka ülikooli ja vabariigi ulatuses traditsioonilise ÜTÜ ühingu raames. Aga asjakohane oleks siia lisada ühel ajaloolisel paberilehel fikseeritud dots. **Andres Keevalliku** repliigi vormis tehtud ettepanek: „Edaspidi hakkame osalema v a i d üleliidulistel ja rahvusvahelistel konkurssidel. Sest Vabariik on ju TPI…"

80-ndate lõpu turbulents

Ülikool ja teaduskond muutuste haardes

Perestroika saabudes avanesid ka TPI kollektiivil võimalused vabaneda nõukogude aja ideoloogilisest taagast ja hakata kujundama samm-sammult ülikooli ümber, võttes eeskuju Läänes kujunenud standardidest. Olulist rolli mängisid siin ühiskonnas toimuvad muutused, mis andsid julgust ja enesekindlust ümberkorralduste tegemisel. Tuleks vaid meenutada Rahvarinde tekkimist, Isemajandava Eesti ehk IME kontseptsiooni loomist, loomeliitude tegevust, muinsuskaitseliikumist, uuenenud üliõpilasliikumist, fosforiidivastaseid väljaastumisi…

Väga hea ülevaate olulisematest ülikoolisisestest ettevõtmistest ja sündmustest TPI/TTÜ nõukogu ja üliõpilaslehe Tallinna Polütehnik materjalide põhjal on andnud oma raamatus[5] prof. **Rein Jürgenson**. Mõned väljavõtted TPI elu erutanud sündmustest daatumite näol R. Jürgensoni raamatust:

„21.02.87. *TPI-d külastas NLKP KK peasekretär Mihhail Gorbatšov, kes viibis Eestis ringkäigul. Teda võeti vastu, nagu NSVL kõrgeid riigimehi ikka vastu võeti. Üheks nendest, kellel Gorbatšovil õnnestus tervituseks kätt anda, oli elektronarvutite kateedri juhataja* ***Andres Keevallik****.*

Siinkohal tuleks meenutada, et elektronarvutite kateeder valmistus eriliselt koguni rektoraadi ülesandel pidulikuks Gorbatšovi külaskäiguks. Laborijuhataja **Enn Rebase**

Labori insener Andres Süld töötab arvuti taga, lootuses et ülikooli külastav Gorbatšov ka meie kateedrisse astub

[5] Rein Jürgenson. Informaatikainstituut I. TTÜ ja informaatikainstituudi arengukäigust taasiseseisvumise pöördelistel aegadel. TTÜ kirjastus, 2009.

dirigeerimisel oli meil korralik avar saal arvuteid ilusti ritta seatud (mis sest, et kodumaiseid ja mitte ameerika omi). Nüüd enne suure riigimehe saabumist tehti veel üks korralik klants laborile peale. Gorbatšov siiski tema julgeoleku kaalutlustel meie koridori ei tulnud. Põhjuseks oli see, et koridori uksed olevat liikunud lahti valele poolele… Ka tööle pääsemisega oli Gorbatšovi külaskäigu päeval raskusi: keda ei tahetud üldse tema töötuppa lasta, kellel aga kontrolliti kotti. Kateedrijuhataja **Keevallik** sai siiski meie tervitused kõrgele parteisekretärile edasi anda.

Prof. **Rein Jürgenson** jätkab:

18.04.88. *Kohtumine Rahvarinde ellu kutsumise algatajaga, filosoofiakandidaadi Edgar Savisaarega. TPI aula oli harvanähtavalt rahvarohke. „Nüüd lõpuks oleme meiegi, tipikad, talveunest ärganud," kirjutab sel puhul Tallinna Polütehnik. Üheks aktiivsemaks eestvedajaks TPI-s rahvarinde tegutsemisel oli elektronarvutite kateedri vaneminsener Enn Rebane.*

10.05.88. *TPI õpetatud nõukogu laiendatud koosolek pikendab salajasel hääletusel Boris Tamme rektoriaega veel viieks aastaks. Tegemist oli rektori esmakordse valimisega, seni rektor määrati. Kuid juba varsti valiti uueks rektoriks Olav Aarna, juba 29. jaanuaril 1991, seega enne Boris Tamme rektoriaja möödumist. Nõukogu võttis vastu vastava otsuse.*

18.10.88. *Prof. Uno Mereste ettekanne TPI õpetatud nõukogu koosolekul „TPI osast IME kontseptsioonis ja selle realiseerimises". Nelja mehe IME-teemaline artikkel ilmus Edasis 26.09.87. Automaatikateaduskond EKTA juhi Harry Tani üleskutsel oli IME teemal tegevusse astunud juba 1988. a. aprillis.*

04.11.88. *TPI parteiorganisatsiooni II konverents valis uueks sekretäriks Lembit Jooritsa.*

20.02.89. *TPI käskkiri Eesti iseseisvuspäeva, 24. veebruari lugemiseks puhkepäevaks (alus: ENSV Ülemnõukogu Presiidiumi 17.02.89 otsus).*

21.02.89. *TPIs moodustatakse keelekomisjon (juhataja Enno Soonurm) keeleseaduse ja vastava ENSV MN määruse rakendamiseks.*

21.03.89. *TPI õpetatud nõukogu otsustab Rahvarinde pöördumise alusel „kiita heaks ettepanek ennistada Tallinna Tehnikaülikooli nimetus". Rektor Boris Tamme palutakse „täpsustada see küsimus Vabariigi Valitsuses ja Hariduskomitees".*

18.04.89. *TPI õpetatud nõukogu otsustab (a) registreerida TPI juures Üliõpilasliit, (b) toetada korporatsioonide (Leola, Rotalia, Vironia) taaselustamist.*

21.07.89. *ENSV Ministrite Nõukogu taastab oma määrusega Tallinna Tehnikaülikooli nimetuse.*

29.08.89. *Ülikooli üldkoosolekul loeb õppeprorektor Valdek Mikkal võimalikuks tõdeda, et „vana on põhiliselt murtud."*

17.10.89. *Aga õige pea ilmub käskkiri, milles räägitakse „õppetöö ümberkorraldamisest seoses oktoobripühadega". Vana ja uus murravad piike veel edasi.*

02.01.90. *Nõukogu otsus „Teaduse ja kõrghariduse arendamise põhimõtted IME tingimustes". Mõned olulised otsusepunktid: „1. Eesti teaduse arendamine peab toimuma ülikoolikeskse organisatsiooni suunas, kusjuures Eesti Teaduste Akadeemia kujuneks personaalakadeemiaks ning tema instituudid moodustaksid ülikoolidega ühiseid õppe-teaduskeskusi". /…/ 3. /… / Kõrgkoolidele tuleb anda õigus moodustada erialanõukogusid teaduskraadide ja -kutsete omistamiseks. TTÜ soovitab teaduskraadide süsteemi ühitamist rahvusvaheliselt kasutatavaga. /… / 4. Eesti kõrgkoolid peavad olema iseseisvad riiklikult finantseeritavad õppe-teadusasutused. Töö tasustamise alused kujundab kõrgkool iseseisvalt."*

Muutused toimusid mõnel juhul väga kiiresti, mõnel juhul aeglasemalt, aga aeg oli põnev. Veel 14. jaanuaril 1987 tuli esitada EKTA juhtkonnale kõrvalmajas uurimistöö lepingu sõlmimiseks dokumendid, mis kõik olid venekeelsed (!), vaatamata sellele, et mõlema lepingupoolega seotud asjaosalised, nii juhid kui ka täitjad olid eestikeelsed. Kuid juba 27. septembril 1989 saatis teaduskonna prodekaan laiali selgesõnalise ringkirja, millel oli tekst: „Palun võtta teadmiseks, et teadustööde plaanid ja aruanded tuleb nüüdsest esitada

tingimata eesti keeles. Venekeelse tõlke esitamise vajadus otsustatakse igal konkreetsel juhul eraldi.“ Paraku, sellega lihtsustus küll Eesti-sisene asjaajamine, aga komplitseerus rahvusvaheline teadustöö aruandlus. Pidades silmas, et meie rahvusvaheline projektitegevus piirdus esialgu veel N Liiduga, siis tuli *kogu venekeelsele aruandlusele* lisaks tõlkida see ka eesti keelde, mida iseenesest poleks üldse vaja olnud.

Viisaastakute rütmis töötasime hoogsalt veel 1989. aastal, kui dekaan saatis kateedrijuhatajatele ringkirja: „Palun esitada hiljemalt 21. aprilliks dekanaati kateedri teadustöö uurimissuundade loetelu XIII viisaastakuks.“

Kuid samal ajal tulid TTÜ nõukogust ka radikaalsed otsused (17.04.1990): „lõpetada ühiskonnateaduste teaduskonna tegevus ning likvideerida ajaloo, filosoofia, politoloogia ja poliitilise ökonoomia kateedrid 31. juuliks 1990. a.…“ ja „lõpetada TTÜ-s reservohvitseride ettevalmistamine ning sulgeda sõjaline kateeder 1990. a.“

Oli aasta 1990. Lihtsustus välissõitudega seotud bürokraatia. TPI Parteikomiteele 6.06.89. saadetud dekaani allkirjastatud esildisele „Automaatikateaduskond soovitab elektronarvutite kateedri juhatajat prof. **Raimund Ubarit** lähetada nädalasele komandeeringule Varssavi Polütehnilisse Instituuti loengute pidamiseks“ on peale kirjutatud märge: „Enam selliseid asju sotsialismimaade jaoks vaja ei lähe.“ Vähemalt niigi palju.

Aga see „õige“ Lääs oli endiselt bürokraatianiitidest kokku traageldatud kardina taga. Enne oma esimest välissõitu Rootsi sain kirjaliku meeldetuletuse TU sektorist: „Prof. Ubar, ärge unustage oma ettekande teksti üle riigipiiri viimiseks loa taotlemist.“

Protestivaim kõige vana vastu kasvas ülikoolis päev-päevalt. Äsja valitud TPI Parteikomitee sekretärile avaldasid sügavat arusaamatust automaatikateaduskonna kolm kateedrijuhatajat alles reedel saadud korralduse kohta saata juba pühapäeval kolm inimest rahvamaleva teenistusse valimiste korrakaitse eesmärgil. Vaid kaks (!) päeva etteteatamist olukorras, kus inimestel on nädalavahetuse plaanid juba ammu ära tehtud…

Kateedri väljasõiduistung Keevalliku suvilas. Vasakult: Vaike, Tiiu, Raimund, Harri, Villem, Andres, Heljo, Enn, Uno, Kaie, Peeter, Toomas ja Boris.

Kuid peagi hakkasid ülikoolirahva peade kohale tõusma ka sünged murepilved. 15. jaanuaril 1991. saatis personalitalitus ülikoolis laiali ringkirja, milles teatas, et „1991. aastal v õ i b ette tulla töötajate vabastamist seoses töötajate arvu või koosseisude koondamisega või lepinguliste uurimistööde lõppemisega.“ Ülikoolirahvast informeeriti kirjas vallandamise korraga, kus etteteatamise tähtajaks oli määratud kaks kuud. Seejuures aga määrati kindlaks ka „võrdsetest võrdsemad“: tööle jäämise eelisõiguse said kõrgema kvalifikatsiooniga ja tööviljakusega töötajad. Kui need näitajad osutusid võrdseks, anti eelis töötajatele: (1) kellel oli kaks või enam ülalpeetavat, (2) kelle perekonnas polnud teisi iseseisva sissetulekuga pereliikmeid, (3) kellel oli pikem tööstaaž tehnikaülikoolis või (4) kes olid pensionieelses eas. Veel toimisid turumajandusse kiiresti suunduvas ühiskonnas sotsiaalne mõtlemine ja empaatia.

TTÜ nõukogus töötati välja ülikooli palgapoliitika alused ja palgafondi jaotusmetoodika, reguleeriti palgakorraldust ning määrati kindlaks lisatasude maksmise kord. Lisatasusid võimaldati juhtidel oma alluvatele maksta vaid „eriti keerukate ja vastutusrikaste tööde eest“, milliste üle arvepidamiseks moodustati vastav nimekiri. Viimased koostati teadustöö suunajuhendajate ettepanekul teaduslik-tehnilise komisjoni poolt ja kinnitati rektori käskkirjaga. Lisatasude piiriks oli 50% ametipalgast. Aga peagi hakkasid rahalised probleemid kasvama ülikoolis kiiresti. Lisatasude ja preemiate maksmise reeglid olid olemas, aga üles hakkas hoopis kerkima küsimus, kust võtta raha maksmiseks, kui seda lihtsalt ei ole. Ühel hetkel teatas dekaan oma ringkirjas õppe- ja teadustöö otsekulude kohta, et „arved tasub ülikool, k u n i raha on“, sest debitoorset võlgnevust arvesse ei võetud.

Palgapoliitika üheks radikaalseks otsuseks oli teaduskraadide senise rahalise motivatsiooni peaaegu täielik kaotamine. Kui seni oli teaduste kandidaadi kraad tähendanud kahekordset palgatõusu, siis nüüd tähendas see vaid 30-rublast lisatasu ehk siis näiteks dotsentide 300-rublase palga juures vaid 10%-list palgatõusu. 50-rublane lisatasu doktoritele, kes olid pidanud selle kraadi saamiseks 20 aastat oma elust laboratooriumile pühendama, oli aga hoopis drastiline. Sisuliselt tähendas uus poliitika seda, et tippteadusele end pühendada oli väga ebapraktiline elustrateegia, targem oli otsida ettevõtetest mitte väga keerukat ja rutiinset lepingulist tööd (näiteks teenindustööd), deklareerida see ülikoolis „keerukate ja vastutusrikaste uurimistööde nimekirja“ (mis oli tegelikult vaid tehniline küsimus) ja kasseerida selle eest 50%-list lisatasu.

Seega vanu doktoreid „karistati“ mitte ainult nende „autasu“ devalveerimisega, vaid ka teenitud rahalise boonuse ära võtmisega. Kannatasid ja solvusid need, kes pidasid enda jaoks tähtsaks just neid kahte asja – autasu ja rahalist tulu. Neile teaduse jüngritele, kelle jaoks teadusest oli saanud eluviis, ei tähendanud rohujuure tasandile niitmine eriti midagi.

Uue poliitika tulemused ei lasknud end aga enam kaua oodata – teaduskraadide kaitsmised lakkasid paljudeks aastateks, elektronarvutite kateedris – tervelt 10-15 (!) aastaks. Kui enne iseseisvuse saabumist kaitsti meil viimane teaduskraad 1987. aastal (**Margus Kruus**), siis pärast iseseisvuse saavutamist kaitsti esimene väitekiri alles 1997. aastal (**Kalle Tammemäe**). Järgmine teaduskraad (**Jaan Raik**) tuli aga veel alles 4 aasta pärast.

Teaduslik uurimistöö tegi ülikoolis seega märkimisväärset tagasikäiku, kuid samal ajal õppetöö kitsaskohtade parandamisele hakati üha tõsisemalt mõtlema. Eesmärgiks sai hariduse tudengikesksus.

Juba 80-ndate lõpul algasid teaduskondades ettevalmistustööd õppereformideks ülikoolis, sest koos iseseisvuse saabumisega ülikoolidele kaasnes ka vastutus õppetöö kvaliteedi ja selle sisu eest. Uus avatud ühiskond nõudis ülikooliõppelt märksa suuremat paindlikkust ning üliõpilastele senisest oluliselt kõrgemat vabadusastet õppe sisu määramisel – võimalust suurel määral ise otsustada õpetatavate ainete valiku üle ning stuudiumi käigus iseseisvalt juhtida oma spetsialiseerumist.

Automaatikateaduskonnas töötas uuele nn. ainesüsteemsele õpetamisviisile ülemineku kontseptsioonide kallal nn. „vanaisade komisjon“, kuhu kuulusid dotsendid **Arno Annus**, **Vladimir Heinrichsen** ja **Hanno Sillamaa**. Vastavalt kateedritest kokku kogutud ettepanekutele töötas see komisjon välja *automaatikateaduskonna õppeplaani* struktuuri. Esialgses struktuuris ei olnud valikuvabadus väga suur, eesmärgiks oli tudengite järkjärguline „harjutamine“ valiku ideega. Oluliseks uudsuseks oli IV kursuse õppeplaanidesse viidav nn. aineplokkide süsteem, kus plokkide arv ja sisu ei fikseeritud väga jäigalt ja mida oli võimalik muuta vastavalt Eesti vajaduste kujunemisele ja

Vanaisade komisjon. Vasakult Vladimir Heinrichsen (seisab), Arno Annus ja Hanno Sillamaa (esimees).

ülikooli võimalustele. Aineplokkide formeerimist alustati 1990. aastal esmase ülesandega selgitamaks meie võimalusi ja oletatavaid puudujääke. Vanaisade komisjoni poolt väljatöötatud õppeplaani struktuuri loomisel oli aluseks võetud (Soome eeskujul) nn. nädalapunktide süsteem.

IME ideed ja automaatikateaduskond

Vaevalt kuu aega hiljem, kui oli toimunud kateedrijuhatajate vahetus, hakkasid Eesti ühiskonnas toimuma muutused, mis panid liikvele ärksamaid inimesi ka ülikoolis. 26. septembril 1987 ilmus ajalehes Edasi **Siim Kallase**, **Tiit Made**, **Edgar Savisaare** ja **Mikk Titma** artikkel, milles pakuti välja Isemajandava Eesti ehk IME majandusprogrammi idee (nimetatud ka: *nelja mehe ettepanekuks*) Eesti NSV iseseisvaks majandamiseks ja majanduslikuks iseseisvuseks Nõukogude Liidu koosseisus.

Initsiatiivi arengute forsseerimise eesmärgil arvutustehnika ja automaatikavahenditega seotud tegevusaladel võttis üles EKTA juhtkond Küberneetika Instituudi juures **Harry Taniga** eesotsas, korraldades laiema nõupidamise 20. aprillil 1988. aastal. Nõupidamise eesmärgiks oli analüüsida olukorda ning perspektiive antud valdkonnas.

Mis puutus TPI ja üleliiduliste ministeeriumide alluvuses olevate ENSV tööstusettevõtete vahelistesse suhetesse, siis siin oli välja kujunenud häiriv olukord. Eriti puudutas see TPI automaatikateaduskonna ja elektroonika ning aparaadiehituse ettevõtete vahelise koostöö peaaegu täielikku puudumist. Olukord oli drastiline seetõttu, et ühelt poolt toetus vabariigi majanduslik areng ülalmainitud teadusmahukate tootmisharude eelisarendamisele, teiselt poolt aga just automaatikateaduskonnas valmistati ette spetsialiste niisugustel võtmealadel nagu automaatika, automaatjuhtimissüsteemide, arvutite ja nende rakenduste, tööstus ja raadioelektroonika ning sidetehnika valdkondades.

Teadusalased suhted olid automaatikateaduskonnal säilunud vaid ühe üleliidulise ettevõttega – koondisega RET, kusjuures seegi koostöö kulges ebaefektiivselt. Täielikult ebaõnnestus näiteks katse luua TPI-RET ühislabor, vaatamata olemasolevale kohalikule riiklikule toetusele. Lakanud oli töötamast näiteks TPI lõpetajate üleliidulistesse ettevõtetesse suunamise süsteem. Ühelt poolt oli põhjuseks üleliidulise ministeeriumi keeldumine asjaga tegelemast, teiselt poolt aga nii kohaliku ministeeriumi kui ka ettevõtete (koondis RET, Pöögelmanni Tehas) endi huvipuudus või isegi vastuseis. Samal ajal tellis näiteks RET igal aastal 12 spetsialisti Leningradi kõrgkoolidest, varustas neid kõiki ela-

Vaike Sisaski sünnipäev. Vasakult neli teaduskonna sekretäri Vilma Tambur, Heljo Saar, Helin Kivimägi ja Lea Tihkan, Harri, Leo, Peeter, Toomas,Villem, Raimond Kleis, Boris, Aviva ja Irina.

mispinnaga, kindlustas kõrgendatud algse töötasu mitte alla 160 rbl. kuus (tavaline noor spetsialist sai 130-140 rbl.) ning eraldas vastavatele kõrgkoolidele vahendeid 400 tuh. rbl. eest aastas. TPI lõpetajad tundsid end niisugustes tingimustes diskrimineeritutena.

Sellest tulenes otseselt järeldus, et üleliiduliste ettevõtete poolt praktiseeritav vabariigi teadusest, haridusest ja majanduselust ennast isoleeriv tegutsemisjoon kutsub esile negatiivseid nähtusi nii majanduses kui ka sotsiaalsfääris ning teravdas pingeid rahvussuhete valdkonnas. Erandnähtuseks oli hakanud kujunema mitte üksnes põhirahvusest tööstustööline, vaid ka eestlasest insener suurtööstuses.

Sellises olukorras kaaluti nõupidamistel ja diskussioonidel järgmisi ettepanekuid juhtorganitele, mis olid üsnagi kooskõlas IME-ga seotud liikumisega:

- võtta vabariigi valitsuse kontrolli alla küsimused, mis on seotud noorte spetsialistide importdiga üleliidulistest õppeasutustest;
- tingimusteta lõpetada koduvabariigi noorte spetsialistide diskrimineerimine nii palga- kui ka elamistingimuste osas;
- näha probleemi lahendust kogu vabariigi tööstuse allutamises kohalikule juhtimisele;
- pidada vajalikuks eesti inseneride erialaliitude moodustamist kindlustamaks ühtset kaadripoliitikat kogu Eestimaa ulatuses;
- ametkondlikkuse ja onupojapoliitika vältimiseks anda inseneride atesteerimise ja kvalifikatsiooni tõstmise küsimuste lahendamine vastavate erialaliitude juurde moodustatud regionaalsetele nõukogudele või komisjonidele.

IME ideede levides käivitati vabariigis aktsioone vabariiklike uurimisprogrammide koostamiseks. 1988. a. aprillis-mais viis teadusprorektor **Ilmar Kleis** ka meie ülikoolis läbi küsitluse ettepanekute saamise kohta niisuguste programmide temaatikate kogumiseks, kus tuli esitada programmi nimetus, programmi juht ja loetleda programmi täitmises osalevad organisatsioonid.

Elektronarvutite kateeder esitas selles aktsioonis osalemiseks samuti oma ettepaneku: programmi *„Digitaalseadmete masinprojekteerimise ja diagnostikameetodite ning tarkvaravahendite väljatöötamine“*, mille täitjate tuumikuks pakuti TPI elektronarvutite kateedrit ja Küberneetika Instituudi EKTA-t. Programmi vajadust põhjendasime mitmete näide-

tega Läänes levinud tendentsidest. Kui näiteks firmas Olivetti kulus süsteemide projekteerimisele 40% ja 60% verifitseerimisele, või teiselt poolt vaid 10% süsteemide kokkupanemisele ehk valmistamisele, aga tervelt 90% testimisele ja diagnostikale, siis N Liidus kulutati ressursse projekteerimisele 50 korda rohkem kui verifitseerimisele ja diagnostikale. Siin oli selge lõhe kulujaotuste proportsioonides, millest tuleneski näiteks kodumaise arvutitehnika teada-tuntud vilets kvaliteet ja usaldusväärsus.

Mis aga ülikooli senisesse õppekavade struktuuri puutub, kus oli vähe tähelepanu pööratud tehnoloogia kvaliteedi, usaldusväärsuse ja testimise küsimustele, siis ka siin eksisteeris lõhe selle vahel, mida tegelik elu vajas. Näiteks, IBM-i firmas suunati uued tööle võetud projekteerijad kõigepealt testimise osakonda, et nad õpiksid, kuidas tuleks projekteerida süsteeme nii, et neid oleks võimalik usaldusväärselt testida ja et nad töötaksid usaldusväärselt.

Koostööst Eesti tööstusega

Kateedrite võimekus oma uurijate kaadrit alal hoida ja aspirantuuri tudengeid kutsuda sõltus oluliselt finantside toomisest kateedrisse. Finantside saamise eelduseks oli aga kõrge teadustöö tase. Niiviisi oli nõiaring täis saanud: *teadus produtseeris raha ja raha toitis teadust*. Kui üks lüli selles .tagasisidestatud süsteemis nõrgaks hakkas jääma, järgnes peagi süsteemne krahh. See krahh saabuski õige pea, sest riiklikud kraanid hakkasid järjest sulguma – teadusest ei olnud enam kasu lisaraha toomiseks ülikooli „iseenda elus hoidmiseks".

Teaduskonna nõukogu arutab väljasõiduistungil Keevalliku suvilas, kuidas parandada ülikooli ja tööstuse vahelist koostööd. Mart Minil (seisab) on ettepanek. Temast paremale dekaan Jaan Võrk ja Enn Velmre mõtlevad.Ülejäänud (vasakult paremale) Märt Puusepp, Raimund Ubar, Ülo Rätsep, Hanno Sillamaa ja Vladimir Heinrichsen kahtlevad.

N Liidu tsentraalse toetusega laboratoorse varustuse uuendamisel ei saanud enam arvestada, kohalik eelarveline toetus palkade maksmiseks kaotas aga õige ruttu oma mõju motiveerida teadusega tegelemist. Ainsaks võimaluseks palkadega inimesi kateedris ja teadustöö juures kinni hoida, oligi jäänud vaid *lepinguline töö tööstusega*, millist aga, kateedri riistvarale orienteeritud teadustöö profiili arvestades, ei olnud kerge leida.

1986. a. tegi Pöögelmanni Elektrotehnikatehas oma direktori **Šepelevitši** isikus terve rea ettepanekuid koostööks TPI-ga, eeskätt automaatikateaduskonna kateedritega. Ettepanekud puudutasid konkreetseid tellimustöid ja õppetöö küsimusi ehk sisuliselt tehasele kaadri ettevalmistamist. Tehasel seisis ees laienemine nii ehituslikult kui ka produktsiooni osas: plaaniti uusi tehasekorpusi kusagile Saku kanti, kuid ilmselt pidi see lükkuma pisut

edasi, 90-ndatesse. Lisaks kuuldeaparaatidele oli plaanis hakata tootma ka elektroonikat, eeskätt suure integratsiooniastmega mälukiipe, kuid potentsiaalselt ka loogikaskeeme – tarbijale orienteeritud integraalskeeme (ASIC).[6]

Tehase probleemideks oli automatiseerimise taseme tõstmine kuuldeaparaatide tootmisel, mõõtetehnika parandamine ja tehnoloogia ning toodangu väljatuleku protsendi tõstmine. Need olid probleemid, mis pigistasid kogu tootmisharu. Tehase esitatud probleemide loetelu oli siiski eklektilist laadi, puudus kontseptuaalne terviklik lähenemine tuleviku vajadustele. Silma torkas, et tehasel puudus vajaliku kompetentsiga kaader, kes näeks nii terviklikku probleemide ringi, kui oleks ka vastaval tehnilisel tasemel. Probleemide loetlemisel kiputi teaduse pähe välja pakkuma *ühepäeva muresid*. Puudus ka perspektiivne teadusproblemaatiline plaan.

Oma aruteludes vaagisid Pöögelmanni Elektrotehnikatehase ettepanekuid automaatikateaduskonna kateedrijuhatajad ja õppejõud **H. Sillamaa**, **V. Heinrichsen**, **M. Min**, **T. Rang**, **A. Annus**, **Ü. Rätsep**, **E. Velmre**, **A. Keevallik**, **R. Ubar** jt. Ühe tähtsama perspektiive omava probleemina, mis ülikooli huvitas, olid kindlasti õppetöö küsimused, sest tehnoloogia kiiret arengut silmas pidades oli selge, et järgmise 5-10 aasta jooksul vahetub kogu tehase spetsialistide kaader. Elektronarvutite kateeder nägi siin samuti oma šanssi, et kui tehas plaanib üle minna ka digitaalsele tehnikale oma toodangus, siis kerkivad seal diagnostika ja testimise küsimused igal juhul päevakorda, mis stimuleeriks kateedris nii õppe- kui teadustööd.

Ettevaatlikuks tegi aga asjaolu, et Pöögelmanni tehas oli ju üleliidulise alluvusega ja sellest johtuvalt kuulusid paljud küsimused otsustamisele Moskvas ning vähem kohalikes ministeeriumides.

Samas tundus üsna atraktiivsena tehase ettepanek kokku panna konsultatiivkomitee (ajutrust), mis meie poolt vaadatuna oleks andnud võimaluse üritada teha Pöögelmanniga seda, mis RET-iga seni polnud õnnestunud – püüda tehasele „sisse süstida“ ülikooli arengule vastavat ideoloogiat. Niisugune ajutrust oleks võinud välja töötada ühtse strateegia tööstuspartnerite suhtes ning siis seda rakendada kohe Pöögelmanni suhtes ja seejärel proovida ka teiste tehaste, näiteks RET-ga. Elektroonika kateeder, kel olid koostöölepingud koondisega RET, nägi siin analoogiaid ja uusi võimalusi, seda enam, et tehasega RET koostöö ei sujunud enam hästi.

Oluline küsimus kaadri ettevalmistamisega seotud koostöö suhtes oli, mida me tehaselt vastu saame. Idee moodustada spetsialiseeritud õppegrupp tehase stipendiaatidest oleks olnud muidugi huvitav väljakutse, mis aga nõudis väga palju lisaressurssi nii õpetajate kui ka laboratoorse varustuse näol. Pealegi oleks niisugune ülikoolipoolne panus pidanud tähendama mitte üksnes kitsast teenust konkreetsele tehasele, vaid ka üldisemat mõju ülikooli arengule. Juttu oli ka sellest, et Pöögelmanni tehase toetusel ehitada TPI juurde uus elektroonikamaja või vähemalt juurdeehitis, aga jutuks see jäigi.

Samal ajal oli tehasepoolne huvi TPI-st endale kaadrit saada silmnähtav – tehasel oleks avanenud võimalus hoida kokku elamute ja korterite arvel, sest TPI lõpetajad tööle asudes ei vajanud elamispinda, mujalt sisse toodud insenerid aga küll.

Oluline küsimus oli see, kas oleks võimalik siduda tehast teiste meie vabariigi raadioelektroonika aparatuuri tootvate tehastega tugevamini kui praegu või on mõeldud nii, et

6 ASIC – *Application Specific Integrated Circuit*.

tehas töötab üksnes oma peavalitsuse huvides Moskvas ning tema paiknemine Eestis või kusagil mujal on täiesti suvaline asi.

Otsesest vastusest põikas direktor **Šepelevitš** siin kõrvale, kuid oskas asja meile siiski atraktiivsena näidata, rõhutades, et nad küll alluvad Moskva ministeeriumile, aga et nendelt oodatakse, et operatsioonvõimendite tootmise kõrval, milles neil on N Liidus juhtiv positsioon, on tema ülesandeks hakata kindlustama Liidule masstoodangut suure integratsiooniga mälude osas ja et tehase perspektiiviks on alates 90-ndatest minna pidevatoimelistelt elektroonikatoodetelt üle digitaaltehnikale.

Polnud päris selge, kas see initsiatiiv oli direktori isiklik aktsioon või olid ka tehas ja ministeerium selle taga. Elektroonika ministeerium tundus mõnede arvates olevat üks mõistlikumaid ministeeriume N Liidus teistega võrreldes. Šepelevitšit ennast aga teati olevat heas kirjas ministri juures, sest minister olevat olnud tema õpetaja (!). Pealegi oli Šepelevitšil suur senine kogemuste pagas „suurte asjade" korda saatmisel: ta oli näiteks Voroneži tehaste peatehnoloog, kus tehti mikroprotsessoreid, ehitas üles ja pani seal käima suurte integraalskeemide tsehhi. Pealegi – mis sest, et tehas on üleliiduline, koostööd pidi ikka otsima. Meil oli ju kogu arvestatav tööstus sel ajal veel üleliiduline.

Siiski nähti tehase profiili järsus muutumises suurt riski ja julgustükki, mis tegi teatud mõttes ettevaatlikuks.

Samas oli ka tehase ettekujutus ülikoolile motivatsiooni pakkumisest naiivne – rahanumber, milles tehasel tundus olevat suur vabadus, oleks ülikoolile tegelikult vähe tähendanud, sest palganumbrit poleks olnud ülikooli võtmetegijatel ikkagi võimalik tõsta nõnda, et see oleks motiveerinud juurdetulevat lisatööd. Arvestades ASIC-tehnoloogia tulevikuperspektiive, olnuks vaja ikka korralikku õppebaasi. Ja selleks oleks tulnud küsida 10 korda enam võrreldes nende numbritega, millest oli juttu.

Kokkuvõttes nägime oodatavas koostöös kolme võimalust: esiteks kaadri ettevalmistamist, seejärel selle kaadri ja lepingulise koostöö kaudu meie teadusuuringutel põhineva ideoloogia eksporti tehasesse ning lõpuks suure perspektiivsusega kõrge integratsiooniastmega kiipide tegemist. See viimane puudutas oluliselt elektronarvutite kateedri perspektiive nii õppe- kui teadustegevuses.

Kiipide tootmine, koos teadusmahuka projekteerimisalase tegevusega oleks omanud Eesti jaoks väga suurt perspektiivi. Sest eesmärgiks oleksid võinud olla mittestandardsed lahendused, mida tehakse mingi konkreetse seadme (raadio, mõõteriista, arvuti, kogu laiatarbeelektroonika) jaoks, võiks öelda isegi massitiraažis. Ja kogu mõju on ju selles, et kiibi teeb kalliks just tema väljamõtlemine ja projekteerimine, aga mitte tootmine, kuid kogu inseneritarkus kajastub seejuures ikkagi toote lõpphinnas.

Sisuline koostöö oleks ju võinud kohe käima minna, kuid siis oleks pidanud alustama tutvumisest sellega, mis toimub tehase laborites. Üks asi oli rääkida juhtkonnaga, teine asi aga inimestega, kes tegid sisulist tööd ja kellega rääkides oleks ilmnenud see tõeline pilt – võimalused, vajadused ja ootused. Hetkeline töövaldkond Pöögelmannis oli analoogelektroonika, mis polnud elektronarvutite kateedri ampluaa. Meie ootused olid tulevikus. Vahepeal oli TPI-s jutuajamiste tase läinud juba liiga kõrgele. Alustati diskussioonidega kateedrites ja teaduskonnas, aga siis „hüppas" kogu asi, mis polnud veel üldse konkreetseks muutunud, rektori kabinetti, kus midagi tekkida ei saanudki ja seejärel seiskus liikumine ka alumistel tasanditel.

Kateedri koosolek

Esimene semester oli uue kateedrijuhataja käe all kiiresti möödunud. Mõnel määral annab sellest semestrist kiire ja kompaktse ülevaate kateedri ühe koosoleku protokoll 15. detsembrist 1987, mida protokollis **Heljo Saar**. Koosolekust võtsid osa: prof. **R. Ubar**, dots. **H. Mägi**, dots. **P. Leis**, dots. **P. Kitsnik**, v. õp. **M. Kruus**, v. õp. **V. Viies**, v. õp. **T. Evartson**, v. õp. **A. Toomsalu**, asp. **T. Kont**, n.t. **K. Tammemäe**, ass. **K. Grigorjeva**, teadur **B. Berkman**, v. ins. **A. Süld**, ins. **M. Antoi**, masinaülem **R. Kleis**, lab. juhataja **N. Piht**, ass. **U. Kuuskor**.

Koosolekul arutati järgmisi küsimusi.

1. Suunamise tulemustest (**A. Toomsalu**). Suunamisele kuulus 39 üliõpilast. Plaanilisi kohti oli samuti 39, kuid sellele vaatamata tekkisid raskused – kõik asutused ei andnud kohtadele katet, kuna keeldusid vastu võtmast naisüliõpilasi. Lisatingimuseks seati veel kahe keele valdamine. Edaspidi oleks vaja, et rühmajuhendajad selgitaksid üliõpilastele noorte spetsialistide õigusi ja kohustusi enne suunamist. Lõpuks said kõik probleemid lahendatud, kuna koondis „Algoritm“ oli meelsasti nõus rohkem lõpetanuid vastu võtma. Kõige madalamaks palgaks pakuti 120 rubla, kõige kõrgemaks 270 rubla. Rühmajuhendajad peavad aktiivselt kaasa aitama üliõpilaste suunamisele.

2. Kateedri teadustöö aruanne (**K. Grigorjeva**). Meil on kateedris praegu 3 lepingut, keskmise maksumusega 70,7 tuh. rbl. aastas. Osaleb 12 õppejõudu. Lepingu 618 majanduslik efekt on 309 tuh. rbl., lepingu 710 efekt 301 tuh. rbl. Publikatsioone on 26, kõige rohkem **R. Ubaril**. Dissertatsioone pole kaitstud. Välismaal on esinetud 5 konverentsil, osa on võetud 3 üleliidulisest konverentsist. On saadud 1 autoritunnistus (**R. Ubar & Co**) ja 4 taotlust autoritunnistusele (**V. Gerassimtšuk**, **A. Keevallik**). Oluliselt on kahanenud tudengite osalemine lepingulises töös (möödunud aastal oli 72 tudengit, nüüd on 38, mitu tudengit töötab praegu tasuta).

3. Väliskomandeeringutest Bulgaariasse ja Ungarisse (R. Ubar). Bulgaarias, Varnas, toimus idabloki riikide diagnostika-alane konverents[7], millest võttis osa ka teadlasi Ameerikast, Prantsusmaalt, Itaaliast. R. Ubar esines ettekandega ja oli võimalus luua ridamisi uusi kontakte: **Stephen Su** USA-st, **Jean-Claude Laprie** Prantsumaalt, **Luigi Simoncini** Itaaliast, **Dimitri Avreski** Sofia Tehnikaülikoolist, **Jan Hlavicka** ja **Jan Vesely** Praha Tehnikaülikoolist, **Kristofer Sapiecha** Varssavi Tehnikaülikoolist, **Andras Patarica** Budapesti Tehnikaülikoolist jt. Näiteks, USA professor Stephen Su oli huvitatud kontaktide loomisest NSV Liidus ja jõudsime kokkuleppele tema külalisloengute suhtes ka siin Tallinnas. Tekkis idee korraldada see sama konverents NSV Liidus. Poola, Tšehhi ja Bulgaaria on selle juba korraldanud. Konverents oleks väga hea valuuta teenimise võimalus. Järgmisel aastal kuulub selle konverentsi orgkomiteesse ka R. Ubar (6.–9. juunini Ida-Saksmaal).

Konverents Varnas. Raimund ja Jan Hlavicka, Praha Tehnikaülikooli professor (vasakul).

Novembris käis R. Ubar Ungaris, Budapesti Tehnikaülikoolis, loenguid pidamas. Tehti ettepanek, et üks inimene meie töögrupist võiks seal mõne aja töötada.

Konverents Balatoni järve ääres. Raimund ja Andrasz Pataricza, Budapesti Tehnikaülikooli professor (vasakul).

4. Metoodika komisjoni tööst Leningradis (**H. Mägi**). H. Mägi viibis eriala 0608 teaduslik-metoodilisel väljasõiduistungil Leningradis. Istungid toimusid kolmes ülikoolis: ЛЭТИ,

[7] Konverentsiettekanne: R. Ubar. Test Generation for Microprocessor Control Mechanisms. Proc. of the 10th Conf. on Fault-Tolerant Systems and Diagnostics, Varna, Bulgaria, September, 1987, pp. 305-311.

ЛИТМО ja ЛПИ. Päevakorras oli uue õppeplaani arutamine ning õpikute ja õppevahenditega varustamine. Põhiettekandja pidi olema prof. **Saveljev**, kes aga ise kohale ei ilmunud. Vaidlused ja diskussioonid kestsid kolm päeva. Tehti igasuguseid ettepanekuid (näiteks, moderniseerida matemaatika kursus, vähendades klassikalise matemaatika osa ja suurendades rakendusmatemaatika mahtu), kuid tuuma ei suudetud välja töötada. Istungi kogu töö oli kehvasti korraldatud. Räägiti üliõpilaste iseseisva töö organiseerimisest (õppejõu juhendamisel) ja täielikust iseseisvast tööst. Juttu oli ka erialast 2201 – elektronarvutite kompleksid ja võrgud. Peaksime ise otsustama iseseisva töö mahu küsimuse – mitu tundi nädalas teha individuaaltööd, 1 või 2 tundi. Sellega seoses kerkivad üles ka paljunduse probleemid. Kevadsemestril tuleks mõelda paljunduse võimalustele, et sügiseks varuda vajalikul hulgal materjale iseseisvaks tööks (nt. TPI kirjastus, teenindusmaja).

5. **Laboratoorse baasi olukorrast** (H. Mägi, **A. Toomsalu**, **T. Evartson**, **R. Kleis**). H. Mägi rääkis, et 2 plaati Mikrolabi täiendamiseks on R. Kleisi käes. Praegu tehakse 4 tööd, mida Mikrolab võimaldab. Peame jõudma nii kaugele, et õpetada tegema keerulisi mikroprotsessorsüsteeme. T. Evartson rääkis, et andmete sisseviimine on väga tülikas. R. Kleis rääkis, et oli toimunud nõupidamine R. Ubari ja **K. Tammemäega**. Tehnika on alakoormatud, päevakorda tuleks võtta Philipsi parem koormamine. R. Ubar ütles, et tuleks kiita K. Tammemäed, kes viis oma töö lõpuni (adapter) ja saksa tudengit **Bert Bombikut**, kes oli meil praktikal ja töötas **V. Viiese** juhendamisel. **U. Kuuskoril** ja R. Kleisil teha korda EC-9002.
6. **Muid küsimusi** (R. Ubar). Informatsioon laiendatud õppenõukogust, kus arutati teadustöö kvaliteeti ülikoolis. Rektor **B. Tamm** oli öelnud, *„et meie teadustöö tulemus on „ümmargune null", kuna meil pole ühtegi kaupa, mida oleks müüa. Lonkab patenditegevus, aastas olevat meil keskmiselt 30 autoritunnistust, mida on vähe. Lääne firmades olevat 100 inimese kohta 30 patenditöötajat, kusjuures patenditöötajate palk on suurem, kui neil, kes väljatöötlusega tegelevad. Me ei saa luua väliskontakte ega tuua ülikooli lepinguid firmadega, kui meil pole enda intellektuaalset omandit. Iga kateeder peab tõsiselt hakkama suhtuma küsimusse, kuidas teenida lisaraha."*

Kateedri koosoleku järgselt arutasime ka labori varustusega seotud küsimusi. Kõne all oli arvuti CM-1420 laiendamine lisamäluga, mille mahuks oli 128 K. Selle hinnaks oli 10 tuh. rubla ehk siis 6 (!) inseneri kuupalka.

Rahvusvahelistumisest

Teadusprogrammid ja koostöökontaktid

80-ndate lõpuperioodi astusime mitmete tulemustega, millele toetudes oli võimalik veenvalt põhjendada oma finantseerimistoetuste taotlusi mitmete üleliiduliste programmide raames.

Uurimistöö aruandes NSVL Teaduste Akadeemiale Tehnilise Küberneetika sektsioonis võtsime näiteks kokku TPI elektronarvutite kateedri põhilised tulemused koostöös Küberneetika Instituudi EKTA-ga arvutite ja mikroprotsessorsüsteemide diagnostika valdkonnas järgmise loeteluga:

1. Spetsiaalne keel mikroprotsessorsüsteemide struktuuri ja funktsioonide kirjeldamiseks tarbija manuaalides antud informatsiooni põhjal.
2. Algoritmid ja tarkvara matemaatilise mudeli sünteesiks eelmainitud spetsiaalkeeles esitatud mikroprotsessorsüsteemide kirjeldustest.
3. Algoritmid mikroprotsessorsüsteemide diagnostiliseks modelleerimiseks, rikete simuleerimiseks ja testprogrammide formaalseks sünteesiks.
4. Mikroprotsessorsüsteemide testri arhitektuur ja elektrilised põhimõtteskeemid.
5. Trükkplaatide testide generaator NAKS ja dialoogrežiimis töötav diagnostikatester. Mõlemad süsteemid auhinnati 1986. a. Rahvamajandussaavutuste Näitusel Moskvas hõbemedaliga.
6. Digitaalsüsteemide masinprojekteerimissüsteem DILOS oli edasiarendatud kasutamiseks multitarbijalises interaktiivses režiimis.

NSVL Kõrgharidusministeeriumile esitatud uurimistöö aruandes, mis oli koordineeritud programmiga „Õppe-uurimuslike masinprojekteerimissüsteemide väljatöötamine ja arendus kõrgkoolides“ töötasime välja uudse rakendusprogrammide paketi mikroprotsessoritel põhinevate digitaalsete juhtimissüsteemide projekteerimise, testimise ja diagnostika automatiseerimiseks. Paketti kuuluvad programmid toetasid inseneride väljaõpet tööstuses ja ülikooliõpet järgmistes küsimustes:

1. Digitaalsete juhtseadmete projekteerimismeetodid, testimine ja diagnostika.
2. Digitaalsüsteemide kirjelduskeeled ja modelleerimismeetodid ning rikete simuleerimine.
3. Mikroprotsessoritel ja maatriksskeemidel põhinevate digitaalsete juhtimissüsteemide projekteerimine.
4. Testide sünteesi ja analüüsi meetodid ning testikõlblike süsteemide projekteerimine.

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1242964

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:

"Устройство для контроля синхронных цифровых узлов"

Автор (авторы): Убар Раймунд Раймундович, Вийлуп Агу Алексеевич и Эвартсон Тэет Альбрехтович

Заявитель: ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Заявка № 3772884 Приоритет изобретения 12 июля 1984г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР

8 марта 1986г.

Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

Начальник отдела

Meie vastus rektori kriitikale: uus kateedri autoritunnistus uut tüüpi testri kohta (1986 – Ubar, Viilup, Evartson)

Meil oli teadustulemusi, meil oli rakendusi, aga me tahtsime edasi areneda. Kateedris ja laboris olid andekad noored inimesed, aspirandid – neid oli vaja stimuleerida ja motiveerida, sest nemad olidki kateedri arengu pant ja perspektiiv. Kooperatsioonipartneriteks, kelle abil meil õnnestus pisut palkade muresid leevendada, olid EKTA ja Moskva tehased, kellelt õnnestus lepinguid saada, oli ka Teadus-tootmiskoondis „Algoritm“. Otse tööstusega Eestis, kellele meid vaja oleks olnud, kontakte meil ei olnud.

Pöördusime Eesti poolse toetuse saamiseks Riikliku Plaanikomitee poole, informeerisime neid, et oleme olnud tublid ja et elektronarvutite kateedri poolt on ülikooli 50-ndaks juubeliks loodud ulatuslik arvutustehnika laborite kompleks, mis hõlmab personaalarvutite klassi, mikroprotsessorsüsteemide ja digitaaltehnika masinprojekteerimise laboreid, mis teenindavad nii teaduskonna päevaseid kui ka õhtuseid tudengeid, aga lisaks sellele veel viiakse läbi üle-linnalisi täienduskursusi ning võimaldatakse teaduskonna kateedrite teadustöötajatel läbi viia uurimistööd. Lisasime aga, et kogu seadmete kompleks pole siiski täielik ja seetõttu on raskendatud kogu saavutatud võimsuse efektiivne ärakasutamine. Palusime abi ülesehitatud laboratoorse kompleksi täiendamiseks valitud puuduvate seadmetega.

Diplomikaitmised 1987. Kalju Tinn (komisjoni esimees, koondise „Algoritm“ direktor) õnnitleb lõpetanuid. „Algoritmiga“ käis meil tihe koostöö.

Taotlesime ka toetust Eesti NSV Kõrg- ja Keskeriharidusministeeriumilt, viidates nii meie tulemuslikule teadustööle kui ka oma saavutustele laboratooriumide ülesehitamisel. Meil oli klass 15 personaalarvutiga, 4 APM tüüpi arvutitekompleksi, 2 komplekti eri tüüpi trenažööre, millised olime hankinud otse tehastest Venemaal. Loomisel oli 12-15 kohaline kuvariklass. Sellise hulga arvutite pidevaks õppetööks ettevalmistamiseks, hooldamiseks ja jooksva töö tagamiseks oli äärmiselt vajalik saada kateedri juurde täiendavat õppe-abipersonali (teiste sõnadega raha kateedri

eelarvesse). Taotlesime ühe masinaülema, ühe süsteem-programmeerija, kahe vaneminseneri ja kahe laborandi töökohti.

Eesti valitsusinstantsidele esitatud abitaotluste põhjendamisel tulid kasuks meie teadustöö kõrgetasemeline koordineeritus paljudesse programmidesse nii rahvusvahelisel VMN-i riikide tasemel, kui ka üleliidulistel NSVL Teaduste Akadeemia ja Haridusministeeriumi tasemetel. Loomulikult tuli siin pidevalt iga-aastaseid aruandeid kirjutada ja tõestada, et oleme olemas ja töötame edukalt, aga seda polnud raske teha, sest me teadustöö oli viljakas, publitseerisime agaralt, vormistasime autoritunnistusi oma leiutistele, rakendasime tulemusi tööstuses. Eriti uhked olime sel perioodil muidugi oma masinprojekteerimistarkvarale NAKS ja arvutil CM-3 põhineva elektronskeemide testri üle, mis valmisid koostöös EKTA-ga, samuti digitaalsüsteemide masinprojekteerimissüsteemi DILOS üle, mille töötas välja **Andres Keevalliku** uurimisrühm.

Keevalliku juhatava probleemlabori uurimisgrupp. Vasakult: Aleksander Maksimenkov, Paul Leis, Peeter Ellervee, Boris Berkman, Andres Keevallik, Aleksander Sudnitsõn. Siin lahendataksegi ühte probleemi firma „Algoritm" jaoks.

Võistlesime NSVL Kõrgharidusministeeriumi projektikonkurssidel, kus meie töid samuti hinnati kõrgelt, eeskätt aktuaalsuse ja laiaulatusliku üleliidulise koostöö pärast erinevate ülikoolide ja asutustega. Meie tähtsamateks partneriteks N Liidus, kellega suhtlesime mitmel rindel (õppematerjalide ja tarkvara vahetamine, väitekirjade oponeerimine, vastastikkused seminarid jne.), olid: МВТУ, ИПУ, МИЭТ, МИФИ Moskvast, ЛЭТИ ja ЛИТМО Leningradist КПИ Kiievist, КПИ Kaunasest, ХИРЭ Harkovist, СГУ Saraatovist, ИАПУ Vladivostokist jt.

Andres Keevallik selgitab Leningradi ülikooli LITMO teadusprorektorile Oleg Nemolotšnovile, kuidas töötab tema uurimisrühma loodud disainisüsteem DILOS

80-ndate lõpul olime väga heas kirjas oma valdkonna professionaalide hulgas üle N Liidu, meid kutsuti oponeerima väitekirju, juhatama konverentside sektsioone, astuma liikmeks mitmesugustes assotsiatsioonides ja liitudes.

80-ndate lõpul asutati Leningradi initsiatiivgrupi poolt assotsiatsioon ADIOS, mis ühendas teadlasi ja spetsialiste meditsiinitehnika süsteemide informatsiooni ja diagnostika tarkvara alal. Üheks ADIOS-e asutajaliikmeks oli **V. Kizub**, kellega meil toimus teataval perioodil koos EKTA-ga konsultatsioonide näol ka koostöö. Teades meie ekspertkogemuste taset diagnostika vallas, kutsuti ka meid selle assotsiatsiooniga ühinema. Selle ühenduse funktsioonideks olid infovahetus, tööbörs (töö- ja kohakaasluse võimalused, lepingulise töö võimalused, ideede juurutamine ja arutelu), professionaalne klubi, rahvusvaheliste kontaktide vahendamine, professionaalse autoriteedi kujundamine (auliikmete valimine, konkursid), sotsiaalne kaitse (töökohtade loomine ja soovituste

andmine tööle asumisel). Kontaktide loomise ja infovahetuse mõttes oli sellisesse assotsiatsiooni kuulumine kasulik.

90-ndate algul asutati professionaalne Tehniliste Süsteemide Diagnostika ja Veakindluse Assotsiatsioon – ADOT, mille liikmeks me samuti astusime. Assotsiatsiooni asutajaks oli Juhtimisprobleemide Instituut IPU Moskvas, selle presidendiks oli NSVL Teaduste Akadeemia liige **Pavel Parhomenko**. Mina kuulusin selle assotsiatsiooni nõukokku Balti riikide regiooni esindajana.

Neil päevil, vaadates oma mahukat väitekirja seismas riiulil, tekkis mõte, et see oleks täiesti kõlblik avaldamiseks ka raamatuna. Sain mitme akadeemiku (P. Parhomenko, **V. Guljajev, A. Zakrevski**) mõjukad toetuskirjad, millised saatsin kirjastusse Raadio ja side koos oma ettepanekuga raamatu sisu kohta. Aga praktiline elu oli ka kirjastustegevuses Venemaal kõike määrama hakanud ja akadeemikute autoriteet oli igal pool kadumas. Kirjastus teatas mulle viisakalt, et *nad on üle läinud uuele režiimile – täielikule isemajandamisele – ja seetõttu lükkavad mu raamatu avaldamise pisut edasi, kuni selguvad kirjastuse majandusliku analüüsi tulemused, mis võimaldab neil edasi töötada uutes tingimustes*. Mitteametlik tagasiside kirjastuselt oli, et praegu loetakse ainult tõlkeraamatuid ameerika autoritelt.

Gorbatšovi perestroika oli andnud „kodumaisele“ (loe: N Liidu) teaduskirjanduse avaldamisele üsnagi ränga hoobi, avaldama hakati nüüd peamiselt tõlkekirjandust (USA, Jaapani ja L-Euroopa autoritelt) ja vaid neid kodumaiseid tekste, mis võisid huvi pakkuda laiadele rahvahulkadele, aga mitte piiratud suurusega teadlaste gruppidele.

Niisugune pragmaatiline kirjastamise mentaliteet ilmnes eriti selgesti, kui **Tõnu Lohuaru** (EKTA) ja minu poole pöördus venekeelse ajakirja PC World kirjastuse direktor **Juri Kuzmin** palvega kirjutada neile artikkel tulemustest, mille eest olime saanud Rahvamajandussaavutuste Näituse medalid. Suure innuga asusin siis artiklisse kirjutama meie teadusest, aga artikli esimene versioon lükati kohe tagasi ja paluti midagi lihtsamalt ja „inimkeeles“ kirjutada.[8]

Akadeemik Ülo Jaaksoo

1992. aasta veebruaris loodi rahvusvaheline Balti Tehnoloogiateaduste Akadeemia BATS (*Baltic Academy of Technological Sciences*), mille asutajaks ja presidendiks oli Läti TA akadeemik Eduard Jakubaitis, endine Riia Arvutustehnika Instituudi direktor. Akadeemia kollektiivseteks asutaja-liikmeteks olid Venemaa Tehnoloogiateaduste Akadeemia, Venemaa-USA ja Venemaa-Korea Tehnoloogiateaduste Akadeemiad ning Rahvusvaheline Assotsiatsioon Uued Kõrgtehnoloogiad (USA) koos väljapaistvate teadlastega loetletud Lääne riikidest. Akadeemia registreeriti Riias.

Akadeemik Raimund Ubar

BATS-i asutajaliikmete hulka kutsuti ka Eestist kaks teadlast, akad **Ülo Jaaksoo** ning **Raimund Ubar** (Eesti TA liikmeks valiti R. Ubar aasta hil-

[8] Т. Лохуару, Р. Убар. Комплекс средств для диагностирования дискретных устройств. МИР ПК, 1, 1991, с.122-125. T. Lohuaru, R. Ubar. A set of tools for diagnosis of digital devices. PC World, Information Computer Enterprise, Moscow, No1, 1991, pp. 122-125.

jem). BATS registreeriti kohe paljude riikide valitsuste poolt s.h. NSVL, USA, Lõuna-Korea jt. Kontaktid loodi kiiresti teadlastega USA-s, Saksamaal, Prantsusmaal, Itaalias, Jaapanis, Koreas, Austrias, Šveitsis, Austraalias ja mujal.

Akadeemia eesmärgiks oli koordineerida Ida ja Lääne tehnikateadlaste ning -organisatsioonide vahelisi sidemeid fundamentaal- ja rakendusteaduste alal, eeskätt infotehnoloogias ning luua selle valdkonna teadus- ja kompetentsuskeskusi. Näiteks oli minu initsiatiivil ühe selle Akadeemia aktsioonina plaanis luua Tallinna Tehnikaülikooli juurde elektroonika kompetentsuskeskus, mis realiseeruski kolm aastat hiljem. Kahjuks lõpetas Balti Tehnoloogiateaduste Akadeemia finantsraskuste tõttu ise õige pea oma tegevuse.

Siiski oli Akadeemia loomine ja sellesse kuulumine selle lühikese ajaloolise perioodi märk koos oma funktsiooniga. Osalemine Akadeemia kujundamisel aitas luua ridamisi asjalikke kontakte välisteadlastega, keda valisime akadeemia välisliikmeteks ja kes selle liikmeks olemises tunnetasid ka teatavat kohustust akadeemiasse panustada kasvõi ainult info levitamise ja promotöö vormis. Nii näiteks valisime Akadeemia liikmeteks minu initsiatiivil professorid **Bengt Henochi** Rootsist ja **Einar Johan Aasi** Norrast, kellega meil hiljem kujunes väga tihe ja viljakas koostöö. Bengt Henochi kaudu tõime automaatikateaduskonda esimese rahvusvahelise projekti ESTPID Eesti iseseisvumise saabudes.

Kateedri „neljas" (Barkhauseni) õppetool

80-ndate teine pool oli ärkamise aeg, avanesid aknad ja sumbunud tuppa pääses kevadise hommiku värske tuulehingus.

Minu esimeseks sõiduks teise välisriiki, mis ei olnud Ida-Saksamaa, oli sõit 10. „Arvutite töökindluse ja diagnostika" konverentsile Varnasse Bulgaarias 1987. aastal, millest oli juttu ka eespool. Konverentsile sõit toimus N Liidu teadlaste delegatsiooni koosseisus, mida juhtis nõukogude üks tippteadlasi **Jegor Sogomonjan** IPU-st. Viimane oli mu doktoritöö oponendiks eelmisel aastal. Konverentsi külastusest (18-24. sept.) on arhiivis järel 14-leheküljeline venekeelne aruanne, mis tuli saata Moskvasse ministeeriumisse. Seda üsna põhjalikku aruannet, milles on kirjeldatud kokkupuuteid ja jututeemasid umbes 20 välisteadlasega paljudest maadest ning nendest kohtumistest alguse saanud koostööniidikesi, on praegu tagantjärele päris huvitav lugeda. Tegelikult oli see nõukogude ajal kehtinud traditsioon nõuda välisvisiitidel käinud teadlastelt sellekohaseid aruandeid päris kasulik. Enam niisugust praktikat ei eksisteeri.

Sellel konverentsil sain oma esimese keelelise „(välis)praktika" inglise keeles. Olin siis 47-aastane. Senine inglise keele kasutamise paraktiline kogemus mul täielikult puudus ja saksa keele hiljutine „sissetung" minu võõrkeelsete oskuste pagasisse tekitasid esialgu koguni mõningase suhtlusbarjääri ingliskeelses maailmas. Et oleksin võimeline oma ettekannet keelelises mõttes enamvähem „tasemel" esitama, veetsin oma ettekandele eelneva päeva peaaegu poolenisti hotellitoas, et ettekande tekst pähe õppida… Aga juba esimesest välisreisist, kus avanes võimalus 3-4 päeva järjest mõelda ja rääkida üksnes inglise keeles, piisas sellest, et kunagine koolitarkus inglise keele tundidest pääses taas löögile.

Mõne kuu pärast külastasin Budapesti Tehnikaülikooli, kus pidasin kaks loengut. Nüüd ei tundnud ma enam vajadust loenguteksti pähe õppida. Kuid esimese loengu lõpupoole siiski väsisin sõnade meeleheitlikust otsimisest niivõrd, et keel läks sõlme ja

sattusin tsüklisse, hakates kordama ühtesid ja samu sõnu ning fraase. Järgmise loengu ajal tundsin juba kergendusega kammitsatest vabanemist. Mis aga veel rohkem rahuldust ja enesekindlust suhtlemisel tõi, oli see, kui kadusid probleemid ümberlülitumisel eri keelte vahel – seigeldes vaheldumisi saksa, inglise ja vene keeleruumi. Mõnikord juhtus küll ka nii, et kui tuli tõlkida teksti näiteks vene keelest inglise keelde, siis äkki märkasin, et inglise keelde lülitumise asemel üritasin hoopis venekeelseid lauseid pisut teistmoodi ümber fraseerida.

Visiidist Budapesti Tehnikaülikooli sai alguse siiani jätkuv koostöö, mille jooksul oleme olnud partneriteks kokku vähemalt viies europrojektis aastatel 1993-2005. Kahel Ida-Saksamaal toimunud konverentsil[9,10] said aga alguse tänaseni kestev koostöö Stuttgardi Ülikooliga Lääne-Saksamaal (**Hans-Joachim Wunderlich**), aga samuti ka teatud perioodil tookordse Ida-Saksamaa Teaduste Akadeemiaga (**Dieter Hammer**), kes koordineeris VMN-i maade kompleksprojekti KP-6 *Veakindlad arvutisüsteemid*, millesse nüüd lülitati ühe partnerina ka TTÜ elektronarvutite kateeder.

Prof. **Jan Hlavickaga** Praha Tehnikaülikoolist, kes oli Ida-Euroopa maade liider diagnostika valdkonnas ja kellega samuti kohtusime Varnas, sidus meid juba varasem koostöö, mis algas tema visiidist Tallinna EKTA ja TTÜ külalisena. Jan Hlavicka oli konverentsi *Fault-Tolerant Systems and Diagnostics* asutaja, mis kujunes maailma tippkonverentsi *Fault Tolerant Computing Symposion* – FTCS Ida-Euroopa variandiks. Saatuse tahtel sain Jan Hlavicka „maaletoojaks" üleliidulistesse diagnostikakoolidesse, mis toimus küll teataval illegaalsel viisil, sest need koolid olid suletud välismaalaste jaoks (sellest aktsioonist on olnud juttu mujal).[11] Jan Hlavicka oli selle enda asutatud konverentsi korraldajaks 1989. aastal Prahas, kuhu ta kutsus mind plenaarettekandega esinema.

Barkhauseni Maja Dresdeni Tehnikaülikooli kampuses, kuhu TPI elektronarvutite kateeder sai endale 4-ks kuuks 1988. a. sügissemestril (loomulikult konkursi teel) rahvusvahelise Barkhauseni õppetooli

Olles aasta juhatanud kateedrit, sõitsin 1988. a. septembri algul neljaks kuuks Saksamaale Dresdeni Tehnikaülikooli, kuhu mind oli valitud Barkhauseni õppetooli hoidjaks. See oli iga-aastane välisprofessori õppetool, loodud kunagise samas ülikoolis töötanud legendaarse saksa elektrotehniku **Heinrich Barkhauseni** auks. Sain mõnevõrra uuesti maitsta vabadust teadustöö tegemiseks, kateedrijuhataja kohustused delegeerisin selleks ajaks oma kolleegidele.

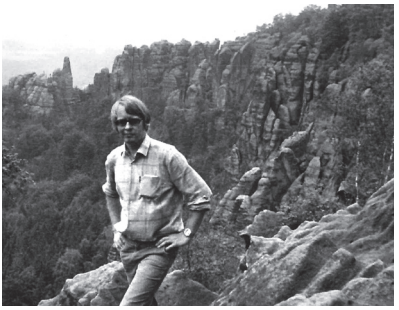
Informatsioonitehnika fakulteeti Dresdeni Tehnikaülikoolis juhtis prof. **Peter Vielhauer**, arvutitehnika osakonda aga, kuhu minu õppetool kuulus, juhtis prof. **Walter Cimander**. Pidasin Dresdenis oma teadusseminari ja asendasin aeg-ajalt osakonnajuhataja loenguid *automaatide teooriast*. Jätkasin seejuures oma teadustööd, püüdes telefoni ja posti teel hoida kontakti ka oma „teise" kateedriga Tallinnas, kus mind asendas dots.

9 R. Ubar, T. Lohuaru. Description of Digital Objects with Alternative Graphs for Test Generation Purposes. Proc. 11th Conf. on Fault-Tolerant Systems and Diagnostics, Suhl, May 1988, pp.157-163.

10 R. Ubar. Functional Specification & Testing of Digital Systems. Proc. 3rd Symp. on Multi-processor Systems Vol.1, Stralsund, Germany, October, 1989, pp.207-217.

11 R. Ubar. Teadusemees. Mälestused. TTÜ kirjastus, Tallinn, 2011.

Vladimir Viies. Kirjutasin mitu artiklit ja valmistasin ette plenaarettekannet järgmiseks aastaks konverentsile Prahas.



Raimund Ubar, Barkhauseni professor Saksi Šveitsi mägedes Dresdeni külje all.

Selle nelja kuu jooksul Ida-Saksamaal Barkhauseni õppetooli omanikuna sõlmisin teaduskontakte ja pidasin loenguid või seminare lisaks Dresdeni Tehnikaülikoolile veel Saksa DV Teaduste Akadeemias, Dresdeni Küberneetika Instituudis (prof. **Joachim Zander**), Leipzigi Ülikoolis (dots. **Heinz Wolf**), Karl-Marx-Stadtis e. praeguses Chemnitzis (prof. **Dieter Bochmann**, prof. **Gerhard Meyer**), Ilmenau Tehnikaülikoolis (prof. **Werner Liebich**) ja mujal. Tekkisid mitmed viljakad ja töised kontaktid: D. Bochmanniga kirjutasime kahasse monograafia[12], dots. H. Wolfiga juhendasime ühiselt doktoranti, Küberneetika Instituudiga Dresdenis ja Tehnikaülikooliga Ilmenaus süvenesid kontaktid, mille najal saime hilisematel aastatel partneriteks terves reas europrojektides. Ka ettevalmistustöö teha Karl-Marx-Stadti Tehnikaülikoolist meie tudengitele üks välispraktika koht kandis esialgu vilja (sellest jutustab dots. Vladimir Viies järgmises peatükis), kuid järgnev kahe Saksamaa ühinemine ja Nõukogude Liidu lagunemine ajasid kokkusobitatud kaardipaki uuesti segi.

Koostöövõimalusi sai arutatud ka Karlsruhe ülikooliga Saksamaal, kus olin kontakti võtnud prof. **Wilfred Görke**'ga, kes just äsja oli avaldanud esimese ülevaatelise monograafia Saksamaal arvutite diagnostikast[13], mille ma ka kohe enne professoriga telefonikõne pidamist läbi olin lugenud. Kergem oli siiski ajada asju Ida-Saksamaal, kus mul oli võimalik ringi liikuda ja inimestega silmast-silma kohtuda. Tugev side tekkis mul Dresdeni Tehnikaülikooli Informaatikakeskusega (prof. **Rainer Spallek** ja prof. **Jürgen Meinhardt**), mis püsis katkematuna aastaid ja mis viis meid lõpuks ühisesse partnerlusse ka ühes uueaja europrojektis HEICA[14] (2011-2013).

18. novembril 1988 kuulutati Eestis välja suveräänsus. Mäletan seda päeva, kui seisin vihma käes bussi oodates, olles äsja meedia kaudu sellest uudisest teada saanud. Ülev tunne valitses hinge – see tundus kõik lausa uskumatu. Ja samal ajal, kui Nõukogude Liidus tegi perestroika jõudsalt oma tööd, siis Ida-Saksamaal püsis seevastu endise kindlusega täielik stagnatsioon. Seni oli ju vastupidi olnud – Saksamaa (mis sest, et idapoolne) oli minu jaoks reisisihina tähendanud alati „vabadusse pääsemist". Nüüd oli kõik justkui pea peale pöördunud ja enam ei saanud ma millestki aru. Sest sakslased (jah need idapoolsed) ei suutnud kuidagi mõista eestlaste suveräänsusdeklaratsiooni.

Pean aga kohe lisama kommentaari, et sakslased, kellega ma tööl suhtlesin, olid professorid ja professoriks ei saanud ükski idasakslane muidu, kui pidi astuma kommunistlikusse parteisse. Tundsin küll mõningaid „punasakslasi", kes olid seest valged ja kellega võisime siiralt ja ausalt mõtteid vahetada, aga enamuses tundusid sakslased SED-märgiga rinnas veendunud kommunistid olevat. Võibolla ka seetõttu, et olime koos enamasti grupina. Ja kolm sakslast olid juba grupp, kes rääkisid teist juttu, kui koos oleks olnud kaks sakslast.

[12] D. Bochmann, R. Ubar. Fehler in Automaten. VEB Verlag Technik Berlin, 1989.
[13] W. Görke. Fehlerdiagnose digitaler Schaltungen. B.G. Teubner Studienskripten, Stuttgart, 1973.
[14] HEICA – *Higher Education Initiative for Informatics in Central Asia.*

Nii oligi meil hommikuti Dresdenis kombeks, et professorid kogunesid alati kõigepealt ühisele kohvijoomisele. Siis vesteldigi enamasti just poliitikast, sest ajad olid põnevad. Püüdsin neile oma rõõmu väljendada selle üle, et Eesti oli iseseisvaks saanud, aga paraku kohtasin vaid vaikust ja imestunud pilke. Sain kõvasti võtta selle „rumaluse" eest, mis Eestis oli toimunud – iseseisvuse väljakuulutamise pärast. „Kuhu te, eestlased, ometi arvate end välja jõudvat niiviisi," kritiseerisid mind professorid. Prof. Neubert jutustas vastukaaluks sellest, kuidas ta suvepuhkusel Ungaris viibides, oli näinud ühte leedulaste autot, mille numbrimärgil oli seisnud maailmas tundmatu (Leedu) tunnusmärk LIT. Sündmus sai professorite ägeda ironiseerimise ja pilkamise osaliseks… Aga vaevalt mõne aasta pärast pidi näiteks seesama professor, kes mind kritiseerinud oli, Saksamaa tolmu jalgadelt pühkima, olles kaotanud oma professoritooli… Prof. **Neubertil** siiski vist vedas (vähemalt esialgu), sest ta leidis laias maailmas endale uue professoritooli, seekord Kuveidis. Kuidas ta Iraagi rünnaku aga üle elas, sellest mul andmeid enam ei ole.

Töötades Saksamaal tuli samal ajal silma peal hoida sellel, et ka kodus töö käiks ja töö tegemine oleks motiveeritud. Strateegia oli meil olemas – palka sai neil, kes seda väärisid, tõsta lisatasude abil. Tuli vaid põhjendada, et töö on tähtis ja muidugi pidi kateedril selleks ka raha olema. „Silma peal hoidmine" käiski seetõttu umbes niisuguste kirjade abil:

„Esildis, 30.11.1988. Teadusprorektori asetäitjale Jüri Tannerile. Palun lugeda eriti keerukat produktsiooni loovaks elektronarvutite kateedri lepinguline uurimistöö 710 (vastutav täitja R. Ubar), milles töötatakse välja meetodid ja automaatprojekteerimissüsteem nii suur-, mini- kui ka personaalarvutite ülisuurte integraallülituste testide genereerimiseks ja diagnostikaks. Lepingu täitmisel on kasvanud nii teoreetiliste (A. Toomsalu) kui ka praktiliste (E. Rebane) tööde maht. /…/ Seoses sellega palume maksta detsembris palgafondi ökonoomia arvelt lepingu täitjatele lisatasu (protsentides töötaja põhipalgast) järgmiselt: A. Toomsalu – 100%, E. Rebane – 50%."

Vladimir Viies: Stažeerimisest Chemnitzi Tehnikaülikoolis

See on lugu sellest, kuidas elektronarvutite kateedri koostöö DDR-i[15] Karl-Marx-Stadti Tehnikaülikooliga lõppes minu stažeerimisega GDR-i[16] Chemnitzi Tehnikaülikoolis.

Olin aastal 1986 meie teaduskonna nõukogus ja tegelesin aktiivselt üliõpilaskonnaga. Tänu **Raimund Ubari** aktiivsele ühistööle saksa kolleegidega (esialgu pidime piirduma Saksamaa DDR-i osaga), hakkasid meile saabuma sealt üliõpilased. Meie jaoks oli see igal juhul sündmus.

Mäletan, kuidas valisin välja praeguse kaastöötaja **Piret Punderi** ning palusin tegeleda ühe saabunud naisüliõpilasega. Suhtluskeeleks kujunes neil saksa-vene segu ja seda just DDR-i üliõpilase eelistusena.

Tihe koostöö vahetusüliõpilaste tasemel kestis 1991. aastani, millal DDR-i professuurid võeti Lääne-Saksa professorite poolt üle ja seda riiklikul tasemel (nii vähemalt selgitati mulle Chemnitzis, kuid sellest hiljem). Sain enda juhendada DDR-i üliõpilase **Bert Bombiku**, ühe kolmest elektronarvutite kateedrisse tulnud saksa üliõpilasest (aasta enne Saksamaade ühinemist). Kuigi varem olin juhendanud ühte soome üliõpilast, tähendas välisüliõpilase juhendajaks olemine alati parajat väljakutset.

[15] DDR – *Deutsche Demokratische Republik.*
[16] GDR – *German Democratic Republic.*

Vaadates ajaloo termineid, võib tunduda, et Berliini müür oli langemas ja kõik suundumas üldise vabaduse suunas. Tegelikkus oli siis veel aga ikkagi hoopis teine, kõigis küsimustes pidi arvestama nõukogude ideoloogiaga.

Sain saksa üliõpilastega päris hea kontakti ja kutsusin neid üheks nädalalõpuks pere suvekodusse piknikule Lahemaale (muide Tallinnast registreerimata väljasõit ei olnud tollal OK). Tudengid veidi kõhklesid, siis võtsid küllakutse vastu. Kuna minu ema, **Helene Kuma**, oli omal ajal lõpetanud saksa kooli, suhtles ta külalistega koduselt. Samal ajal oli Eestis külas tema endise kooliõe pere Lääne-Saksamaalt, kes siis tulid koos kooliõe **Dagmar Normetiga** ka meie suvekodusse (NB! Mobiile siis ei olnud ning etteteatamine küllatulekust tavatu). Nüüd said Ida ja Lääne noored suhelda esmakordselt vabas õhkkonnas Eesti pinnal! Kohtumise algul Ida arvas, et tegu on provokatsiooniga, Lääs aga, et üllatava ja meeldiva kohtumisega. Vilunud suhtlejatena vahendasid kooliõed asjatundlikult kerkinud pooltõdesid. Hiljem sulanduti ja minu peale keegi pahandust tekitavat ettekannet välissuhetele ei teinud. (Kuigi jah, kuni aastani 1990 mind stažeerima Läände ei lubatud). Sain siis sellel kohtumisel aru, et ainult inglise keele vahendusel kontakteerumine inimeste usalduse võitmiseks on problemaatiline.

Läksin innustunult saksa keele kursustele, kuid järgnevate sündmuste ülikiire areng – Rahvarinne, Eesti Komitee jne võtsid täielikult minu vaba aja. (Olen ka praegu arvamusel, et suhtlemine ainult inglise keele põhjal ei ole õige. Toetan ja innustan nüüd igati oma väikest tütart, kes huviga õpib kooli kõrvalt rootsi keelt.)

Õppetöö kulges aga omasoodu. Aastal 1989 kaitses **Bert Bombik** edukalt oma diplomiprojekti loogikaskeemide graafikaredaktori teemal. Kirjutasime selle kohta artikli TPI toimetistes.[17] Artikkel oli vene keeles, ingliskeelse kokkuvõttega.

Samal aastal Berliini müür purustati ja Saksamaad ühinesid. Meie saksa üliõpilased aga leinasid kadunud DDR-i ning süütasid mälestusküünlad. Olin hämmingus ja mõistsin neid veidi alles hiljem, olles aastal 1990 stažeerimas Chemnitzis. 1990. a. sügissemestril saabus kutse prof. **Gerhard Meyerilt**, Chemnitz Technical University (nii oli kutsel), meie prorektorile prof. **Valdek Mikkalile**, et Saksa pool ootab sügissemestril ass. prof. **Andres Keevallikut**, ass. prof. **Vladimir Viiest** ja IV kursuse üliõpilasi **Ahto Buldast** ning **Viljar Tulitit** stažeerima.[18] Kõik kulud võttis Chemnitzi ülikool enda kanda.

Kui jõudsin Saksamaale, oli seal kõikjal tunda üleminekuperioodi hõngu. Esialgne eufooria oli asendumas saabunud reaalsusega. Reaalsuses tunnetasid millegipärast paljud DDR-ikad, et neid koloniseeritakse. Sinna seltskonda kuulusid ka need meil õppinud üliõpilased. (Nagu sain aru vestlusest B. Bombikuga, aitasid teda paremini orienteeruda sellel üleminekul Eestis ühispiknikul saadud kontaktid.) Chemnitzi Tehnikaülikool muutus kiiresti. Oli palju plusse ja miinuseid. Näiteks personaalarvutite vähesust korvati prof. Gerhard Meyeri laborites nii, et ühte arvutikomplekti kuulus kaks kuvarit ja klaviatuuri. Töö oli aeglane, aga toimis ning seda konfiguratsiooni arendati. Peale ühinemist muutusid seda liiki „arendused" mõttetuks – autoritele valus. Samas mitmeid kõrge tasemega professoreid asendati, arvestamata uute inimeste teadmisi ning oskusi.

[17] Б. Бомбик, В. Вийес. Пакет графических программ для курса моделирования цифровых схем. Труды ТПИ 674, 1988, с88-91. B. Bombik, V. Viies. Software for the Course of Modeling of Digital Circuits. Proc. of TPI 674, 1988, pp.88-91.

[18] „Stažeerimine" – oli sel ajal üldine nimetus tööle välisülikoolis.

Mind võeti Chemnitzis hästi vastu, arvestades üleminekuperioodi. Sain kena kahetoalise üürikorteri kesklinna läheduses, kus mõnda aega peatusid ka Ahto Buldas ning Viljar Tulit, kelle eest pidin vastutama. Meie üliõpilased otsustasid aga „häälega" Saksamaad avastada. Üritasin küll selgitada, et kiirteedel see ei õnnestu, aga noormehed üritasid ikkagi ning paari päeva pärast olid tagasi, jõudmata kaugemale kui 100 km. Meil võis siis probleemideta „häälega" Eestile tiir peale teha. Kõike uut tuli avastada ja kogeda. Sain huvitavaid kogemusi ka loenguid pidades, suhtlemisaktiivsus oli teine.

Semestri lõpus siirdusin Lääne poolele, kus ootas mind koostööpartner selleks ajaks loodud ühisfirmast ja sain kogeda sealpoolset suhtumist Saksamaade ühinemisesse.

Diagnostikaring

Raimund Ubar, saabunud Läänest koju (uude rahvusvahelisse programmi pääsenuna ja sellest innustatuna ning enesekindlust kogununa), esitas ülikoolile 27.01.89. järgmise taotluse:

„Töötades Barkhauseni õppetooli juhatajana Dresdeni Tehnikaülikoolis tehti VMN-i maade kompleksprogrammi KH-6 juhi prof. ***D. Hammeri*** *poolt ettepanek ühitada TPI elektronarvutite kateedri uurimistöö tema poolt juhitava projektiga „Tõrkekindlad süsteemid". Kuna selle projekti täitmine nõuab fundamentaaluuringute laiendamist kateedris /…/, siis palun leida võimalusi kateedri diagnostika-alaste uuringute täiendavaks finantseerimiseks ülikooli arengufondist /…/ Ressursivajadus oleks 7500 rbl. palgafondi aastas nooremteaduritele* ***V. Alango****,* ***T. Kont*** *ja ins.* ***T. Mamers****. Programmi täitmiseks on vajalik IBM personaalarvutustehnika." Kateedrijuhataja* ***R. Ubar****.*

Kõrgesse rahvusvahelisse programmi lülitamisest oli kasu ja meie taotlusel oli edu. Õige pea sain TU sektorilt järgmise vastuse:

„TPI käskkirjaga nr. 53 (07.02.89) määratud ekspertkomisjon vaatas läbi Teie poolt konkursile esitatud teema põhjenduse ning soovitas seda teemat finantseerida instituudi teaduslik-tehnilise ja sotsiaalse arengu fondist. Palun esitada teadusosakonda 1. märtsiks 9 kuu eelarve vastavalt Teie poolt planeeritavatele kuludele palgafondi normatiivi arvestamata. Palume esitada ka ostetavate seadmete loetelu koos maksumusega, samuti koosseisud ja palgad vastavalt komisjoni poolt soovitatud palgafondi suurusele. Teadussekretär ***O. Paulus****."*

Nimetatud töö raames saime osta kateedrile kaks IBM-i personaalarvutit, mis oli tol ajal suur asi. Saades täiendust kateedri palgafondile, oli võimalik nüüd toetudes töö kõrgele koordineerituse astmele taotleda ka uusi lisatasusid võtmetegijatele.

Kaks uut IBM PC arvutit tegid programmeerimisel põhineva uurimistöö pisut atraktiivsemaks ka noorematele tudengitele, kes olid alles äsja astunud ülikooli. Poisid olidki väga huvitatud arvutitest ja programmeerimisest. Nii tekkis idee, toetudes senisele kateedri kogemusele, mis saadi kooliõpilaste juhendamisel arvutitega töötama õppimisel *õpilasringi* raames, asutada nüüd ka diagnostikaring ülikoolis noorte tudengite kaasamiseks teadustöösse.

See oli muidugi ambitsioonikas ettevõtmine, sest mis teadusega see äsja koolipinki nühkinud nooruk ilma eelettevalmistuseta ikka suudab tegelda. Aga meil oli idee, mis töötas, seejuures eelpoolse loogika vastaselt. Kateedris oli välja töötatud täiesti uus revolutsiooniline lähenemine digitaalskeemide diagnostiliseks modelleerimiseks.

Kui klassikaliste Boole'i võrrandite asemel, kus valemite rägastikus „näpuga ühe rikke toimimise järge ajada" osutus vähegi keeruka skeemi puhul võimatuks, olime meie võtnud kasutusele ilmeka ja lihtsalt arusaadava graafilise meetodi – binaarsed otsustusdiagrammid. Kui pisut „ülemeelik" olla, siis võiks siin

analoogia tõmmata Feynmani diagrammidega[19] teoreetilises füüsikas, kus ta pakkus välja graafilise meetodi kvantteooria matemaatiliste avaldiste arusaadavamaks esitamiseks aatomiosakeste vastastikuste mõjude kirjeldamisel. Sisulisem analoogia Feynmani diagrammide ja meie graafidega seisneb selles, et ka rikete maskeerimise juhtumeid on traditsioonilise matemaatikaga väga keeruline esitada, aga meie graafide puhul osutub võimalikuks niisugustest keerulistest rikete omavahelistest suhetest visuaalselt väga lihtsalt aru saada.[20]

Aga rikete maskeerimise probleeme hakkasime arvutil simuleerima alles palju hiljem, kõigepealt seadsime oma ülesandeks lahendada lihtsalt uute meetoditega neid tuntud diagnostikaülesandeid, mida seni oli lahendatud klassikaliste Boole'i algebra võrrandite manipuleerimise abil.

Ega tudengitelt me algul muud huvi ei oodanudki kui ainult huvi programmeerimise vastu. Ja seda noortel koolist tulnutel oli – arvutid olid pop tegevus neile, kel pea lõikas. Ja kui siis neile veel seletada, et programmeerite asja, mida keegi teine maailmas pole enne veel teinud, muutus huvi kahekordseks. Diagnostikaringi astusid 1989. aasta algul teise ja kolmanda kursuse üliõpilased **Viljar Tulit**, **Kalle Pungas**, **Ahto Buldas** ja **Vello Laar**.

Igale ühele neist sai antud iseseisev ülesanne, kus arvutiskeem oli esitatud graafmudelina (esialgu tuli see lihtsalt kõigi jaoks ühtse formaadina ette anda) ja siis selle graafi peal lahendada mitmesuguseid ülesandeid, mis taandusid erinevate teede trasseerimisele graafis, teede omaduste analüüsile jne. Sellise matemaatilise sisu taga aga peitus konkreetne praktiline ülesanne, mis oli seotud digitaalskeemi testimisega, vajalike testide leidmisega, testide analüüsiga ja nende rikete avastamise võimekuse uurimisega ja lõpuks ka rikete diagnoosiga.

Tudengid haarasid probleeme lennult, mõned ülesanded olid programmeeritud koguni paari päevaga, aga eks see siis tähendanudki seda, et olime leidnud õiged tudengid, kellele võib hakata andma ka juba nõudlikumaid ülesandeid. Õige pea hakkasid tudengid huvi tundma ka sisuliste probleemide vastu, pakkuma omapoolseid efektiivsemaid tarkvaralisi lahendusi ja lõpuks ka raamatuid ja teaduslikke artikleid lugema sügavamaks asjade sisusse tungimiseks. Tööl oli tegelikult kõigi jaoks vaid kaks olulist kriteeriumit: programm pidi olema õige ja töötama võimalikult kiiresti. Kiirus tähendas seda, et me võisime hakata võrdlema erinevaid lahendusi oma püstitatud probleemidele, nendega, milliseid võis leida kirjandusest.

Siit aga algas hasart – optimeerimise, minimeerimise ja maksimeerimise võimaluste otsimine, mis tähendas teaduse saabumist tudengite diagnostikaringi.

Peagi hakkasid poisid nägema ja mõistma oma ülesannete seotust ja süsteemsust, kuni lõpuks saigi kõigile selgeks, et meil on kujunemas üks terviklik diagnostikaülesannete lahendamiseks mõeldud tarkvara keskkond, mis aga kindlasti vajaks ka nime. Kõige hasartsem ja kiirem oli selle grupi tudengite hulgas **Kalle Pungas**, kelle klaviatuuri käsitsemise osavust andis imetleda.

Ka meie tarkvarale nimetuse välja mõtlemisel osutus Kalle kõige kiiremaks. Tema pakutud nimega **TURBO TESTER**, mis viitas otse meie töö tulemuste kvaliteedile ehk siis programmide kiirusele, olid kõik väga rahul. TESTER – tähendas seda, et kõik programmid olid mingil moel seotud testimisega, aga TURBO – tulenes sellest, et tol ajal oli arvutitel alati küljes üks nupp nimega „Turbo", millega sai arvutile „teise käigu" sisse lülitada. Teiselt poolt aga, ka populaarse programmeerimiskeele Pascal jaoks väljatöötatud arenduskeskkond kandis nime *Turbo Pascal*.

Algul toimus kogu töö diagnostikaringis vabatahtlikul ja idealistlikul põhimõttel, kus oli küll „ära kasutatud" seda „efekti", et palga peale ei mõelnud keegi ja rõõm oli juba sel-

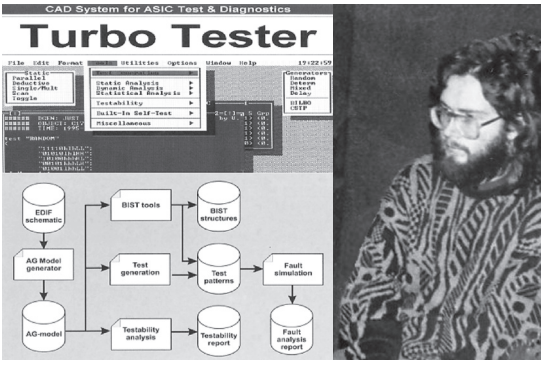
[19] https://en.wikipedia.org/wiki/Feynman_diagram

[20] Р. Убар. Построение полных контролирующих тестов комбинационных схем. Известия Академии Наук Эстонской ССР. Физика-Математика, 1982, 31, (4), с.418-428. R. Ubar. Generation of Complete Tests for Combinational Circuits. Journal of Academy of Sciences of Estonia, Vol.31, Phys. & Math., 1982, No.4, pp.418-427.

lest, et oli saadud huvitav ülesanne ning selle lahendamine pidi kellelegi vajalik ja kasulik olema. Kuid nii ei saanud asjad ju muidugi edasi minna – tegijaid tuli premeerida ja eks hiljem tekkisid ka palgatöö suhted.

1989. aasta novembris sai dekaanile saadetud järgmine esildis:

„Teen ettepaneku premeerida järgmisi LI-eriala üliõpilasi väga aktiivse osalemise eest elektronarvutite kateedri diagnostikaringi tegevuses, mille tulemusena 1989. aasta jooksul töötati välja ja programmeeriti tarkvaravahendite süsteem „Turbo Tester" digitaalskeemide testide automaatseks projekteerimiseks (süsteem kujutab endast programmide paketti, mida võib kasutada nii õppetöös kui ka professionaalses digitaaltehnika projekteerimistegevuses:



Turbo Tester – tarkvara digitaalskeemide testide projekteerimiseks, mis koosnes testigeneraatorist ja testimisarhitektuuride ning rikete simulaatoritest. Paremal: Turbo Testri esimesi arhitekte ja programmeerijaid Viljar Tulit.

1. **Viljar Tulit** (LI-51) – 150 rubla (programmipakettide „Rikete analüüs", „Deduktiivne modelleerimine" ja „Mudelite optimeerimine eest").
2. **Kalle Pungas** (LI-31) – 150 rubla (programmipakettide „n-mõõtmeline modelleerimine" ja „Testide katte arvutamine" eest).
3. **Ahto Buldas** (LI-51) – 100 rubla (programmipaketi „Statistiliste testide hindamine" eest).
4. **Vello Laar** (LI-31) – 50 rubla (süsteemi keskkonna loomise eest).

Diagnostikaringi juhendaja, elektronarvutite kateedri juhataja **R. Ubar**. 27. november 1989."

Edasi järgnes juba suuremate ambitsioonidega taotlus TTÜ teadusprorektorile, keda kõigepealt informeerisime lepingu 945 täitmise tulemustest ja seejärel esitasime ettepaneku, kuidas edu saavutanud kateedrit edasi toetada:

1. Töötati välja komplekt programme (kateedris arendatud teooria baasil) digitaaltehnika diagnostika ülesannete lahendamiseks: testide generaatori optimeerija, testide kvaliteedi määraja, testide korrektsuse analüsaator, testide statistiline analüsaator ja universaalne signaalide alfabeedist sõltumatu simulaator.
2. Loodud töövahendite komplekt kujutab endast keskkonda Turbo Testri nime all, mida oleks võimalik kasutada digitaalskeemide diagnostika õpetamiseks IBM PC AT tüüpi arvutiklassi olemasolu korral, aga ka professionaalse tööriistakastina digitaalskeemide projekteerimisel tööstuses.
3. Antud lepingu täitmise käigus kujunes kateedri juures välja töövõimeline noorte uurijate grupp (diagnostikaring) II ja III kursuse üliõpilastest.

   /…/ Oleks väga perspektiivne jätkata antud tegevust, laiendada loodud töövahendite kompleksi, arendada seda edasi nende kasutuspiirkonna avardamiseks /…/. Oleks otstarbekas haarata arendustöösse digitaaltehnika projekteerimisega seotud uurimistöid (dots. **Andres Keevalliku** juhendamisel) eesmärgiga luua veelgi terviklikum tarkvara kompleks, mis ühendaks süsteemide sünteesi ja analüüsi.

   Seoses ülaltooduga palun leida võimalus finantseerida TTÜ arendusfondist nimetatud uurimistööd /…/. Ressursivajadus aastas on 8000 rubla palgafondi. Lepingu täitjateks oleksid „Turbo Testri" autorid, üliõpilased **V. Tulit**, **K. Pungas**, **A. Buldas**, **V. Laar**, assistent **M. Saarepera**, aspirant **S. Storožev** ja insenerid **J. Udre** ning **Dmitri Kuraksa**. Elektronarvutite kateedri juhataja R. Ubar.

Selline ülikooli rahade juurde taotlemine oli äärmiselt vajalik, kui tahtsime hoida oma teadustaset ja tugevdada koostööd tudengitega, milles nägime suurt potentsiaali.

Olukorra järkjärgulist halvenemist lepingute saamisel, mis tulenes üldisest majanduse allakäigust üle terve N Liidu, näitab ilmekalt järgmine tabel:

	1986	1987	1988	1989
Lepinguliste tööde arv	3	3	4	4
Üldmaht (tuh. rbl.)	325	484	330	221
Aastamaht (tuh. rbl.)	170	212	173	126
Keskmine hind (tuh. rbl.)	51	71	43	32
Õppejõudude arv	11	13	14	14
Üliõpilaste arv	72	37	22	14

Järgnevas kirjavahetuses rektoraadiga sai rõhutatud digitaaltehnika (eriti rekonfigureeritavate integraalskeemide) masinprojekteerimise üha kasvavat tähtsust ning mõista anda, et see suund on üheks oluliseks võtmeteemaks tööstuse profiili kujundamisel IME probleemide lahendamise raames. Viitasime kateedris olemasolevale potentsiaalile ning selle pidevale kasvamisele ja rahvusvahelisele renomeele selles valdkonnas ning toonitasime vajadust integreerida tugevamini kahte sugulastemaatikat kateedris – disaini ja diagnostikat – selles peituva sünergia tugevdamiseks. Niisuguse esildise fookuses oli veenda ülikooli juhtkonda „kasta seda põldu, kus kapsas hästi kasvab“, nagu tavatses öelda teaduslabori juhataja, tulevane ülikooli rektor **Andres Keevallik**.

Oma plaanides ja taotlustes rõhutasime, nagu kombeks, rahvamajanduslikku tähtsust ja kasutasime ikka aeg-ajalt võlusõna IME. Viidates oma teadusartiklitele ja läbiviidud konjunktuuriuuringutele viitasime oma konkurentsivõimelisusele maailmaturu teatud niššides, mille aluseks olid meie originaalsed teoreetilised lahendused. Meie kompetentsi tõestuseks olid 1 kaitstud doktoritöö ja 13 teaduste kandidaadi tööd selles valdkonnas. 1991. aastaks lugesime reaalseks veel 1 doktoritöö (A. Keevallik) ja 5 kandidaadiväitekirja (**P. Ellervee**, **K. Tammemäe**, **V. Zaugarov**, **L. Kaširova**, ja **T. Kont**) kaitsmisi. Taotlesime eesmärkide saavutamiseks aastast palgafondi 78 tuhat rbl. riigieelarvelisena ja 120 tuhat rbl. lepinguliste tööde arvelt. Potentsiaalsete lepinguliste tööde finantseerijatena mainisime asutusi: EKT ja Teadus-tootmiskoondised „Algoritm“ Tallinnas, „Kvant“ ja „Kometa“ Moskvas.

Teaduse nabanöör – lepingulised uurimistööd

Rootsi tuleb Eestisse

Meie teadustöö kateedris diagnostika valdkonnas hakkas kulgema nüüd kolmes suunas: (1) Turbo Tester, (2) testprogrammide genereerimine mikroprotsessoritele ja (3) testimissüsteemid. Viimased kaks teemat moodustasid ka meie koostöö ühisosa Küberneetika Instituudi EKTA-ga.

Tudengid, kes olid valmis ehitanud Turbo Testri, jätkasid innukalt tööd oma „kasvandiku“ edasiarendamisel, viimaks seda niisugusele tasemele, et Turbo Testri baasil saaks ülikoolis läbi viia laboreid. Poisid mõtlesid ka välja laboritööde stsenaariumeid. Need tundusid juba ette saavat väga huvitavad, kuna neisse sai kergesti viia sisse ka uurimuslikke ja võistluslikke momente: tööriistad olid olemas ja kõik sõltus sellest, kui efektiivselt neid keegi oskas kasutada.

Suure innuga asusid diagnostika probleeme uurima ka uued aspirandid **Villem Alango** ja **Toomas Kont**. Villem võttis üle Turbo Testrisse kuuluva testide generaatori täiendamise ja optimeerimise, millest saigi hiljem üks tema põhitegevusi. AG-mudeli üldistamisel

kõrgemate tasandite jaoks töötas hoolega **Viktor Zaugarov**, kellele tulid appi 1989. aastal lõpetanud **Märt Saarepera** ja **Sergei Storožev**.

EKTA orientatsioon uurimistöösse oli praktiline ja nende tugevus selles valdkonnas seisnes testsüsteemide loomises, milliseid oleks saanud kasutada tööstuses reaalsete trükkplaatide testimisel. Meie partnerlus seisnes suuresti akadeemilises uurimistöös, kus püüdsime automatiseerida testprogrammide sünteesi.

Loogikaskeemide testigeneraatorit NAKS arendasime edasi ühe Moskva postkasti p/k A3821 tellimusel. Siin liikusid asjad sujuvalt, kuna meil oli juba palju kogemusi ja süsteemi tuum töötas.

Bengt Magnhagen – firma DIGSIM DATA AB president

Uued tuuled tõi elektronarvutite kateedri ja EKTA koostöösse 1988. aastal tekkinud kontakt Rootsi firmaga DIGSIM DATA AB, mille direktoriks oli **Bengt Magnhagen**. Firmas oli välja töötatud tarkvarasüsteem DIXI-cad digitaalskeemide simuleerimiseks ja projekteerimise automatiseerimiseks. Neil puudus aga testigeneraator, mis oli olemas TTÜ-s.

4.-5. mail 1988. aastal toimus Rootsi firma DIGSIM tegevdirektori Bengt Magnhageni visiit TTÜ-sse ja EKTA-sse. Koosolekul, mille eesmärgiks oli välja selgitada koostööhuvid, osalesid B. Magnhagen Rootsi poolelt, **R. Raud** ja **T. Lohuaru** EKTA poolelt ning **A. Keevallik**, **V. Leppikson** ja **R. Ubar** TTÜ poolelt. Eesti poolt tehti 4 ettekannet, milliste põhjal järgnes koostöövõimaluste ja huvide arutelu. V. Leppikson üritas käivitada koostööd analoogskeemide simuleerimise valdkonnas, millest DIGSIM ei olnud eriti huvitatud. A. Keevalliku DILOS pakkus Rootsi poolele küll huvi, aga detailsemad arutelud lükati tulevikku. R. Raud pakkus kahte koostööobjekti: riistvara kirjeldamise keel HiDeLan ja riistvara arhitektuurid simuleerimise kiirendamiseks. HiDeLan, kuulus Euroopas loodud CONLAN[21]-keele perekonda, mis aga oli viimasel ajal kiiresti populaarsust kaotamas ameeriklaste poolt loodud uue VHDL[22]-keele kõrval. Seetõttu ei pakkunud HiDeLan rootslastele erilist huvi. Riistvaralise kiirendi osas järgnes hilisemal perioodil aga küll mõningane koostegevus.

Otsene huvi oli aga firmal DIGSIM elektronarvutite kateedris ja EKTA-s teoksil olevate diagnostika-alaste tulemuste suhtes. Ühises koosoleku memorandumis formuleeriti koguni 4 probleemi, milles oleks rootslastel soov asuda koos tegutsema: Turbo Tester, funktsionaalne kõrgtaseme testigeneraator, EKTA tester ja konverter Turbo Testri ühendamiseks DIXI-cad süsteemiga. Meie toodetega äri tegemise mõttes lõppes koosolek tegelikult negatiivse tulemusega. Eesti pool püüdis oma „poolikuid“ tooteid küll „sokutada“ firma DIGSIM abile lootes kuidagi Rootsi tööstusturule, aga DIGSIM hiilis igasugustest kohustustest ja lubadustest viisakalt kõrvale. Samal ajal leidis DIGSIM aga ise meis küll tänulikud vahendajad oma DIXI-cad tarkvara levitamiseks NSV Liidu firmadesse. Sõlmisime ka vastava kokkuleppe[23], mille järgi loovutati EKTA-le kolm koopiat DIXI-cad demo-varianti (aga mitte täisversioone).

---

[21] CONLAN – CONsensus LANguage.

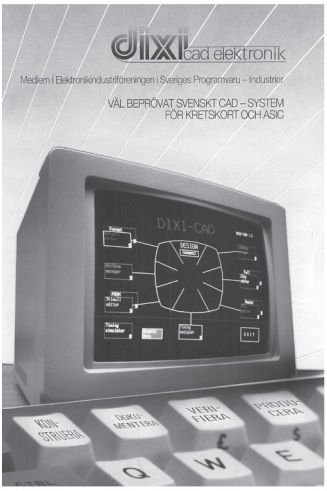
[22] VHDL – VHSIC (*Very High Speed Integrated Circuits*) *Hardware Description Language.*

[23] *Nonexclusive agreement.*

Küll aga hakkas arenema edukalt koostöö TTÜ ja DIGSIM-i vahel, mille esmaseks eesmärgiks oli ehitada konverter, mis võimaldas DIXI-cad graafilise redaktoriga arvutisse sisestatud skeemi sünteesida AG-mudeliks ja selle baasil genereerida Turbo Testriga automaatselt testprogramme. Kogu selle stsenaariumi kokkupanemisel oleks firma DIGSIM saanud endale väga võimsa ja tervikliku süsteemi, mille abil automatiseerida nii skeemide projekteerimist kui ka neile testide genereerimist. Sellise konverteri ehitaski peagi valmis **Villem Alango**.

> Järgnevalt toimus bartertehing, mis seisnes selles, et DIGSIM sai endale meie Turbo Testri, meie aga rootslastelt nende süsteemi DixiCAD. Tõsi, meile oli siiski tehtud teatavaid kitsendusi – me tohtisime seda süsteemi kasutada üksnes õppetöös, mis aga meid täielikult rahuldas.

Paralleelselt hakkasime realiseerima ka DIGSIM huvi kommertsialiseerida oma süsteemi NSV Liidus. Siit algas nüüd koguni neljapoolne koostöö DIGSIM-i, EKTA, TTÜ ja mingi valitud Venemaa firma vahel, kes oli huvitatud DIXI-cadi ostmisest. EKTA-st sai seega ühest küljest küll ainult vahendaja, aga selle vahendamise käigus loodi ka lisaväärtust konverterite ehitamise näol (analoogselt meie konverteriga, mille tegime DIGSIM-ile). Üheks niisuguseks neljandaks firmaks oli näiteks Teadus-tootmiskoondis НПО „ПЕРСЕЙ“, kellega EKTA lepingu sõlmis ja seejärel ka meiega.



DIXIcad – DIGSIM firmas välja töötatud disainitarkvara, mis „osteti“ kateedri poolt bartertehingu teel Turbo Testrit vastu andes.

Hiljem käivitus koostöö ka akseleraatorite teemal, kus EKTA kontaktisikuks oli **R. Raud**. Kellelgi oli tekkinud idee kasutada transpuutereid aparatuurse kiirendi ehitamiseks DIXI-cad simulaatorile, millest oli väga huvitatud nii DIGSIM kui ka üks „postkast“ Venemaal – „Kvant“. DIGSIM soovis eeskätt oma simulaatori tööd kiirendada, „Kvant“ aga unistas kiirest testigeneraatorist. Viimasega sõlmis EKTA lepingu vastava ülevaatelise uurimistöö läbiviimiseks, tehnilise ülesande koostamiseks ja majandusliku tasuvuse analüüsimiseks. Paralleelselt sõlmis EKTA ka elektronarvutite kateedriga lepingu sisulise töö alustamiseks, mille eesmärgiks oli ehitada transpuuteritel põhinev aparatuurne testigeneraator, mis pidi töötama AG-mudelil töötavate algoritmide järgi. Mõlemad lepingud sõlmiti 1990. aasta lõpul.

Projekt oleks plaanide järgi suurendanud DIXI-cad tootlikkust simuleerimisel 1-2 suurusjärku. Kiirendi pidi koosnema transpuutritega lisaplaadist, mis oli mõeldud personaalarvuti või tööjaama laiendamiseks ja vastavast paralleelsest programmvarustusest. Eeldatavaks tulemuseks pidi olema tulu 1-2 miljonit rootsi krooni aastas, võttes aluseks DIXI-cad turu suuruse Euroopas. EKTA ja TTÜ koostöös toimuva projekti juhtideks olid **V. Grigorenko** EKTA poolt ja **R. Ubar** TTÜ poolt. Projekti realiseerumine aga sõltus eeskätt finantseerimisest, mille pidi tagama Venemaa firma „Kvant“. Pärast postkastile saadetud aruannet, mis põhjendas projekti kasumlikkust ja prestiiži, jäi siiski jätk projektile tulemata.

Seoses kiirendi väljatöötamise plaaniga juhtus veel järgnev seik. Meile väga tuttav juhtimisarvutite firma ИНЭУМ[24] oli kusagilt haisu ninna saanud, et rootslased tahaksid

[24] ИНЭУМ – *Институт Электронных Управляющих Машин.*

saada oma simulaatorile aparatuurset kiirendit. Selles firmas aga just kiirendid olidki nende võtmetoodang. Nüüd saatsidki nad kohe meile ja rootslastele müügipakkumise emulaatori ЭМА 1810 kohta mikroprotsessorite KP 1810 baasil kaudse sõnumiga: „Ärge hakake vaeva nägema nende transpuuteritega, ostke parem meilt."

Loogikaskeemide tasemel olid meil testide genereerimiseks tööriistad juba olemas, aga keeruliste mikroprotsessorsüsteemide testide sünteesi tarkvara ei tahtnud kuidagi jalgu alla saada, aga ega seda probleemi ei osatud ka mujal maailmas kusagil lahendada. Meil oli siiski juba oma matemaatika tekkinud ja see motiveeris realiseerimist. Kuid aeg läks. Ja löögi all oli just EKTA, sest neid sidusid Moskva postkastidega lepingud ja tähtajad.

Kindlustamaks seljatagust võtsime ette keele väljatöötamise, mis oleks võimaldanud meie testritele ka käsitsi testprogrammide genereerimist ja kirjutamist. Nii töötatigi EKTA-s välja testide kirjeldamise keel EKTEL[25] võimaldamaks kirja panna digitaalsete objektide kontrollimiseks testimisprotseduure. Keeles EKTEL kirjeldatud testprotseduurid sisestati testri juhtarvutisse, kus need transleeriti ja seejärel saadeti edasi testrisse, kus toimus testprotseduuri läbiviimine. Siin oli meie eeskujuks analoogne testide kirjeldamise põhiprintsiip, mida kasutati firmas MEMBRAIN väljatöötatud keeles MEMTEST.

Minski personaalarvutite tehasega НИИЭВМ Valgevenes kulges meie ühine testri projekt koos EKTA-ga edukalt. EKTA ehitas valmis aparatuurse osa – arvuti CM-1800 poolt juhitava testri, mis töötas dialoogrežiimis. Valgevenelastel oli endil muidugi olemas üks tester УФК[26], mis aga oli juba amortiseerunud.

> Nüüd vaagis Minski arvutitehas mõnda aega, kas osta tester Itaalia firmalt Olivetti või anda meile Eestisse oma tellimustöö. Olin Nõukogude Liidus hästi tuntud, osakonna juhataja **A. Flerov** ja tema asetäitja **V. Sinelnikov** teadsid mind hästi, ja eks sellel tutvusel põhinev usaldusväärsus meie vastu vahest mõjutas ka minskilaste otsust. Võitsime meie itaallaste Olivetti ees – Olivetti oli liiga kallis, meie aga lisaks usaldusväärsusele ka odavad.

Lisaks tahtsid nad meie testprogramme kasutada ka omaenda testri peal (kindluse mõttes, arvatavasti), mille jaoks nad vajasid meilt eraldi projektina jällegi konverterit. Lepingud Minskiga tõid kateedrile jälle pisut lisaraha ja stimuleerisid jätkama ka meie teadusuuringuid, s.h. tudengite arendustöid. Muidugi oli tarvis aeg-ajalt käia Minski arvutite tehases meie testrit seadistamas, häälestamas ja eksperimente tegemas. Selles töös andsid suure panuse **Teet Evartson**, **Arvo Toomsalu** ja **Julia Dušina**.

TTÜ ülesandeks selles projektis oli ka funktsionaalsete testide projekteerimine. Teoreetilise tööna arendasime algoritme testprogrammide automatiseeritud sünteesi tarkvara loomiseks, praktilise osana aga töötasime välja konvertereid andmeformaatide sobitamiseks ja kirjutasime käsitsi testprogramme. Töö kulges Minskiga kuni 1991. aasta keskpaigani. Lõpuakti allakirjutamine aga venis, oma töötasu viimase osa saime kätte alles 23. detsembril 1991. Ei mäleta enam, milline oli nende kätte saadud rahade tõeline väärtus.

EKTA direktoriks oli **Kalju Leppik** ja teadusala direktoriks **Harry Tani**. Meie põhiliseks kontaktisikuks lepingute allakirjutamisel, koostöö organiseerimisel ja juhtimisel oli testrite osakonna peakonstruktor **Tõnu Lohuaru**. Teatud teemadel toimus meie koostöö EKTA-ga aga veel laiemaski plaanis. Nii näiteks transpuutrite teema puhul suhtlesime

[25] EKTEL – EKTA Test Language.
[26] УФК – *Утройство функционального контроля* .

masinprojekteerimise osakonna juhataja **V. Grigorenkoga** ja modelleerimisprobleemide alal peakonstruktor **R. Rauaga**.

Vastastikune huvi tekkis meil ka EKTA osakonnajuhataja **Ilmar Arroga**, hilisema kateedrijuhatajaga TTÜ-s, kelle vastutuse alla kuulusid signaalitöötlemise süsteemid. Sai ka üks tehniline ülesanne välja töötatud ühe 32-järgulise signaalitöötlusprotsessori testimiseks ja häälestamiseks, milles osales ka veel üks teine partner Harkovi firmast PROTON, aga mingitel põhjustel jäi see töö õhku rippuma. Ühelt poolt puudus huvi liiga laiali oma tegemistega minna, teiselt poolt aga rõhus peale ajapuudus.

Meeldejääv on üks seminar, mille EKTA korraldas 11.-15. mail 1987. aastal Viitnas, teemal *„Ülisuurte integraalskeemide projekteerimismeetodid"*, kus minagi tegin ettekande ja juhtisin ühte sektsiooni. Tuntumatest ja markantsematest külalistest olid seal **Samari Baranov** ja **J. Berg**. Baranoviga, kes praegu õpetab automaatide teooriat ja digitaaldisaini korraga nii Kanadas kui Iisraelis, kestavad meil töised sidemed tänaseni. Berg oli aga see mees, kes jutustas meile ühel õhtul saunalaval, kuidas toimus ühe tema kolleegi, vene insener-füüsikust spiooni, Rosenbergide[27] kontaktisiku, põgenemine USA-st läbi Mehhiko, Lõuna-Ameerika ja veel paljude teiste riikide Venemaale, kel õnnestus USA piir ületada vaid mõni päev enne seda, kui perekond Rosenbergid kinni võeti.

Lääne väravad avanevad

Koostöö elektronarvutite kateedri ja Rootsi firmaga DIGSIM läks tõsiselt käima 1989. aastal. Pärast **Bengt Magnhageni** külaskäiku EKTA-sse ja TTÜ-sse eelmisel aastal läks **Villem Alango** sinna vastuvisiidile firmaga lähemalt tutvuma, mille juures tegi ta väga asjalikku reklaami ka meie Turbo Testrile.

1989. a. mais läksime sinna mõlemad. Sõitsime rongiga Leningradi ja sealt lennukiga Stockholmi. Arlanda lennujaamas ootasid meid rongipiletid sõitmiseks Linköpingisse. Ega meil endal ju valuutat ei olnud. Kehtis veel rubla ja Rootsi kroone selle eest ei saanud. Elasime firma omaniku Bengt Magnhageni villas ja käisime tööl firma DIGSIM kontoris Mjärdevi Teaduspargis. Mäletan oma jalutuskäiku Bengti maja taha metsa. Oli kaunis päikesepaisteline päev, heitsin murule selili ja vaatlesin taevas liikumatult seisvaid valgeid pilverünkaid. Olin esimest korda elus Vabas Maailmas. Olin 48-aastane. *„Liiga hilja, et veel midagi tõsist ära teha,"* mõtlesin.

Firma oli väga huvitatud meie süsteemist, andis soovitusi, kuidas seda edasi arendada. Ja algaski koostöö, mille tulemusena valmis Villemil järgneva aasta jooksul uus versioon meie testi generaatorist Turbo Testri koosseisus, mis sai nimeks TGEN.[28] Samuti valmis peagi ka konverter Turbo Testri ühendamiseks rootslaste disainisüsteemiga DIXI-cad. Firma arvas, et meie generaatorit on võimalik hakata müüma koos nende süsteemiga Lääne turul ja võttis turu-uuringute ülesande enda peale. Müümisest küll asja millegipärast ei saanud, aga firma hakkas kasutama meie tarkvara oma konsultatsioonitegevuses: Turbo Tester osutus kasulikuks rootsi elektroonikainseneride õpetamisel sealses tööstuses.

Tänu koostööle firmaga DIGSIM ja Bengt Magnhageni kontaktidele Rootsi ülikoolidega ja tööstusega, õnnestus mul laiemalt jalg maha saada Rootsis. Tänu Bengti te-

[27] Julius ja Ethel Rosenbergid olid USA abielupaar, kes hukati elektritoolil süüdistatuna Nõukogude Liidu abistamises tuumapommi saamisel.

[28] TGEN – Testide generaator.

Stockholm 31 maj—1 juni 1989
NMP-Q
och
FFV Test Systems AB
DIPLOM
till
Raimund Ubar
för ett intressant och lärorikt
föredrag inom ämnesområdet
Nya testaspekter vid
konstruktion och produktion
av elektronik
Stockholm 1 juni 1989

Diplom ettekannete eest Rootsis

lefonikõnedele siia-sinna üle terve Rootsi, sain kutsed ettekandeid tegema meie töödest Linköpingi Ülikooli (prof. **Kris Kuchinski**), Stockholmi Kuninglikku Tehnikakõrgkooli (prof. **Carl Olov Stawström**), Göteborgi Tehnikaülikooli (prof. **Jan Torin**). 1989. aasta mai lõpul kutsuti mind esinema Stockholmis toimunud Rootsi elektroonikatööstuse testi- ja diagnostikaalasele konverentsile, kus minu kahte ettekannet „autasustati" rootsikeelse diplomiga.[29]

Mu ettekanne pakkus huvi testimisega tegeleva väga suure rootsi firmaga FFV Test Systems AB, kuhu mind kutsuti samuti ettekannet tegema. Suhtlesin firmaga veel hiljemgi, vahetasime informatsiooni, aga koostöö tekkimist segas firma kõrge salastatuse aste. Imestasin isegi, et mind firma ruumidesse üldse lubati ja isegi testimissüsteeme näidati – Eesti oli ju siis tegelikult üks osa Venemaast, kellega Rootsil mitte väga sõbralikud suhted ei olnud.

Reaalne töine kontakt tekkis hoopis firmaga SAAB AB, mis sest, et vaid „distantsilt", sest eks ka SAAB salastas ennast Venemaa eest. SAAB vajas oma süsteemide testimiseks testprogramme. Algul üritasime kolmepoolset töölepingut sõlmida: SAAB – DIGSIM – TTÜ, aga see ei õnnestunud Rootsi julgeolekukaalutlustel. Väljapääsuks jäi siis leping SAAB ja DIGSIMI vahel, mille teksti ma küll mitte kunagi pole näinud, aga mille raames DIGSIM pidi neid testprogramme SAAB-i jaoks projekteerima.

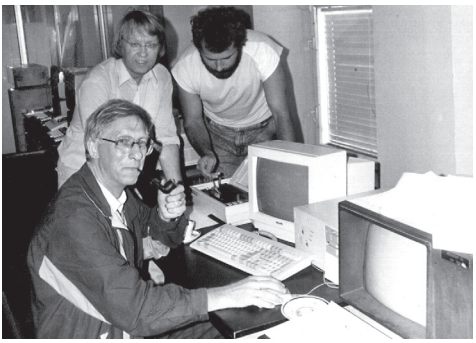
Testid tegin tegelikult valmis mina. Sain ka mõned sajad rootsi kroonid selle töö eest, aga ma ei usu, et nii väikeste summade peale kaks rootsi firmat hakkavad üldse lepingut sõlmima. Ei pidanud ka Bengt siiski piinlikkust tundma, kui mingit „vahendustasu" sai, sest elasin ju ikkagi tema maja keldri „Sheratonis" priikostil. Eks see oligi viis, kuidas me tookord algajatena rahvusvahelist koostööd tegime, äri ajasime ja „natuuras" tasu saime.

Ehkki töötasime rootslaste jaoks „võileivahindade tasandil", olime tänulikud ka selle võimaluse eest. Näiteks oli kateedrile hindamatuks väärtuseks personaalarvuti IBM/AT, mille meile ostis 17 tuhande SEK eest firma DIGSIM.

Tehes nüüd päris mitmel korral lühivisiite Rootsi nii firmasse DIGSIM **Bengt Magnhageni** juurde kui ka ülikoolidesse, kes neid sõite ka finantseerisid, kohtusime paljude toredate inimestega, kes olid mures sündmuste pärast, mis Eestis ja teistes Balti riikides toimusid. Väga sümpaatne kontakt tekkis mul prof. **Pelle Danielssoniga** Linköpingi ülikoolist, kelle juures ma ükskord ka mõneks päevaks öömaja sain. Meil arenes väga südamlik kirjavahetus, milles ma aeg-ajalt kirjeldasin ka seda, kuidas Eestis elu kulges. Üks väike lõik ühest mu kirjast oli selline:

„Dear Per-Erik! Thank you so much for your letter. We are deeply touched by your concern about our problems here in Estonia. /…/ In our department, particularly, we have another terrible problem: we cannot make the study attractive for students because of the lack of PCs. We have a lot of secondary schools in Estonia which have already had the possibility to establish computer classes with western computers (through direct support and help from West). No student who has had already access to IBM PC in the secondary school, cannot be taught any more on Soviet DVKs. I applied to our administration

[29] DIPLOM till Raimund Ubar för ett interessant och lärorikt föredrag inom ämnesomradet „Nya testaspekter".



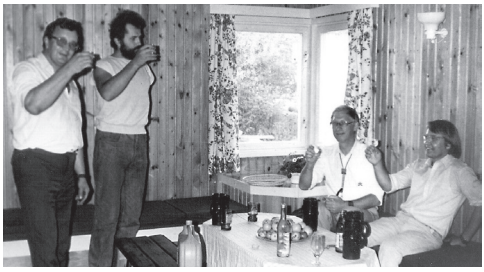
Visiidil firmasse DIGSIM Linköpingis. Vasakult firma president Bengt Magnhagen, Raimund Ubar ja Villem Alango.

and then to the Ministery with request to support our lab with buying 10 IBM PCs to have a possibility of teaching CAD, giving students some hands-on practice in design and test and inspiring them to start with research work, but in vain… /…/".

See kiri oli kaudne märguanne (mitte otsene, sõnades väljendatud palve), et „küll oleks hea, kui saaksite meid aidata". Ja **Pelle** märkas (!) seda märguannet… Sellest pisut hiljem.

Tööturu avamine Venemaal firma DIGSIM tootele DIXI-cad arenes päris hästi, ainult mina ei osanud seda vahendamistööd niiviisi korraldada, et sellest ka ise mingit tulu saada. Mul oli väga palju tutvusi NSV Liidus ja selle sidemete võrgu abil õnnestus mitmeid firmasid ja ülikoole Venemaal viia kontakti **Bengt Magnhageniga**. Näiteks väga suurtest ja mõjukatest firmadest, kes huvitusid kohe süsteemist DixiCAD, võiks nimetada НИИЦЭВТ Moskvas, „ГРАНИТ" Leningradis, НИИЭВМ Minskis…

Oleksin ju võinud hakata projektipõhist koostööd arendama väga laial nõukogude turul, aga mu sihid olid mujal – teaduses. Ei olnud huvi teisi teenindada, eesmärgiks oli ise midagi luua ja selle vastu mujal huvi tekitada. Samas kõik mu püüdlused jätkata Rootsi tööstusega loodud kontakte sealsete firmadega FFV Test Systems AB (**Ulf Bergqvist**), Ericsson AB (**Gunnar Carlsson**), Teli AB (**Sigward Carlsson**) jt. ei kandnud vilja. Neid oleksid huvitanud vaid väga konkreetsed ja kitsad teenused – sisuliselt allhange, mis aga jälle mind ei huvitanud. Tagantjärele mõtlen, et vahendamist Venemaaga oleks võinud ju ka nii kujundada, kus koos DIGSIM-i toodetega oleks lisaväärtusena ka midagi meie produktidest juurde läinud. Aga isegi kui siin oleks esialgu mingit edu olnud, oleks koostöö Venemaaga niikuinii peatselt katkenud. See selgus hiljem ka sellest, kuidas Bengti lootused Venemaa turgu vallutada tasapisi luhtusid. Eks ka Venemaa avanes ja sai õige pea teadlikuks, et tõeline arvutustehnika tuleb ikka Ameerikast ja õigeid kontakte tuleb sealt otsida.



Külas DIGSIM presidendi Magnhageni kodus. Vasakult Andres Keevallik, Villem, Bengt ja Raimund.

Tegelikult, mis puutub ülikooli, siis olime ju oma parima bartertehingu DIGSIM-iga juba teinud. See rootslaste tarkvara oli ju ikkagi väga kallis. Litsentside arv, mille meie ülikool sai, oleks maksma läinud umbes 300 tuhat eesti krooni. Nii et ikkagi õnnestus meil kaudselt Turbo Tester ä r a m ü ü a . See oli suur raha iseseisva Eesti algusaastatel. Aga Eestis meid ei märgatud, abi ei tulnud ja kogu arendustöö toimus üksnes tegijate fanatismist.

Rootsis sõlmisime järjest uusi kontakte nii Linköpingi Ülikooliga, Stockholmi Kuningliku Tehnoloogia Instituudiga kui ka firmaga Ericsson, kes meile hilisemal perioodil terve tööjaamade pargi kinkis. Mitmete fondide, näiteks Jonssoni fond, Swedish Institute jne. saime pidevalt stipendiume oma tudengite saatmiseks Rootsi. Rootsi instituudi ka-

hekuulist stipendiumi kasutasin 1991. a. ka ise töötamiseks Linköpingi ülikoolis. Olime seal kahekesi oma doktorandi **Märt Saareperaga**, kes oli seal omakorda Jonssoni fondi toetusel.

Kiri prorektorile

Nagu juba öeldud, meil puudus korralik labor arvutite diagnostika õpetamiseks. Nüüd Turbo Testri näol koos Rootsist saadud disainitarkvaraga DIXI-cad oleks meil „sisu" olemas olnud, puudus ainult „vorm" – arvutid. Pöördusin korduvalt ülikooli juhtkonna poole, kirjutasin kirju Haridusministeeriumisse toetuse saamiseks, et rajada vajalikku arvutiklassi. Olukord oli tragikoomiline: oli arvutite kateeder, aga kateedris polnud arvuteid.

Õppemikroarvutid Mikrolab, millel koostati lihtsaid assemblerprogramme. Väga halva konstruktsiooniga – emaplaat otse toiteploki peal. Laborite tegemine oli tudengitele loterii: mõned arvutid töötasid algul, aga siis ütlesid üles, teised arvutid aga „kogusid mõnda aega hoogu", enne kui üldse tööle hakkasid.

Väliseestlased kinkisid moodsaid USA personaalarvuteid eesti koolidele, aga Tehnikaülikoolis seisid endiselt aegunud vanad vene kastid. Eestit toetati palju sel ajal välismaalt, eriliselt just Tartu Ülikooli, eeskätt rahvusteaduste arendamise ja rahvusliku iseteadvuse tõstmise eesmärgil.

Inseneriharidus ei huvitanud kedagi. Eesti humanitaarid olid võtmepositsioonidel mitte üksnes otsese abi saamisel Eestit toetavatelt välisriikidelt, vaid ka siseriiklikul tasandil, kus otsustati toetusrahade liikumist eri valdkondades.

Taotlesin kord (1991. aasta algul) üsna väikest ühekordset toetust **Avatud Eesti Fondilt** seoses osalemisega Üle-Euroopalisel tehnilise diagnostika konverentsil Münchenis. Märkisin taotluses, et esinen ettekandega, et see on tähtsaim konverents minu erialal, et mul ei ole veel kunagi õnnestunud esineda oma erialakonverentsidel Läänes, et loen oma tulemusi väga kaalukateks ka Eesti tööstust silmas pidades, mis aga vajab otsest kontakti Lääne tippasjatundjatega, et see välislähetus annaks võimaluse luua hulgaliselt kontakte Eesti teaduse ja tööstuse huvides, et reisi tulemused omaksid väga suurt tähtsust eesti kõrgtehnoloogia väljaarendamise seisukohast. Ja ma vajasin kõigest 600-700 dollarit.

Fondi tegevdirektor proua **Mall Hellam** vastas: *„Kahjuks on Teie taotlus väga kitsalt erialane ja ei lange suuremas osas kokku meie fondi töö spetsiifikaga. Seetõttu pole meil kahjuks, arvesse võttes meie rahaliste vahendite piiratust, võimalik Teid aidata."*

Õppetöö arendamise eesmärgil kateedris panin suure rõhu ja lootused Turbo Testrile ning selle ümber kujundatavale originaalsele diagnostikakursusele, millise idee realiseerimiseks oleks kindlasti vaja olnud spetsialiseeritud personaalarvutite klassi. Oma taotlustes

viitasin Turbo Testrile kui „tõestusmaterjalile“, näitamaks kui võimekad me noored on ja et teeme ka ise midagi ega ei küsi ainult. Rääkisin plaanidest juurutada Turbo Tester õppetöösse ja rajada labor, mis oleks ainulaadne maailmas. Viitasin võimalusele tõsta niiviisi ülikooli rahvusvahelist renomeed. Viitasin töösidemetele nii N Liidus kui ka Saksamaal, mis oleksid tulevase rahvusvahelise edu katalüsaatoriks.

Ja nõnda sündis ka niisugune TTÜ õppeprorektorile saadetud kiri (siin lühendatult):

„Lp. TTÜ prorektor!

Tundes muret mitte üksnes TTÜs koolitatavate arvutiinseneride hariduse kvaliteedi, vaid ka kogu Eesti kõrgtehnoloogia arenguperspektiivide pärast, otsustasin Teid informeerida õhus olevatest teravatest probleemidest ja paluda rektoraadi kaasabi nende lahendamisel.

Üheks määravaks tendentsiks kõrgtehnoloogia arengus on täna elektroonikaseadmete projekteerimisega seotud töö nihkumine traditsiooniliselt füüsiliste makettide tasandilt arvutite ekraanide taha. /…/ Niisuguste töötajate hulk ja oskused hakkavad otsustavalt määrama riigi konkurentsivõimet kogu majanduses.

On palju räägitud sellest, et Eesti perspektiiv seisneb mitte tooraine- ja kütusemahuka tootmise arendamises, vaid eeskätt eelduste loomises kõrge lisandväärtusega teadusmahuka toodangu tekkimiseks. /…/ Eestile on tingimata vaja mitte ainult tarkvara spetsialiste, vaid ka insenere, kes oskaksid projekteerida koos mõlemat, nii riist- kui tarkvara mitmesuguste süsteemide ja protsesside juhtimiseks kõikvõimalikes rahvamajandusharudes. Just digitaalelektroonika on see, millele hakkab rajanema tänapäeva innovatsioonipoliitika. /…/.

1. *Elektronarvutite kateedris on saavutatud üleliiduliselt ja rahvusvaheliselt kõrgelt tunnustatud teadustöö tase antud alal, milles rõhutaksin osavõttu ja liidripositsiooni mainekates koostööprojektides partneritega nii NSV Liidus kui raja taga. Näiteks on meie kateeder valitud personaalarvuti IBM PC/AT kodumaise analoogi väljatöötajate hulka NSV Liidu juhtivas arvutifirmas. Valiku aluseks on saanud kateedris väljatöötatud originaalne diagnostikameetod, mida eelistati teistele valida olnud meetoditele nii NSV Liidus kui raja taga. Saavutatud teadustöö tase ja kateedri reputatsioon peaksid olema garantiiks kateedri kompetentsuse kohta.*
2. *Rahvusvahelise koostöö tulemusena Rootsi firmaga DIGSIM on välja töötatud ühine produkt – masinprojekteerimissüsteem, milles on integreeritud Läänes laia leviku leidnud tarkvarasüsteem DIXI-cad ja kateedris väljatöötatud diagnostikasüsteem Turbo Tester. Kogu komplekt on installeeritud ka kateedris. Tervikuna kujutab see süsteem endast „tööriistade kogumit“, mis võimaldab asendada füüsilist maketeerimist eksperimenteerimisega arvutiekraani taga. Edasised arendustööd selle süsteemi kallal on üheks kateedri teadustöö suunaks.*
3. *Nimetatud süsteemi baasil oleks võimalik: (1) organiseerida kaasaegsel tasemel õppetööd ja praktikume nii TTÜ üliõpilastele kui ka inseneridele tööstusest kvalifikatsiooni tõstmise eesmärgil; (2) pakkuda välja kaasaegsel tasemel töö- ja õppevõimalusi välisüliõpilastele, toetudes kateedri teaduspotentsiaalile, mis tõstaks ülikooli rahvusvahelist prestiiži ja looks paremad võimalused üliõpilasvahetuseks.*

Eespool kirjeldatud potentsiaali realiseerimisele töötavad vastu järgmised faktorid.

1. *Kateedri üldine tehniline baas on amortiseerunud. Kodumaistele arvutitele DVK-2 ja DVK-3 rajatud õppeklass võimaldab läbi viia üksnes programmeerimisalaseid algkursusi.*
2. *Kateedri teadusalane potentsiaal, saavutatud tulemused ja rahvusvaheline tuntus on tugevas vasturäägivuses kateedri tehnilise baasi tasemega. See on saanud piduriks edasisele arengule ja väga raskeks hakkab saama andekate noorteaduride kaasamine kateedri teadustöösse.*
3. *Põhiprobleem ülikooliõppe seisukohast, milles seisneb ka käesoleva pöördumise ajend, on siiski selles, et vajaliku tehnilise baasi puudumise tõttu ei ole võimalik kateedri õpetamispotentsiaali (eelpool loetletud teadustulemusi) rakendada õppetöösse.*
4. *Ja lõpuks, veel üks mõtlema panev ja ärevaks tegev signaal. Tänu mitmesugustele (ka isiklikele) välissidemetele on paljud üldhariduslikud koolid saanud (mõnel juhul isegi väga rikkalikult)*

varustatuks Lääne arvutustehnikaga, mistõttu ülikooli astujate arvutioskuste tase on täna võrreldamatult kõrgem kui see oli veel 4-5 aastat tagasi. Ja see puudutab juba tõsiselt ülikooli prestiiži, kui noort üliõpilast laboris ootav tehniline baas on nõrgem kooli omast, kus too äsja õppinud oli.

Ülaltoodu peaks olema piisavaks põhjenduseks, et taotleda ülikooli administratsioonilt toetust (nt vastavasisulist pöördumist valitsuse poole) olukorra parandamiseks.

Konkreetselt oleks vaja rajada digitaalelektroonika masinprojekteerimise õpetamisele suunatud arvutiklass, mis koosneks 8-10-st IBM PC/AT tüüpi arvutist ja vähemalt ühest SUN-4 tüüpi tööjaamast. Komplekti orienteeruv maksumus oleks 600-800 tuh. rbl. (35-45 tuh. dollarit).

Sellise klassi olemasolu arvutite kateedri juures koos juba olemasoleva tarkvaraga võimaldaks saavutada järgmisi tulemusi:

1. *Läbi viia õppetööd kõige kaasaegsemal tasemel vähemalt 5-6 arvutustehnika ja elektroonikaalaste kursuste jaoks, kus praegu nõuetele vastav laboratoorne baas puudub.*
2. *Läbi viia tänapäevaseid elektroonika masinprojekteerimise kursusi ka teistele teaduskondadele.*
3. *Luua lokaalne arvutivõrk, juurutades õppetöösse kaasaegsetes võrkudes kasutatavaid tarkvarasüsteeme, millised on kateedril juba olemas, kuid kasutamiseks puuduvad võimalused.*
4. *Ühendada kateedri teadustöö vahetult õppetööga, juurutades iga uue teadustulemuse katsetamise eesmärgil ka õppetöösse.*
5. *Viia teadustöö tegemise võimalus sisuliselt iga üliõpilaseni kateedris, tõstes niiviisi kardinaalselt õppetöö kvaliteeti ja motivatsiooni õppimiseks.*
6. *Kateedris väljatöötatud masinprojekteerimissüsteemi laiema levitamise korral oleks võimalik selles klassis organiseerida väljaõpet tööstusinseneridele.*
7. *Pakkuda välja töö ja õppimisvõimalusi välistudengitele ja kraadiõppuritele teistest välisülikoolidest, mis tõstaks ülikooli rahvusvahelist prestiiži ja looks arvestatavad eeldused rahvusvahelise koostöö laiendamiseks.*

Elektronarvutite kateedri juhataja, prof. ***R. Ubar****."*

Kahjuks ei võetud kirja autoriga isegi kontakti täiendavaks asjaoludega tutvumiseks, rääkimata ülikoolipoolse finantsabi või lihtsalt moraalse toe pakkumisest. Aga jah, eks aeg oli selline. Ees seisid hoopis koondamised ülikoolis.

Samas mõjus hoopis üllatavalt moel mu kiri prof. **Pelle Danielssonile** Rootsis, kellele ma umbes sarnase „olukirjelduse" meie kateedri elust saatsin nagu meie prorektorilegi. Kui seejärel mõne aja pärast oma kateedri 25-ndat juubelit tähistasime, siis saabusid meile ootamatult ka „kontvõõrad" – külalised Linköpingi ülikoolist Pelle Danielsson ja **Kjell Jonasson**, kes andsid meile üle ülikooli kingituse – viis IBM personaalarvutit – ehk siis tervelt pool (!) arvutiklassist, mille eest ma Eestis terve aasta olin „võidelnud".

25. juubel

Arvutipäevade traditsioonist

TTÜ automaatika kateedril on olnud suurepärane traditsioon: igal aastal on nad korraldanud automaatika päeva, kus kutsutakse kokku vilistlased, räägitakse kateedri ja eriala päevaseisust ja meenutatakse möödunud aega. Elektronarvutite kateeder ei ole küll niisugust iga-aastast traditsiooni sisse viinud, aga esimese 25 eksisteerimise aasta jooksul on siiski ära peetud koguni 12 arvutipäeva. Järgnevalt mõned tagasivaated osale nendest.

Üks esimesi arvutipäevi toimus 25. märtsil 1977. a. Hommikul kell 10 toimus ametlik osa ülikooli aulas, kuulati ettekandeid arvutustehnika päevaprobleemidest vabariigi juh-

tivatelt spetsialistidelt. Õhtul aga jätkati pidupäeva vabamas vormis Pirita tee kohvikus Tuljak. Osavõtumaks oli 6 rubla.

Meie 7. erialakokkutulek – Arvutipäev '82 – toimus 9. aprillil 1982. Kateedri saavutustest ja tulevikuplaanidest rääkis kateedrijuhataja **Andres Keevallik**. Õhtul jätkus pidu hiliste tundideni restoranis Kännu Kukk Mustamäel. Vahepeal oli toimunud ilmselt rubla devalvatsioon, sest osavõtumaksuks oli juba 7 rubla. Kuid kompensatsiooniks lubati kaasa võtta abikaasad.

Arvutipäev '83 toimus 8. aprillil, kus peale kateedrijuhataja võtsid sõna TPI rektor akadeemik **Boris Tamm**, kes rääkis arvutite V põlvkonnast (see oli popp teema neil päevil), ja Küberneetika Instituudi EKTA teadusdirektor **Harry Tani**, kes rääkis mikroarvutustehnikast. Tanil oli, mida jutustada, sest selleks ajaks oli ta oma kätega valmis ehitanud mikroarvuti Lääne-Saksamaalt toodud mikroskeemidest.

Arvutipäev '89 leidis aset samuti aprillis, 7. kuupäeval, päevase osaga TPI aulas ja õhtuse peoga Glehni lossis. Külalisena esines akadeemik **Endel Lippmaa**, kes rääkis arvutustehnika kasutamisest tänapäeva füüsikas. Edasi jagas **Ustus Agur** oma teadmisi ühiskonna informatiseerumisest ja IME infopoliitikast ning seejärel tutvustas **Raimund Ubar**, mis on LsSD ja tutvustas uutmise problemaatikat arvutustehnika disainis.

25 aasta möödumist arvutite eriala ja kateedri loomisest tähistati arvutipäevaga 1991 aastal. Tõsi, kateedri nimetused olid vahepeal mitmel korral transformeerunud. Kui algne nimetus oli *arvutus- ja informatsiooniseadmete* kateeder, siis pisut hiljem saime nimeks – *informatsioonitehnika* kateeder ja veel hiljem – *elektronarvutite* kateeder. Eriala algas selle asutamise hetkel nimetusega *arvutustehnika seadmed* (0608), aga esimese lennu lõpetajad (1971) said oma diplomile juba erialaks – *elektronarvutid*. See nimetus püsis kuni viimase ajani. Alates 1991 lõpetavad meie tudengid ülikooli erialal *arvutid ja arvutivõrgud*.

Arvutipäeva '91 alustas kateedrijuhataja Raimund Ubar järgmiste sõnadega:

„Kallid vilistlased, minu endised ja praegused õpilased, kolleegid, kallid külalised. Mul on suur rõõm tervitada teid kõiki arvutite kateedri juubeli puhul. 25 aastat oleme Eestile arvutiala insenere ette valmistanud.

*Mul on hea meel näha siin saalis külalisi asutustest, kellega kateedril on pikka aega tihe side olnud: Küberneetika Instituudist, Arvutustehnika EKB-st... Eriti meeldiv on aga tervitada meie aukülalisi Rootsist, Linköpingi Ülikoolist, härrasid professoreid **Pelle Danielssoni** ja **Kjell Jonassoni**, kes võtsid selle pika reisi Rootsist Eestisse ette selleks, et meile hindamatu juubelikingitus üle anda – viie (!) arvuti näol.*

25 aastat on tükike ajalugu, millest võiks raamatu[30] kirjutada. Olgu see siis kroonika, monograafia või seiklusromaani vormis. Meie kateedrist saaks kõigele ainet.

*Tänase kokkutuleku eesmärgiks ongi taaselustada neid 5-aastaseid tudengielu perioode, mis meid on kateedriga sidunud. Oma panuse selleks annavad tänased esinejad, teile kõigile suurepäraselt tuntud härrad – **Ustus Agur**, **Andri Ariste**, **Andres Keevallik**. Praeguse kateedrijuhatajana püüan teid traditsiooniliselt lõpuks tutvustada kateedri praeguse seisuga ja tuleviku perspektiividega.*

Sellest 25-st aastast oleme 9/10 veetnud küllaltki stabiilses ja rahulikus rütmis. Viimane kümnendik on aga raputanud meid korralikult. Oleme täna justkui tõmbetuules, nii nagu kogu Eestimaagi. Võibolla küsimus „mis saab homme meie kateedrist?" ei kuulugi enam kateedri enda kompetentsi. Mis oleks aga veel tähtsam, kui just seda küsimust täna arutada, nii selles saalis siin kui ka jätkuval õhtusel koosviibimisel.

Soovin meeldivat koosviibimist kõigile!"

Avamisele järgnesid kolme kateedrijuhataja meenutused oma juhiks olemise perioodist.

[30] Selle raamatu (käesolevate ridade) avaldamiseni kulus aga veel üks „juubelitäis" aastaid.

Ustus Agur: Meenutusi elektronarvutite kateedri sünnist

Ustus Agur (1. kateedri juhataja)

TPI arvutikateeder sündis küllaltki iseäralikes tingimustes. Alustada tuleks sellest, et TPI jäi stardis lootusetult maha. Tartu Ülikoolis alustati programmeerimise õpetamist juba 50-ndate aastate keskel, kümnendi lõpul aga hangiti esimene seeriaarvuti. TPI ärkas alles 60-ndate aastate esimesel poolel, sedagi tartlaste tugeval toel (**Leo Võhandu** esimesed programmeerimiskursused, tema ning teiste tartlaste tulek TPI-sse käivitamaks andmetöötlusspetside koolitust).

Arvutierialade õpetamine tehnikateaduskonnas algas mitmeid aastaid hiljem kui Läti ja Leedu tehnikakõrgkoolides, Moskvast-Leningradist rääkimata. Et olime surutud üleliiduliste tüüpõppeplaanide raudsete tangide vahele, valiti sealt kaks eriala – 0608 (*elektronarvutid*) ja 0640 (*informatsioonitehnika* – tegelik nimi oli hoopis pikem ja kohmakam). Ühtlasi peeti otstarbekaks luua uus kateeder just nimelt teisena nimetatud eriala baasiks, jättes *arvutitehnika* automaatikute kureerida. Uue kateedri rajamise ettepanek tehti tugevvoolukateedri õppejõule, kelle arvutustehnika alane ettevalmistus oli üpris küsitav – teada oli vaid, et ta oli kirjutanud arvutitest populaarteadusliku raamatu ning oma väitekirja valmimisel kasutanud ning ka ise ehitanud analoogarvuti (praegu vist ei teatagi enam, mis asi see analoogarvuti oli). Lisaks oli tal suhteliselt lai silmaring informatsiooni küsimustes ning mõningane pedagoogi kogemus – see kõik arvati olevat piisav alus.

Samal ajal kujutas igaüks selle „informatsioonitehnika" sisu ette erinevalt – seda ka üleliidulises metoodikakomisjonis: üks pidas seda raamatukogu- ja infotöötajate koolitamise alaks, teine hoopis tehnoloogiliste mõõtesüsteemide projekteerijate kasvulavaks, kolmas tegi kramplikke katseid leida neis valdkondades ühisalust. Sellesse segaputru sattus niisiis uus kateeder koos oma juhatajaga. Et kateedri rajamine langes ühte esmakursuslaste vastuvõtuga, polnud esimestel aastatel lootustki anda õppejõududele vähegi tõsisemat erialakoormust. Seepärast oli esimestel aastatel hoopis rohkem tegemist augutäiteks antud lisakoormusega – üldelektrotehnika õpetamisega keemikutele, ehitajatele jne. Selle kõrvalt õnnestus siiski pöörata pisut tähelepanu infovaldkonnale, ise õppida ja pisut õpetada infosüsteemide talitluse ja kavandamise aluseid. Et see nõrga kodumaise riistvara tõttu jäi suurel määral tühjaks tööks, on omaette lugu. Siiski on infotehnika eriala esimestest vastuvõttudest tulnud üllatavalt palju tublisid proffe, kes on endale nime teinud teadlastena, õppejõududena, infosüsteeemide projekteerijatena ja mänedžeridena. Lohutan ennast mõttega, et ehk oli TPI-s saadud ettevalmistuse lünklikkusest ja ebamäärasusest isegi kasu; ehk ärgitas see seda agaramalt otsima endale isikupärast kindlamat jalgealust.

Võttis mitmeid aastaid, enne kui tehti ainuõige otsus – likvideerida ebamäärane „infotehnika" eriala ning koondada kateedrisse puhtalt arvutustehniline ettevalmistus. Sellest algas kateedri ja eriala arengu uus etapp, mida pärast nende ridade kirjutajat on üliedukalt juhtinud teised mehed. Kunagi aga ehk leidub mahti veelkord tagasi pöörduda algusaastate juurde, läbi kaevates Tehnikaülikooli arhiivi ning isikliku paberi-kultuurikihi. Ehk leidub seal veel midagi õpetlikku mitte üksnes ajaloolaste jaoks.[31]

31 Kahjuks jäi see töö Ustus Aguril tegemata, ta lahkus meie seast oma sünnipäeval 1. jaanuaril 1997.

Andres Keevallik: Teel akadeemilisele vabadusele[32]

Andres Keevallik (2. kateedri juhataja)

Vaadates tagasi elektronarvutite kateedris töötatud aastatele, analüüsides olnut ja hinnates tänapäeva, taban end üha sagedamini mõttelt, et üks olulisim eeldus normaalseks tööks ülikoolis on õppejõu akadeemiline vabadus.

Akadeemilise vabaduse mõiste juurde kuulub ennekõike see, et õppejõud on piisavalt hästi materiaalselt kindlustatud, et pühendada end praktiliselt jäägitult õppe- ja teadustööle. Akadeemiline vabadus on eelduseks kõrgele professionaalsusele, temaga kuuluvad kokku aatelisus ja inimlikkus. Maailmas on riike, kus akadeemilise vabaduse rõhutamiseks on õppejõududel keelatud mistahes ülikooliväline teenistus, sealhulgas isegi erialased konsultatsioonid. Kui siia juurde lisada, et meie õppejõu auditoorne koormus häbematult väikese palga juures on 3-5 korda kõrgem kui tema kolleegidel arenenud riikide ülikoolides ja et meil reeglina puuduvad ka efektiivsed tehnilised vahendid oma töö tegemiseks ja korraldamiseks, saab selgeks, et õppejõu akadeemilisest vabadusest meie ülikoolide puhul üldjuhul rääkida ei saa. Tõsi, meil on end täielikult õppetööle pühendanud inimesi, kuid reeglina suudavad nad seda suurte loobumiste hinnaga.

Võimalik, et viie-kuuekümnendatel aastatel, kui pandi alus meie ülikoolidele uutes oludes, oli olukord materiaalsete eelduste osas veidi parem, kuid käesoleva perioodi iseloomustamiseks ei leia ma pehmemat sõna kui „katastroofiline“. Sellises olukorras kannatab loomulikult õpetamise kvaliteet, kannatab üliõpilane, kannatab ülikooli lõpetanute tase.

Eelöeldule tuginedes tahan ma täie selgusega öelda, et me oleme olnud, oleme ja jääme tõenäoliselt veel küllalt pikaks ajaks võlglasteks oma üliõpilaste ees. Ei aita siin ülikooli töö ümberkorraldamine lääne malli järgi (kuigi ka seda tuleb teha), ega mõnevõrra parem laboratoorne baas – senikaua, kui meid ümbritseb vaesus, pole põhimõttelist murrangut loota. Tuleb endale aru anda, et kõrgetasemeline haridus on alati olnud ja on ka tänapäeval väga kallis, ent ka väga tasuv ettevõtmine. Riik, kes ei saa või ei taha seda mõista, on määratud mandumisele. Ma rõhutan siin teadlikult just riigi osa, sest ülikoolil endal on väga piiratud võimalused olukorra parandamiseks. Tahaks loota, et Eesti riik kasvab haridust väärtustavaks, et asjade praegune seis on tingitud võimaluste puudumisest.

Läbi aegade on meil õnneks olnud üliõpilasi, kes olusid trotsides on püüdnud ja ka jõudnud tõeliselt heale tasemele. See on olnud eriline inimtüüp, kes on suutnud tuld võtta ja vaimustuda, kes on alati leidnud võimaluse end arendada, kes oma taseme ja nõudmistega on sundinud ka õppejõude ennast rohkem pingutama. Kateedrit juhtides tundsin ma kõige suuremat rõõmu just sellistest üliõpilastest. 4-5 head lõpetajat aastas oli meie oludes korralik tulemus, seda enam, et rohkematele polnud lihtne leida ka tõeliselt sisukat erialast tööd. Tänu neile lõpetajatele, aga ka tänu neile, kes on pärast kõrgkooli edasi õppinud ja arenenud, on meil Eestis küllaltki korralik arvutiinseneride kaader.

[32] Elektronarvutite kateedri teise juhataja (1977-1987) kõne.

Hinnates elektronarvutite kateedri õpetamise taset, peab tõele au andes ütlema, et teoreetiline väljaõpe on meil olnud küllaltki kõrge, mõningatel juhtudel ka täiesti selgelt maailmatasemel. Raskusi on laboratoorse baasi nõrkuse tõttu olnud praktiliste oskuste andmisega. Ent siin on meid tublisti aidanud koopereerumine uurimisasutuste ja jõukamate firmadega, kus meie tudengid on saanud praktiseerida. Meie parimad lõpetajad on toodetud kahasse TA instituutide ja arvutuskeskustega.

Olen kateedris koos töötanud oma erialasse ja töösse kiindunud kolleegidega, kes on olnud ausad nii oma töö kui üliõpilaste vastu. Nendega, kes raskusi trotsides on jõudnud heale erialasele ja pedagoogilisele tasemele ja kes on ilmutanud arusaamist ja inimlikkust ka väga rasketes olukordades. Ent on olnud ka neid, kelle pärast on olnud piinlik üliõpilaste ees, kelle koht ei oleks tohtinud olla ülikoolis. Arvan, et õppejõudude koosseisu ühtlustamine tippude suunas on ka praegu kateedri ees seisvatest ülesannetest üks olulisemaid.

Soovides kateedrile edu akadeemilise vabaduse raskel teel, tahan ma ühtlasi loota, et me kõik koos – lõpetanud, üliõpilased ja õppejõud – töötame missioonitundega ühiste eesmärkide nimel, oma professiooni viimisel väärikale kohale meie ühiskonnas.

Raimund Ubar: Arvutikateeder 25[33]

Raimund Ubar (3. kateedri juhataja)

25 aastat ühe organisatsiooni ajalugu peaks olema piisav ajavahemik, et ühiskonnas oma roll haarata ja seda edukalt täitma hakata. Ei ütleks, et meie kateeder sellega täielikult hakkama oleks saanud, sest maalapp, mida künname, on nagu Saaremaa kivine pinnas. Nii õpetamise objekt kui ka subjekt on liiga erilised, et traditsiooniliste mõõdupuudega asjale läheneda.

Viimase 30 aasta jooksul on arvutite jõudlus suurenenud 6 suurusjärgu võrra. Sama palju on vähenenud nende hind. Sellise progressi analoogi ei leia kusagilt mujalt. Enesestmõistetavalt on ka teooriad ja tõekspidamised iga uue suurusjärgu tulekul kardinaalselt vahetunud. Meie ala iseloomustab lakkamatu võidujooks info järele. Raske on selles jooksus kaasas püsida. Aga kerge sisse lülituda. Algajale teeb see asja põnevaks. Sest ka I kursuse tudeng leiab juba mõndagi oma professorile õpetada. Kas on see võimalik füüsikas, meditsiinis, geoloogias? Arvutite alal elujõulist klassikat ei jõua tekkida. Klassika, vaevalt tekkinud, satub muuseumi.

Me kasvatame inimesi, kes oma töös muutuvad asendamatuteks. Kui nad juhtuvad olema andekad, siis nende töö efektiivsus andetute suhtes olevat 30-kordne[34] (vähe on alasid, kus inimeste võimete vahel võib olla nii suur erinevus). Õpetamise organiseerimine sellisel laial skaalal on üsna suur kunst.

Ja ometigi otsib meie kateeder oma rolli ühiskonnas. Oleme arvutustehnikas kohutavalt palju maas muust maailmast. Import ei paranda mahajäämust, sest laiemas plaanis jõuab meieni vananenud tase. Õnnelikumaid uusima tehnika omanikke vallutab tihti võlts üleolekutunne, mis soodustab vaid jahti impordile ja millele lisandub nihilistlik sei-

[33] Elektronarvutite kateedri kolmanda juhataja (1987-1992) kõne.

[34] Hollandi arvutiteadlane E.W. Dijkstra on öelnud, et andeka ja andetu programmeerija võimete erinevus võib ulatuda 30-kordseks.

sukoht: Eesti olevat liiga väike, et siin midagi i s e luua, vähemasti arvutite alal. See pole aga täpselt nii. Pealegi on ülikool lausa kohustatud teisiti mõtlema. Ja arvutite kateedril on missioon, mida keegi teine täita ei saa – anda kõrgharidust arvutite alal. Kõrgharidus ei ole teadmiste vaip, mis katab ühtlase paksusega kõik selle, mis arvutitesse puutub. Pigemini on see atmosfäär, kus peaksid idanema loov mõtlemine, sügavikku tungiv uurimine, tippu pürgivad ideed ja ambitsioonid.

Ja siin on ka üks Eesti šansse kogu maailma tööjaotuses – ideede eksport. See ei nõua mahuka tooraine importi.

Arvutustehnika areneb nii kiiresti, sest ta projekteerimine ja tootmine on automatiseeritud. Tootmises maailmaga kaasa rääkida me ei suuda. Küll aga võiksime oma koha leida disainerite keskel. Ja miks ka mitte tase kõrgemal – automatiseerimisvahendite loomisel. Selle ala inimesed on mujal maailmas hinnatud. Aga et sinna maailma ideede eksportijatena pääseda, peab meil olema midagi, millega üllatada. Peab olema originaalseid ideesid, mille pinnaseks saab olla vaid kõrgharidus. Traditsiooniline info, tavatarkus, võivad olla ja peavad olema, aga müüa neid ei saa.

Ja siit tulenevad ka meie kateedri ülesanded. Koos võimalikult laiade teadmiste andmisega arvutite alal püüame arendada loomingulist õhkkonda teatud kitsamate, aga väga aktuaalsete probleemide uurimisel ja õppimisel. Nendeks on arvutite masinprojekteerimine (disain) ja diagnostika. Just nendel aladel arendame oma kateedris teooriat ja loome originaaltarkvara, kusjuures selles töös osalevad ka tudengid, vahel juba esimesest kursusest alates. Meie tulemusi tuntakse raja taga. Meilt käiakse õppimas ja meid kutsutakse tööle ning õpetama teistesse riikidesse.

Et saada keskmiseks heaks inseneriks, ei pea arvutiala õppima tingimata ülikoolis. Arvuteid ja selle ala praktikuid on kõikjal juba nii palju, et kooli funktsioonid on väljunud koolimaja seinte vahelt. Aga elu on liiga konkreetne ja elutarkus on vaid empiiriline. Midagi jääb selles tarkuses kindlasti vajaka – just see, mida võib anda üksnes ülikool.

Harri Mägi: Kateedri kroonika suurte muutuste aastatel 1987-1992

1987/88. Koosolek 23.02. Osavõtjad: Keevallik, Mägi, Kitsnik, Toomsalu, Viies, Evartson, Grigorjeva, Kruus, Berkman, Tammemäe, Kuuskor, Sisask; aspirandid Alango, Kont, Salum; juhatas Ubar, protokollis Saar. Keevallik: ettekanne väliskomandeeringust Karlsruhe ülikooli. Harri Mägi: aruanne stažeerimisest LETI-s, teeb ettepaneku hakata kasutama õppetöös mikroprotsessorite komplekti K1810. Vladimir Viies: ettekanne süvendatud õpperühma moodustamisest, *ca* 6 tundi nädalas; lisaaineteks võiksid olla: automaatprojekteerimine, tehnilise diagnostika alused, mikroprotsessorsüsteemide (MP) projekteerimine, kujundite tuvastamine.

07.04. Eriala koondeksamist (Siem): viidi läbi 10. semestril – nii kirjalik kui suuline; 17 sooritanust said 6 tudengit hinde „5“, 8 tudengit „3“, kirjaliku eksami sai „2“ kaks tudengit. Matemaatika erirühmast ja individuaalprogrammidele üleminekust III ja IV kursusel (Viies): ained, millest üliõpilane vabastatakse, kooskõlastatakse vastava õppejõuga. Arvutipäevast (Kitsnik). Viies teeb ettepaneku eriala koondeksami nihutamiseks 9. semestrile. Leis soovitab kateedri nimetuseks „Elektronarvutite“ asemel „Arvutustehnika“.

20.05. Laboritööde baasi edasiarendamisest (Mägi): „Skeemitehnika“ kursus on kaetud universaalmakettidega; MP-süsteemide riistvara 3 maketti on valmis, häälestamine saab teoks sügisel; silp-MP süsteemide K584 uurimise laboritsükkel saab valmis sügiseks; MP süsteemide projekteerimise laborid „Philips“ arendussüsteemi baasil – valmis on 4 tööjuhendit.

1988/89. 29.08. Diplomiprojekteerimisest (Kitsnik): REK-i koosseisu komplekteerimine. Välisreisidest: Sudnitsõn tuli Soomest, Ubar ja Keevallik lähevad Saksa DV-sse, Evartson Soome. Seoses R. Ubari väliskomandeeringuga 4 kuuks 01.09-31.12. Dresdenisse Saksa DV-s määrata ajutiselt lepingu 710 vastutavaks täitjaks Leis ja kateedrijuhataja asetäitjaks ametlikult Viies, mitteametlikult Keevallik.

19.10. Juhatas Viies, protokollis Kaie. Osavõtjad: lisaks kateedri koosseisule dekaan J. Võrk. Dotsendi kohale esitatakse Viies, vanemõpetaja kohale Berkman. Kateedri a/ü organisaatoriks valitakse Maksimenkov. Keevallik: Süld on ignoreerinud tööd vastuvõtukomisjonis, õigustust sellele ei ole. Arutelus Ubariga otsustasime siiski anda Süllale võimalus end parandada, kuid karistada rektori käskkirjaga.

17.11. Uus õppeplaan, kus ained on loogilises järjekorras: siduteooria > elektroonika > süsteemiteooria > automaatjuhtimise teooria > arvutite teooria. Uus eriala nimetus ja sisu: „Arvutid ja arvutivõrgud".

20.12. Riigieksami komisjoni koosseis: Ubar, Mägi, Leis, Viies, Toomsalu, Berkman; kirjalikud ülesanded töötavad välja: Viies, Berkman, Mägi, Toomsalu. Kohustada Pihti uuendama labori arvutustehnika baasi kolme CM-1800-ga.

12.01. Leisile dotsendi kutse omistamine. Kateedrijuhataja asetäitjaks õppe-metoodilise töö alal määrata Viies.

07.02. III kursuse tasemetöö peaks näitama mõtlemisoskuse ja baasainetes orienteerumise taset. Eksamisessiooni tulemustest: 19 läbikukkumist, keskmine hinne 3,5. Lepingutest: kateedril on 3 „traditsioonilist" lepingut; üleliidulised firmad on võtnud tõrjuva hoiaku kõrgkoolide osas. Ka EKB ei ole huvitatud ülikooliga lepingute edaspidisest sõlmimisest: on tulnud ettepanek minna üle otse sõlmitud brigaadilepingule, ilma ülikooli TU sektori vahendamiseta. „Algoritmiga" siiski hiljemalt aprillist leping sõlmitakse 1,5 aastaks. Alango: Rootsi komandeeringu tulemustest firmas DIGSIM.

27.02. Osalesid: Viies, Kitsnik, Kruus, Toomsalu, Grigorjeva, Tammemäe, Berkman ja aspirandid Alango, Kont, Zaugarov, Ellervee, Maksimenkov. Juhatas Ubar, protokollis Saar. Aspirantide atesteerimine. Alango: rakendus testide genereerimise süsteem, mis kantakse üle IBM arvutitele. Kont: uus meetod funktsionaalsete testide genereerimiseks mikroprotsessorite jaoks. Tööle suunamisest: nüüdsest tuleb iga suunatu eest ettevõttel tasuda TPI-le 3000 rbl., mis läheb TPI fondi (ehitustegevuseks ja tehnika ostmiseks); kateeder otse seda raha kasutada ei saa. Keevallik andis teada, et Moskvas toimus NSVL Informaatika ja Arvutustehnika Ühingu asutamiskoosolek, kus anti hävitav hinnang NSVL arvutustehnikale. Teaduse juhtimine on Liidus üle tsentraliseeritud. Tudengite osavõtt teadustööst on langenud 50 protsendilt 5-le. Grupeerida üliõpilasi 10-15 kaupa õppejõudude juurde uurimistööks. 7. aprillil on erialapäev Glehni lossis. Kutsuda esinema Lippmaa ja Agur.

20.03. Sudnitsõn: õppetöö organiseerimisest. Viies: arvutipäevast: pääsmed – 6 rbl., üliõpilastel 4-5; otsustati taotleda luba pakkuda peol ka šampust; osavõtjate registreerimiseks kasutada arvutit Iskra.

14.06. Ubar ja Alango räägivad Rootsi komandeeringu tulemustest. Uued palgad õppejõududele: valitakse komisjon palkade kinnitamiseks.

1989/90. 01.11. Üliõpilaste individuaalplaanidest: liiga palju „roosasid" aineid kiputakse välja jätma. Ubari ettepanek: igal ainel peab olema juhtiv õppejõud. Seoses õppejõudude valimisega viiakse nüüd tudengite hulgas läbi ankeetküsitlus valitavate õppejõudude kohta koos hinde panemisega. M. Kruus valiti vanemõpetajaks, tudengite poolt Kruusile antud hinne oli 4,6.

15.12. Kondi väitekiri on valminud ning selle võib esitada kandidaadikraadi taotlemiseks.

02.03. Diplomiprojekteerimisest: välisjuhendajate kasutamisel tööstusest määrata ka kateedri-poolsed juhendajad, kellele tudeng peab andma vähemalt 2 korda kuus oma töö kulgemisest ülevaate. Töötada välja õppeprogrammid teistele teaduskondadele pakutavate õppeainete osas: mikroprotsessortehnika – Mägi, digitaaljuhtimissüsteemid – Kruus, arvutiõpetus (riistvara, assembler) – Evartson.

16.03. Õppetöö kvaliteedist. Tudengitelt negatiivsed tagasisided (loenguid jäetakse ära, loengute tase madal). Leis: kilede kasutamine loengutel polegi eriti soovitav, loengud võiksid loovamad olla.

13.06. Diplomiprojektide kaitsmisest. Viies: eelkaitsmisi mitte korraldada; diplomandid jagada ära õppejõudude vahel, õppejõud otsustab REK-i lubamise. Grigorjeva: õhtuste diplomantide teemad

kinnitada mingiks konkreetseks tähtajaks, mitte aga vahetult enne kaitsmist nagu praegu; tuleks loobuda koondeksamist. Viies: III kursuse alguses korraldada nn. suunaeksam: kas nt. riist- või tarkvara. Õppeplaanide väljatöötamisest uues moodulsüsteemis.

Hinnangud kateedri senisele tööle. Viies: tuleks korraldada üks seminar aastas, kuhu kutsuda kõik lõpetanud. Samuti tuleks taastada erialapäev, selleta pole kateedril oma nägu. Kruus: kateedris pole kollektiivi, on üksiktöötajad. Sudnitsõn: rohkem tuleks osaleda rahvusvahelistel konverentsidel ja seminaridel. Grigorjeva: lubamatu on õppejõudude suhtumine õppetöösse – jäetakse ära loenguid ja laboreid, ei võeta osa kateedrikoosolekutest. Saarepera: kateedri materiaalne baas on vilets. Siem: siiski on ka aktiivseid inimesi. Mägi: õppetöö peaks olema esmase tähtsusega.

1990/91. 27.08. Kitsnikule teha ülesandeks: organiseerida 1990. detsembris rahvusvaheline *workshop*; programmi koostamiseks kutsuda külla kateedrisse kaasorganiseerija Soomest prof. Hannu Tenhunen; alustada kateedri 25. aastapäeva ürituste organiseerimist. Teha Sudnitsõnile ülesandeks: töötada välja kateedri seminaride plaan ja korraldada nende läbiviimist (koos päeviku sisse viimisega); organiseerida kateedrit tutvustava brošüüri väljaandmine (3 keeles); koguda kateedri õppejõududelt kateedri poolt väljapakutavate inglisekeelsete loengukursuste reklaamannotatsioonid (välisülikoolides levitamiseks).

21.09. Juhatas Viies (Ubar oli 6-kuusel lähetusel Rootsis ja Prantsumaal). Päevakorras ruumide jaotamise ja õppetöö organiseerimise küsimused.

27.11. Juhatas Viies. Konverentsi korraldamisest soomlastega. Esitada ettekannete käsikirjad: Keevallik – 1, Ubar – 2, Sudnitsõn – 1. Kruus: kateedri poolt korraldatavast õppeliinist: I haru (3,5 ap) – mikroprotsessortehnika, II haru (5 ap): digitaaltehnika raalprogrammeerimine. Arvutipäeva ja kateedri juubeli korraldamine: aeg veel lahtine – kevad või sügis. Seinarid pole ikka veel käima läinud.

1991/92. perioodi sündmusi kajastavad detailselt järgmise peatüki „Suur projektijaht" kaks alajaotust: „Silmitsi Lääne-Euroopaga" ja „Prantsusmaalt kateedrit juhatamas".

Kateedri raamatutest ja kogumikest

Siinkohal on elektronarvutite kateedri lugu jõudnud ekvaatorini – 25 aastat on ära jutustatud ja hetkeni, kui raamat ilmavalgust näeb, on samuti veel 25 aastat ees.

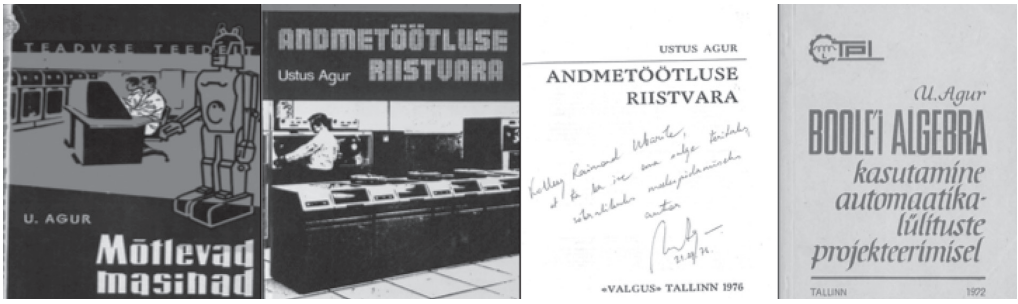
Olekski sobiv hetk korraga mõlemasse suunda vaadata ja seda meie trükitoodangu näol. Õppejõu elu on juba selline, et loengud „tulevad ja lähevad", see, mis kirjutatud on, aga jääb.

Täielik ülevaade kõigest kirjutatust oleks siiski liialt mahukas, seetõttu piirdume siin vaid õppevahendite ja raamatutega ning sedagi vaid selles osas, mis meie instituudi ühestainsast toast ühel konkreetsel hetkel üles leida võis.

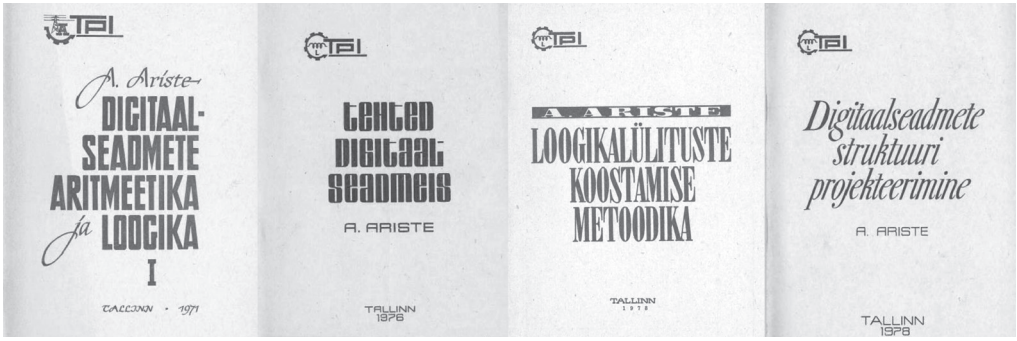
Seetõttu see alljärgnev kogum raamatukaante koopiaid pole mitte juhuslik kogum, vaid aare, mis aastate jooksul on pidevalt end ühte hoidnud, ennast meelde tuletanud ja igapäevast tööd teha aidanud, sest Google ei suuda veel katta 50 möödunud aastat.

Esimestel aastatel oli kateedris väga suur nõudlus nii igasuguste õppevahendite kui ka arvuteid populariseerivate kirjutiste järele. Ja üks aktiivsemaid Eestis oli siin kindlasti **Ustus Agur**, kelle loomingust siin järgmine väljavõte:

1. U. Agur. Mõtlevad masinad. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1961, 180 lk.
2. U. Agur. Boole'i algebra kasutamine automaatika lülituste projekteerimisel. TPI kirjastus, Tallinn, 1974, 136 lk. (Pühendusega: *Raimond Ubarile – hoiatavaks eeskujuks, kuidas üht raamatut ei maksa kirjutada).*
3. U. Agur. Boole'i algebra kasutamine automaatika skeemide projekteerimisel. TPI kirjastus, Tallinn, 1974, 108 lk. (vn. k.)
4. U. Agur. Andmetöötluse riistvara. „Valgus", Tallinn, 1976, 288 lk. (Pühendusega: Kolleeg Raimund Ubarile, et ta ka ise oma sulge teritaks, sõbralikuks meelespidaiseks, 21.09.71).

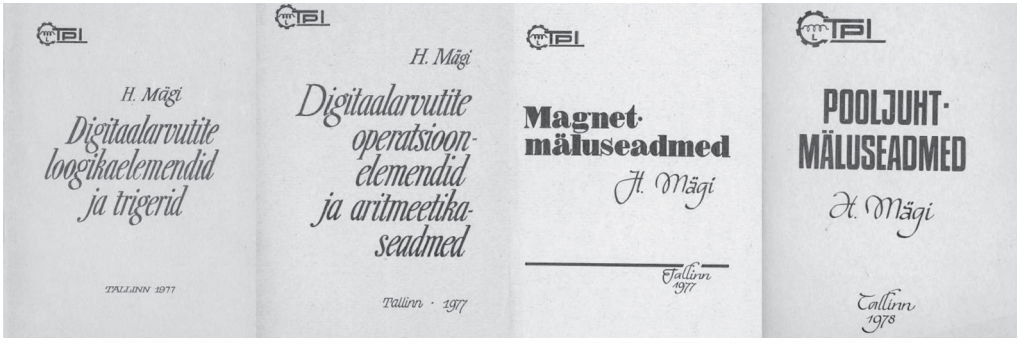


Meile, kes me 70-ndate algul kateedris õppejõududena tööle asusime, oli vaieldamatuks autoriteediks **Andri Ariste**, kelle 70-ndatel kirjutatud õppevahendite kogumist siin üks näide:



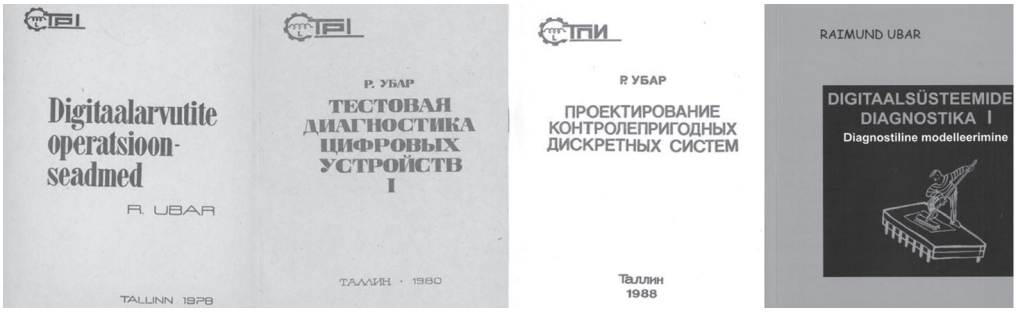
5. A. Ariste. Digitaalseadmete aritmeetika ja loogika I. TPI kirjastus, Tallinn, 1971, 96 lk.
6. A. Ariste. Tehted digitaalseadmeis. TPI kirjastus, Tallinn, 1976, 79 lk.
7. A. Ariste. Loogikalülituste koostamise metoodika. TPI kirjastus, Tallinn, 1978, 48 lk.
8. A. Ariste. Digitaalseadmete struktuuri projekteerimine. TPI kirjastus, Tallinn, 1978, 91 lk.

Justkui paarisrakendis koos Andri Aristega töötas uute õppevahendite loomisel **Harri Mägi**, kusjuures temagi üks viljakamaid perioode oli 1977 - 1978. See oli aeg, kui **Ustus Agur** andis kateedri juhatamise ohjad üle **Andres Keevallikule**. Ja eks ta tegigi seda kõige paremal viisil – sundides oma alluvaid kolleege intensiivsele vahespurdile varustamaks kateedrit korraliku komplekti õppevahenditega. Allpool näide Harri Mägi loomingust:



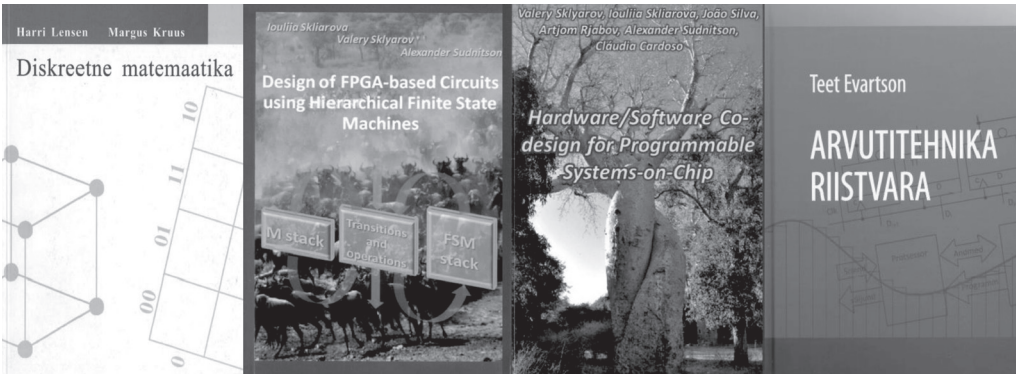
9. H. Mägi. Digitaalarvutite loogikaelemendid ja trigerid. TPI kirjastus, Tallinn, 1977, 68 lk.
10. H. Mägi. Digitaalarvutite operatsioonelemendid ja aritmeetikaseadmed. TPI kirjastus, Tallinn, 1977, 71 lk.
11. H. Mägi. Magnetmäluseadmed. TPI kirjastus, Tallinn, 1977, 76 lk.
12. H. Mägi. Pooljuhtmäluseadmed. TPI kirjastus, Tallinn, 1978, 69 lk.

Oma panust hakkasid kateedri loomingulisse kirjavarasse andma järkjärgult ka nooremad õppejõud. Kuna üha enam hakkas õppetöö segunema ka teadusuuringutega, siis leidis selline „kompleksne“ tegevus väljundi ka rohkem spetsialiseeritumate õppevahendite ja puhtteaduslike monograafiate näol, millest allpool rida näiteid:



13. R. Ubar. Digitaaloperatsioonseadmed. TPI kirjastus, Tallinn, 1978, 76 lk.
14. R. Ubar. Digitaalsüsteemide diagnostika I ja II osa. TPI kirjastus, Tallinn, 1980, 226 lk. (vene k.)
15. R. Ubar. Testitavate digitaalsüsteemide projekteerimine. TPI kirjastus, Tallinn, 1988, 68 lk. (vene k.)
16. R. Ubar. Digitaalsüsteemide diagnostika I osa. TTÜ kirjastus, Tallinn, 2005, 226 lk.

17. R. Kleis, K. Tammemäe, A. Toomsalu. Mikroprotsessorsüsteemide projekteerimine. TTÜ kirjastus, Tallinn, 1992, 84 lk.
18. A. Toomsalu. Personaalarvutid mikroprotsessoril 80486. EMI kirjastus, Tallinn, 1992, 234 lk.
19. A. Toomsalu. RISC-Mikroprotsessorite arhitektuur. TTÜ kirjastus, Tallinn, 1995, 264 lk.
20. K. Tammemäe. Riistvara kirjeldamise keel. TTÜ kirjastus, Tallinn, 2002, 76 lk.



21. H. Lensen, M. Kruus. Diskreetne matemaatika. 2001, 2002, 2006, 2012, TTÜ kirjastus, Tallinn, 338 lk.
22. I. Skljarova, V. Skljarov, A. Sudnitsõn. FPGA-põhiste skeemide projekteerimine. TTÜ kirjastus, 2005, 226 lk. (ingl. k.).

23. I. Skljarova, V. Skljarov, A. Sudnitsõn. Riist- ja tarkvara kaasdisain kiipsüsteemidele. TTÜ kirjastus, 2014, 226 lk. (ingl. k.).
24. T. Evartson. Arvutitehnika riistvara. TTÜ kirjastus, 2013, 339 lk.

25. A. Seleznjov, B. Dobritsa, R. Ubar. Проектирование автоматизированных систем контроля бортового оборудования летательных аппаратов. Kontrollisüsteemide projekteerimine lennuaparaatidele. Kirjastus Mašinostrojenije, Moskva, 1983, 224 lk. (vene k.).
26. D. Bochmann, R. Ubar. Fehler in Automaten. Rikked automaatides. VEB Verlag Technik Berlin, 1989, 216 lk. (saksa k.).
27. O. Novak, E. Gramatova, R. Ubar. Handbook of Electronic Testing. Elektroonikasüsteemide testimine. Kirjastus CTU Printhouse, Prague, 2005, 403 lk.
28. R. Ubar, J. Raik, H. T. Vierhaus. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip. Veakindlate kiipsüsteemide projekteerimine.Kirjastus Information Science Reference. Hershey, IGI Global, New York, 2011, 550 lk.

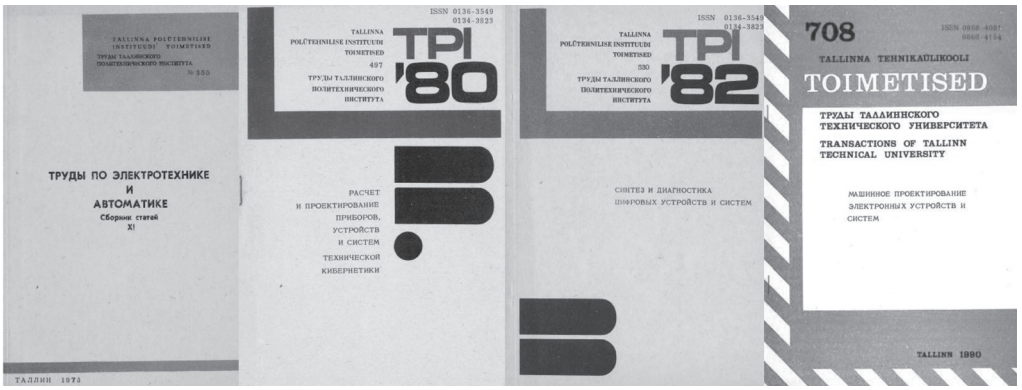
Aastatel kuni 1991 publitseerisime oma teadusartikleid peamiselt TPI toimetistes, ülikoolidevahelistes kogumikes ja ka teadusajakirjades, kus tippsaavutuseks oli kindlasti pääseda ajakirja Automaatika ja telemehaanika (AIT) veergudele. Doktorikraadi kaitsmisel tehnikateaduste valdkonnas oli kaks „rahva seas" levinud kriteeriumit: kas oled juba vähemalt „40 täis" ja/või publitseerinud 3 artikit ajakirjas AIT. Alla 40-sed doktorid olid tehnikateaduste valdkonnas N Liidu ajal vähesed erandid.

Automaatikateaduskonnas alustati venekeelse kogumiku *Töid elektrotehnikast ja automaatikast* väljaandmist aastal 1963 ja lõpetati aastal 1990. Teadusajaloolasele on see ligi 30-aastane toimetiste seeria suurepärane varandus, sest see esindab kõige kompaktsemal ja terviklikumal viisil TTÜ automaatikateaduskonna teaduslikku produktsiooni. Seepärast on väga kahju, et pärast Eesti iseseisvumist maksis ülikool tribuuti kujunema hakanud üldisele mentaliteedile, et „ainult välismaal avaldatu on midagi väärt", ja sulges meie toimetiste seeria. Ei pea alati ühest äärmusest teise tormama, silmaklapid peas, sest tõde on tavaliselt keskel.

Toimetised muutsid aeg-ajalt oma kujundust, millest neli näidet lk 228.

Kõige vasakpoolsem näidis viitab TPI toimetistele Nr. 350, kus ilmusid esimest korda[35] ka elektronarvutite kateedri õppejõudude teadusartiklid. Neid oli selles numbris koguni viis:

[35] Р. Убар. Об одной задаче упарядочения множества элементов на временной оси. Труды Таллиннского Политехнического Института, 1970, 291, с.57-69. R. Ubar. A Scheduling Task in Time Domain. Transactions of Tallinn University of Technology, 1970, No 291, pp.57-69.



29. TPI Toimetised Nr. 350. Труды по электротехнике и автоматике. Töid elektrotehnikast ja automaatikast. Tallinn, 1973.

- A. Keevallik, G. Jakobson. A Decomposition Method of Autonomous Stochastic Automata.
- A. Keevallik. Classification of the Decomposition Problem of Finite Automata.
- A. Keevallik. A method for Generating Partition Pair Lattices.
- A. Viilup, P. Kitsnik, R. Ubar. An Interpretative Fault Simulation Method for Combinational Logic Networks.
- A.Viilup, R.Ubar, U.Heiter. Diagnosis of Multiple Faults in Combinational Networks.

Kõige viimases teaduskonnale pühendatud TTÜ toimetiste numbris Nr. 708 kuulusid tervelt kaheksa artiklit kümnest vahepeal uue nimetuse saanud (elektronarvutite asemel) arvutustehnika kateedri õppejõududele. Ka toimetiste temaatiline nimetus vastas selgemini arvutitehnika profiilile. Selles kogumikus ilmusid järgmised arvutitehnika instituudi õppejõudude artiklid:

30. TPI Toimetised Nr. 708. Труды ТТУ. Машинное проектирование электронных устройств и систем. Elektroonikaseadmete ja süsteemide masinprojekteerimine. Tallinn, 1990.

- A. Keevallik, L. Kaširova, M. Kruus. Построение проверяющего теста для сети автоматов. Testide ehitamine automaatide võrgule.
- A. Keevallik, T. Lausmaa. Informational operators of finite automata.
- B. Berkman, A. Sudnitsõn, J. Udre. Transforming VHDL descriptions from behaviour to structure.
- V. Alango, T. Kont, R. Ubar. New test design techniques for fault detection in digital objects.
- R. Ubar, T. Lohuaru, M. Männisalu, P. Pukk, E. Vanamölder. Test system for fault detection and diagnosis in microprocessor control devices.
- V. Zaugarov, M. Saarepera, S. Storožev. Система синтеза тестовых программ для дискретных обектов диагностирования. Testprogrammide sünteesi süsteem diskreetsete objektide diagnosteerimiseks.
- S. Storožev. Автоматизированное построение программ самодиагностики микропроцессоров. Mikroprotsessorite isetestimisprogrammide automatiseeritud koostamine.
- V. Zaugarov. Декомпозиционный метод представления объектов диагностирования моделями обобщённых альтернативных графов. Diagnostikaobjektide esitamise dekompositsiooniline meetod üldistatud alternatiivsete graafide mudelitega.

Kui algselt oli kõigi teaduskonna kogumike temaatiline nimetus ühine kõigile kateedritele – „Труды по электротехнике и автоматике“ („Töid elektrotehnikast ja automaatikast“) – siis hiljem spetsialiseeruti. Siin on kaks spetsialiseerumise näidet, mis vastasid automaatika ja ektronarvutite kateedrite profiilidele:

31. TPI Toimetised Nr.497. Расчёт и проектирование приборов, устройств и систем технической кибернетики. Tehnilise küberneetika aparaatide, seadmete ja süsteemide projekteerimine ja arvutus.

32. TPI Toimetised Nr.530. Синтез и диагностика цифровых устройств и систем. Digitaalseadmete ja süsteemide süntees ja diagnostika.

Kõige levinum vorm teadustööde publitseerimisel tehnikateaduste valdkonnas olid tol ajal nagu nüüdki konverentsikogumikud. Publitseeriti nii teese kui ka täisartikleid. Eri valdkondades paraku on erinevad publitseerimise kultuurid. Osades valdkondades publitseeritakse konverentsidel ainult teese ja artiklite avaldamiskohaks on ajakirjad.

Siit on aga tekkinud nüüd üldine seisukoht, et teaduspublikatsiooniks loetaksegi üksnes ajakirjaartikleid. Kuna sellel arusaamal põhineb tänane teadustöö kvaliteedi meetrika, siis on sellest väga kannatada saanud tehnikateadlased, kuna nende põhilist teaduse produktsiooni – täisartikleid konverentsikogumikes – ei loetagi üldse „arvestuslikuks" publikatsiooniks.

Üleval toodud neli kogumikukaant esitavad sümboolselt nelja elektronarvutite kateedri elus toimunud „esmakordset konverentsisündmust": rahvusvaheline konverents, kus kateeder esines esmakordselt ettekannetega (1976), esmakordne kateedri teadustulemuse tunnustamine üleliidulisel diagnostika tippkonverentsil (1976), esmakordne N Liidu diagnostika tippkonverentsi korraldamine Eestis 1984. aastal ja esmakordne maailmatasemelise diagnostika tippkonverentsi korraldamine Eestis 2005. aastal.

Kateedri digitaalsüsteemide projekteerimise teemaline tippkonverents, nn. „Gavrilovi kool", toimus **Andres Keevalliku** üldjuhtimisel samuti 1984. aastal (akad. **Mihhail Gavrilov** oli selle kooli alusepanijaks). Mainitud üritus korraldati Eestis koguni teist korda. Esmakordselt toimus see 1973. aastal TUPTI ja TPI ühiskorraldamisel, kusjuures selle ürituse Eestisse toojateks olid **Enn Tõugu** ja **Gabriel Jakobson** TUPTI-st ning Andres Keevallik TPI-st. Siis kuulus Andres Keevallik veel TPI automaatika kateedrisse ja meie kateedrit veel ei eksisteerinudki.

1991–1996
Suur europrojektijaht

Kõik sai alguse kahest sündmusest. Esimese tõuke meie kateedri astumisele Skandinaavia areenile andis **Bengt Magnhageni** külaskäik TTÜ-sse 1988. a. mais, millele järgnes alates 1989 pikaajaline koostöö Rootsi firmaga DIGSIM. Paralleelselt sai loodud kontakt Stockholmis KTH-ga, kohtumised prof. **Bengt Henochiga**, millest kujunes 1992. a. algul eesti elektroonikute ja arvutiinseneride projekt ESTPID KTH ja Rootsi elektroonikatööstuse ettevõtetega.

Teiseks stardipauguks Euroopa suunas sai rahvusvaheline konverents[1] Budapestis 1990. a. juulis, kus **Mart Min** ja **Raimund Ubar** tutvustasid TTÜ elektroonika ja elektronarvutite kateedrites tehtavat teadustööd. Sellel konverentsil tänu headele ülevaadetele tööst TTÜ-s sõlmiti terve rida kontakte, millest said alguse seniajani kestvad koostööd mikroelektroonika teadusliidritega: **Bernard Courtois**, **Meryem Marzouki** (TIMA Lab Prantsusmaa), **Erwin Grosspietsch** (GMD, Saksamaa), **Andras Pataricza** (TU Budapest, Ungari) jt. Bernard Courtois kutse Ubarile minna aastaks tööle TIMA-sse (see küll realiseerus 4-kuu versioonina) viis esimese europrojekti TEMPUS JEP 4772 saamisele 1992. aastal, millega seoses käivitus ka pikaaegne viljakas koostöö selle projekti koordinaatori **Manfred Glesneriga** (Darmstadti Tehnikaülikool, Saksamaa). Kontakt Grosspietschiga viis meid ühendusse prof. **Theo Vierhausiga**, kelle kaudu tuli Eestisse esimene EL Raamprogrammi projekt ATSEC (1994-96). **Andras Patariczast** aga sai meie partner projektides EEMCN (1993-1996) ja FUTEG (1993-1996), mis käivitusid meie varasemate koostöösidemete abil Saksamaa TA Küberneetika Instituudiga Dresdenis.

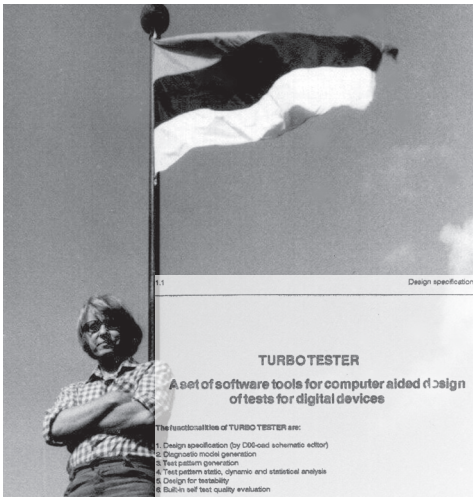
Silmitsi Lääne-Euroopaga

21. august 1991

Nendel pöördelistel päevadel 1991. aasta augustis, kui Moskvas toimus putš, istus kogu Eesti televiisorite taga ja jälgis ärevusega nii Moskvas kui Eestis arenevaid sündmusi. Mul olid passis viisad nii Rootsi sõitmiseks kui ka Prantsusmaale, aga ma isegi ei uskunud enam, et neid kasutada saan. Ees seisid reisid algul Rootsi, siis Prantsusmaale. Ometi lõppes kõik hästi.

Oli 21. august ja jäänud veel kümmekond päeva väljasõiduni Rootsi. Reisil oli kaks eesmärki – kaks kuud teadustööd Linköpingi Ülikoolis ja Turbo Testri reklaamitöö rootsi firmadele. Olin ajahädas – meie süsteemi kasutajale mõeldud manuaal ei olnud veel valmis. Teades, et ma poliitiliste sündmuste kulule niikuinii kaasa aidata ei saa, istusin 24 tundi

[1] *Seminar on Intelligent Measurement Systems*. Technical University Budapest, 1990.



TurboTestri manuaal. Kirjutatud ööl vastu 21.08.1991 WordStar'i ja laenatud PC-d kasutades. Polnud aga üldse teada, kas sini-must-valge jääb lehvima ja kas õnnestub üldse meie tarkvara Läände viia...

ööpäevas arvuti taga, välja lülitatuna elust, ja meisterdasin Turbo Testri manuaali – teksti, valemeid, jooniseid, tabeleid ja graafikuid. Nägin hetkel oma peamist missiooni meie teaduse viimises Läände ja kontaktide rajamises Lääne ülikoolide ja tööstusega.

Ühel konverentsil Budapestis 1990. a. suvel olin kohtunud Grenoble'i professori **Bernard Courtois**'ga, kes pärast mu ettekande kuulamist tuli mu juurde ja küsis, kas ma ei tahaks tulla aastaks tööle tema laborisse Prantsusmaal. Taotlesime selleks Prantsuse riigilt stipendiumi. Läbida tuli tõsine konkurss. Terveks aastaks ma stipendiumi ei saanud, küll aga neljaks kuuks väga kuulsasse TIMA laborisse Grenoble'is. Planeerisime need neli kuud 1991. aasta lõppu ja järgmise aasta algusesse.

Samal ajal olin saanud positiivse vastuse ka Rootsi instituudist oma taotlusele sõita kaheks kuuks Linköpingi Ülikooli. Sõit Rootsi sai plaanitud septembriks ja oktoobriks. Seega tuli mul ära olla Eestist kokku pool aastat. Kateedrijuhataja kohustused võttis sel perioodil üle dots. **Vladimir Viies**. Sisuliselt juhtisime siiski kateedrit kahekesi, tehnoloogia seda võimaldas, e-mailide vahendusel toimuv kommunikatsioon oli muutunud juba igapäevaseks asjaks.

Firmaga DIGSIM oli meie koostöö juba nii kaugel, et Turbo Testri edasiseseks promomiseks oli hädavajalik omada korralikku tarkvara manuaali, kus oleksid kõigi tööriistade kirjeldused koos teoreetiliste aluste selgitustega. Kuna see tarkvara, mille olime Turbo Testri näol loonud, põhines paljuski originaalsel teoorial, siis sisuliselt oli tegemist monograafia kirjutamisega. Kuna ees seisis kahekuuline viibimine Rootsis, siis selleks ajaks oli hädavajalik see manuaal valmis saada, et Turbo Testri aktsiooni Läänes jätkata, seejuures mitte ainult Rootsis, vaid ka Grenoble'i sõiduga ühenduses kogu Lääne-Euroopas. Panin Grenoble'i sõidule suured lootused, sest see oli ju koht Euroopa südames, kust oleks kerge vaevaga olnud luua kontakte paljudesse eri riikidesse.

Ette rutates sellega, mis puudutas Grenoble'i võimalusi, neid hindasin pisut üle. Silme ees oli mu pooleaastane professuur Saksa DV-s, kus kõik mu sõidud teistesse ülikoolidesse Ida-Saksamaal maksis kinni ülikool. Grenoble'is tehti mulle kohe selgeks, et ülikoolil minu komandeerimiseks muudesse asutustesse Prantsusmaal raha ei ole. Kui ma tahan seal kuhugi sõita, siis tuleb mul kasutada oma stipendiumi või paluda mu sõidukulude kompenseerimist mu oma ülikoolilt. See viimane oli muidugi naerukoht, sest Prantsusmaa rongipiletid olid väga kallid.

Mis sellesse ärevasse aega 21. augustil 1991 puutus, siis nagu teada, lõppes see õnnelikult. Eesti sai vabaks ja maailm oli meile lahti. Edasi sõltus kõik iseendast. Manuaali jaoks materjali sain kokku ja ka trükitud mitmes eksemplaris – olin valmis igasugusteks demodeks Turbo Testri teemal ja loenguteks.

Rootsi Instituudi stipendiumiga Linköpingis

Septembri algul sõitsin kaheks kuuks Linköpingi Ülikooli **Kristof Kuchcinski** laborisse CADLAB teadustööle Rootsi Instituudi stipendiumi toel. Koos minuga tuli sinna samasse neljaks kuuks mu õpilane **Märt Saarepera**, kes sai stipendiumi Jonsoni fondist. See oli väga viljakas koostöö nii Krisi kui ka tema doktorandi **Zebo Pengiga**. Meie konkurentideks oli seal veel üks külaliste paar Rumeeniast, professor **Petru Eles** koos ühe oma õpilasega – konkurentideks tunnustuse jahil. Kui nii võtta, siis selle konkurentsivõitluse võitis Petru, kes jäetigi CADLAB-i tööle ja on tänaseni seal professoriks ning hindamatuks paremaks käeks laborijuhatajale, maailmakuulsale teadlasele Zebo Pengile.

Ester
på IDA

Två ester, Raymond Ubar och Märt Saarepera, från Tallinn University of Technology är just nu på institutionen för datavetenskap.

– Vi har haft kontakt med professor Ubar i ungefär två år. Den här gången stannar han här och forskar i två månader, berättar Zebo Peng på IDA:s laboratorium för datorstödd elektronikkonstruktion (CADLAB).

Vabadus tuli ja olemegi Rootsis, Linköpingi Ülikoolis. Vasakult: Märt Saarepera, Raimund Ubar ja Zebo Peng – 1991.

Zebo Pengist veel nii palju, et ülikooli lõpetamisel Hiinas taotles ta stipendiumit USA-sse, nagu enamus edasipüüdlikke hiina noori. Paraku jäi ta taotletavast kohast ilma ja pidi pettumusega leppima valikuga, mis teisi temast edukamaks osutunud konkurente ei vaimustanud – minna edasi õppima Rootsi. Täna ei suuda Zebo tänada saatust, kes talle selle võimaluse välja valis – ta on enam kui kindel, et Rootsis suutis ta rajada endale edukama karjääri koos akadeemilise vabadusega kui see oleks olnud võimalik Ameerikas. Tema poeg on samuti dilemma ees ega suuda valida muusika ja matemaatika vahel, olles võitnud rootsi kooliõpilaste matemaatikaolümpiaadi.

Uurisime Kris Kuchinskiga kõrgtasandil kirjeldatud digitaalsüsteemide testitavust ja kasutasime selleks meil TTÜ-s väljatöötatud kõrgtasandi AG-mudelit. Jätkates seda Linköpingis alustatud koostööd ka hiljem, publitseerisime koos kaks artiklit.[2,3] Zebo Pengiga, kelle doktoritöö teemaks olid Petri võrgud, uurisime aga AG-mudeli ja Petri võrkude kasutamise võimalusi testide genereerimiseks süsteemidele. Ka sellest koostööst kujunes meil ühisartikkel tippkonverentsil.[4] Veelgi enam, mõni aeg hiljem, kui olime saatnud **Gert Jervani** pärast oma magistritöö kaitsmist kolmeks kuuks praktikale Zebo Pengi juurde, kujunes sellest loomulikul viisil välja Gerdi doktorantuur Rootsis ja koostöö tugevnemine meie instituudi ning Linköpingi CADLAB-i teadlaste vahel. Siit sai alguse ka intensiivne eesti ja rootsi teadlaste ühisartiklite publitseerimine alates aastast 1999[5] kuni tänaseni.

Töötasime Märdiga CADLAB-is kõrvuti kabinettides. Ajalugu kordus 10 aastat hiljem, kui olin taas Linköpingis jälle koos oma õpilasega, siis oli selleks **Artur Jutman**, aga laborijuhataja CADLAB-is oli vahepeal vahetunud, nüüd oli selleks Lundi Ülikooli siirdunud Kuchcinski õpilane **Zebo Peng**. Mis oleks veel uhkem ja viljakam võimalus kui töötada välismaal mitu kuud kõrvuti oma õpilasega ühe ja sama probleemi kallal,

2 R. Ubar, K. Kuchcinski. Algorithms of Functional Level Testability Analysis for Digital Circuits. Periodica Polytechnica Ser. El. Eng., Vol.36, No.3-4, Budapest, 1992, pp.295-308.

3 R. Ubar, K. Kuchcinski. Functional Level Testability Analysis for Digital Circuits. Proc. of European Test Conference ETC'93, Rotterdam, April 19-22, 1993.

4 R. Ubar, K. Kuchcinski, Z. Peng. Test generation of digital systems at functional level. The 2nd European Test Conference, Munich, Germany, April 10-12, 1991.

5 G. Jervan, P. Eles, Z. Peng, J. Raik, R. Ubar. High-Level Test Synthesis with Hierarchical Test Generation. IEEE 17th NORCHIP Conference, Oslo, Nov. 8-9, 1999, pp.291-296.

mõlemad kodumuredest vabad. Kaks meest on alati kaks meest. Ja Arturiga me seda ka tõestasime, publitseerides ühisartikli maailma tippkonverentsil.[6] Märdiga me nii viljakad ei olnud, et oleksime artikli valmis saanud – probleemid, mida uurisime, olid aga ka keerukamad. Pealegi ühendas meid veel üks teine eesmärk – sillutada teed oma diagnostikatarkvarale Turbo Tester levimaks Rootsis. Oli vaja tegeleda veel paljude muude asjadega kui teadus – suhelda inimestega, kontakte otsida, reklaamida ennast ja oma ülikooli.

Meil oli Rootsis palju niidiotsi ripakil. **Bengt Magnhageniga** firmas DIGSIM oli projekt pooleli. Kuna firma DIGSIM asus samuti Linköpingis, siis töötasimegi aeg-ajalt ka koos selle firma inimestega eesmärgil Turbo Tester ja DixiCAD „kokku panna" ning mingi ühistooteni jõuda.

KTH professoril Carl Olof Stawströmil külas, Stockholmis, 1991

Valmistusin samaaegselt ka Prantsusmaale sõiduks, mis seisis ees kohe pärast seda Rootsi visiiti. See võttis oma aja, näiteks seisnes ettevalmistumine prantsuse keele õppimises. Aga selleks „varus endale aega" juba eluviis ise – ülikooli ja ühiselamu vahet sõitsin DIGSIM-i direktorilt Bengtilt laenatud jalgrattaga, kõrvaklapid peas, ja kuulasin kassetilt prantsuse keele õppetunde.

Rootsi lähetuse poolitas kaheks mu isa surm. Käisin vahepeal kodus matustel ja siis olin jälle tagasi Rootsis. Kahel korral, Tallinnast Linköpingisse ja sealt tagasi koju sõites, külastasin KTH-d Sockholmis, kus kolleegide prof. **Bengt Henochi** ja **Olov Stawströmiga**, hakkasime visandama koostööd Eesti ja Rootsi vahel, millest sai alguse meie esimene Skandinaavia suunaline projekt ESTPID.

Prantsuse stipendiumiga Alpide jalamil

Novembri keskel sõitsin niisiis neljaks kuuks Prantsuse valitsuse stipendiumiga Grenoble'i TIMA laborisse. Samas hoones, kus asus TIMA, asusid veel ka kaks ülikooli: INPG[7] ja UJF.[8] Laboris töötavad inimesed jagunesidki nende kolme katuse alla, milliste kõigi kohal asus veel üks katus – CNRS.[9] Osa labori inimestest tegelesid ainult teadusega, sellisel juhul olid nad alati seotud mingi lepinguga (kui leping lõppes, lõppes ka nende töö laboris). Osal inimestel oli püsileping CNRS-iga. Osa aga tegeles TIMA-s teadustööga ja samal ajal ka õpetas ühes kahest ülikoolist, olles professori ametikohal. Ja loomulikult olid laboris ka doktorandid ja postdokid väga paljudest maadest üle maailma.

Veetsin neli kuud TIMA-s Alpide jalamil äärmiselt pingelist tööd tehes. Istusin põhiliselt laboris, ega kasutanud võimalust maailma näha, mida pool sajandit oli mu silmade eest armukadedalt varjatud.

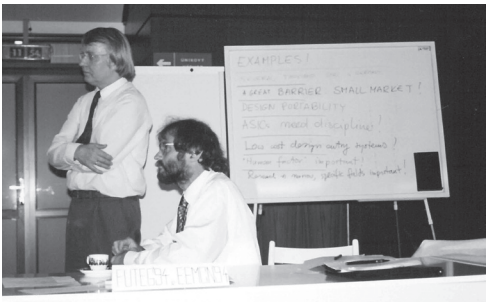
---

6 A. Jutman, R. Ubar, Z. Peng. Algorithms for Speeding-Up Timing Simulation of Digital Circuits. DATE, Munich, March 13-16, 2001, pp.460-465.

7 INPG – *Institut Polytechnique de Grenoble*.

8 UJF – *Joseph Fourier University*.

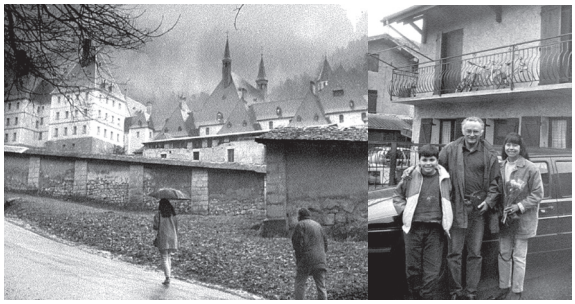
9 CNRS – *Le Centre national de la recherche scientifique* (Rahvuslik teadusliku uurimise keskus).



Grenoble, TIMA laboratoorium. Courtois' seminaril ettekannet tegemas.

Olin selles laboris päris vana mees, just-just saamas 50, samal ajal, kui vanim sellest kambast, laborijuhataja **Bernard Courtois**, oli vaid 35. Ma ei julgenud kellelegi oma vanust reeta. Pidin ju end siin „realiseerima" – saavutama teatud tunnustuse. Kartsin, et vanus loob eelarvamused ja et nii vana meest noorte keskel ei võeta enam tõsiselt.

Laboris oli siiski veel üks minu eakaaslane – mehhiklane Alejandro, kellega õige pea saime headeks sõpradeks. Matkasime vahel ümbruskonnas koos, külastasin ta peret. Neil oli kodus klaver. Istusin kord klaveri taha ja mängisin kaks esimest fraasi ühest kaunist mehhiko meloodiast. See oli mul meelde jäänud ühest lapsepõlves nähtud mehhiko armastusfilmist. Meloodia oli juba ununenud, aga kunagi olin seda osaliselt kitarril mänginud. Küsisin, kas Alejandro teab seda viisi. Ta ei teadnud. Aga nüüd alustas ta otsinguid omaenda ja sõprade fonoteekides… Kümmekond aastat hiljem, jalutades Los Angeles'i mehhiko linnaosas, külastasin ühte muusikaturgu ja otsisin seal CD-plaatides sorides seda meloodiat. Laulsin mehhiklastest müüjataridele ette neid fraase, mida mäletasin, aga keegi ei tundnud seda viisi. Nad olid vist kõik liiga noored, et oleksid seda filmi näinud.



Alejandroga matkamas. Vaade Chartreuse'i kloostrile. Paremal: Grenoble. Alejandro oma auto ja maja ees koos abikaasa ja pojaga.

Et uusi töökontakte luua, kirjutasin kirju Inglismaale, Prantsusmaale, Itaaliasse, Lääne-Saksamaale, ka USA-sse, kus rääkisin oma kateedrist, meie teadustööst ja üritasin äratada huvi koostööks. Mitte ühelegi kirjale ei saanud ma vastust. Nüüd mõistan, miks. Ka mina saan praegu peaaegu iga nädal mõne e-maili Aasiast, kus keegi tundmatu tudeng küsib, kas ma ei sooviks teda enda juurde laborisse tööle võtta. Nii need asjad ei käi. Maailm on juba niivõrd globaalne, et isiklikuks lähenemiseks tuleb kasutada teisi meetodeid. Globaalsus on kasvatanud inimeste ümber läbimatud kestad enesekaitseks transparentsuse vastu, mille Internet on loonud. Ja paradoksaalselt jääb seesama Internet jõuetuks just nende kestade ees. Lähenemiseks inimesele on vaja talle silma vaadata. Silmavaade kannab usaldust. Aga on veel vaja midagi.

Aasta tagasi enne Prantsusmaale sõitu olin külastanud abikaasaga tema sõpru Lääne-Saksamaal. Viibisime Darmstadtis ja ma kasutasin ühte vaba hetke teha üks improviseeritud „ametivisiit" prof. **Robert Piloty** juurde Tehnikaülikoolis. Olin lugenud tema töid ja mõtlesin, et meil võiksid ka mõned ühised huvid olla. Visiit polnud eelnevalt kokku lepitud, aga professor oli kohal ja isegi nõus mind vastu võtma. Ta oli imponeeritud, et keegi Idast oskab ka saksa keelt. Vestlesime terve tunni. Piloty paistis tõesti huvituvat meie tulemustest. Siis aga küsis ühe väga konkreetse küsimuse, kas meie uued meetodid selleks ja selleks kõlbavad.

Mul ei olnud läbirääkimiste kogemusi. Ma ei osanud kohe sellele küsimusele vastata, sest polnud mõelnud varem niisugustele asjadele, mida ta küsis. Esimesel hetkel oli tunne, et mu meetodid Piloty mainitud probleemide jaoks ei kõlba. Püüdes olla siiras, ütlesingi seda, mida hetkel tundsin:

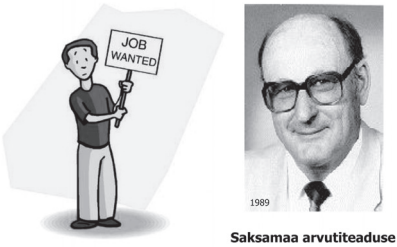
„Ei, selleks vist hästi ei kõlba."

See oli viga. Nüüd läks professor kohe väga üldistele teemadele üle, mis oli ka märguandeks, et jutuajamine on läbi. Lahkudes tõotasime mõlemad viisakalt kontakti hoida.

Robert Piloty tegeles kindlate ja konkreetsete probleemidega. Hetkel tal vist isegi tekkis illusioon, et mingi võimalus oleks koostööks olemas. Siis püüdis ta hakata detaile täpsustama, aga saanud kohe negatiivse vastuse, oli ka loomulik, et ta huvi seejärel kadus.

Kuidas eostati esimest Eesti europrojekti

Ühel päeval toimus TIMA laboris doktoritöö kaitsmine. Oponendiks oli **Manfred Glesner**, selle sama Darmstadti Tehnikaülikooli professor, kus Piloty töötas. Pärast kaitsmist nautisime šampanjat. Astusin Glesneri juurde ja kõnetasin teda saksa keeles. Ta oli meeldivalt üllatunud võimaluse üle prantsuse keelest saksa keelele tagasi ümber lülituda. „Aa, te tunnete **Piloty**'t," hüüdis ta rõõmsalt, „Piloty on mu hea sõber."



Saksamaa arvutiteaduse pioneer Robert Piloty (1924 – 2013)

Saksamaal prof. Piloty'ga kohtumas ja koostööd otsimas, 1989.

Glesner oli pisut teisest valdkonnast, mis minu uurimistöö. Aga see ei seganud meid teineteise vastu huvi tundmast, pealegi kui oli tekkinud hea keeleline kontakt. Ja teatud määral olime teaduses ikkagi sugulased. „Te peate mulle külla tulema," ütles professor. „Kirjutage, kui koju hakkate sõitma. Tulge läbi Saksamaa." Paar päeva hiljem kutsub **Courtois** mind enda juurde: „Kus te täna hommikul olite?" küsib ta tõredalt. „Glesner otsib teid telefoniga taga."

Helistan Glesnerile. Tal oli tekkinud üks idee saata Brüsselisse ühisprojekti taotlus, kus partneriteks oleksime meie kolm: Glesner, Courtois ja mina. Taotlusega oli kiire, aega oli jäänud vaid kaks nädalat. Hakkasime aga ikkagi tööga pihta. Läks väga tihedaks fakside ja e-mailide vahetamiseks. Telefonikõnesid püüdsin vältida. Kord tabas boss mind telefoni taga, kui rääkisin vene keeles oma kolleegiga siinsamas Grenoble's. Võõrast keelest aga järeldas boss, et see polnud kohalik kõne ja ütles mulle väga konkreetselt: „**Raimund**, pea meeles, e-mailid on ökonoomsem viis suhtlemiseks."

Professor Glesner oli liiga „suur" mees (tegelikult kaalus ta samuti palju), et ise projekti detailidega tegeleda. Ta delegeeris selle töö kellelegi **Peter Pöchmüllerile** oma laboris. Courtois ei teinud samuti projekti heaks midagi. See oli nüüd minu ülesanne esindada nii ennast (Eesti poolt), kui ka teda (Prantsusmaa partnerit), sest töötasin ju tema laboris ning olin seega prantslane. Nii alustasimegi koostööd hoopis Pöchmülleriga.

Saadan e-maili Saksamaale: „Dr. Pöchmüller..." Ma teadsin, kui tähtis on sakslastele nime kõrvale tiitli lisamine. Aga siis saan vastuse: „Ma ei ole veel doktor, olen alles doktorant..."

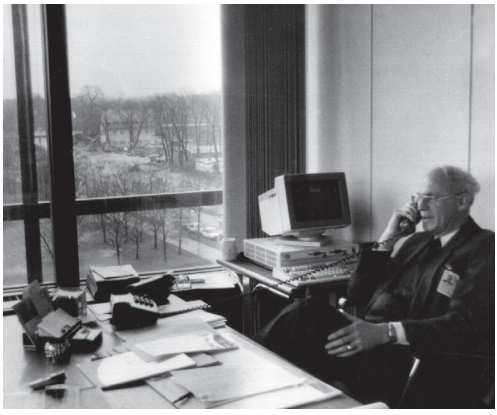
Pöchmüllerile oli vaja saata kiiresti üks faks. Vaid mõned päevad olidki veel jäänud. Saadan faksi, aga faksiaparaat teatab, et sõnum pole kohale jõudnud. Saadan uuesti. Jälle sama lugu. Ja nii veel mitu-mitu korda. Siis tuleb Courtois äkki minu juurde ja ütleb: „*Stop sending faxes*!“ Ning lisab veel, et Glesneri faksiaparaadis Saksamaal paber juba lõpeb.

Glesner oli just talle helistanud. Selgus, et kõik mu faksid olid läbi läinud. Ilmselt oli siis Courtois' enda aparaadiga midagi korrast ära, kuna sain selliseid veateateid.

Projekti taotluse saime siiski tähtajaks valmis ja saatsime ära. Sellega lõppes ka mu Prantsusmaa visiit. Koju sõitsin Grenoble'ist läbi Müncheni, Darmstadti, Dresdeni ja Stockholmi rongiga. See oli pikk *ca* kahenädalane reis täis visiite ja loenguid mitmetes ülikoolides, mis reisil „tee peale ette jäid…“.

Münchenis külastasin Dr. **Peter Dehni**, kellega ammu-ammu olime tutvunud Tallinnas juhuslikult ühes plaadikaupluses, kus sattusin olema talle tõlgiks. Dehni isa oli baltisakslane ja enne teist maailmasõda oli elanud Tallinnas. Dehn oli võtnud ette reisi Tallinna – oma isa maja vaatama, sedasama kõrget maja Vabaduse väljakul, kus linnavalitsus asub…

Praegu töötas Dehn Münchenis IBM kontoris, kus ma teda ka külastasin. Lõime töised kontaktid ja ta tegi ettepaneku, et kirjutaksin ettekande sügisesele konverentsile Dresdenis, kus ta parajasti oli programmikomitee esimees. Kirjutasin koguni kaks ettekannet – ühe Turbo Testrist ja teise õppemetoodika kohta Turbo Testri kasutamise võimalustest. See oli tehnilisele kõrgharidusele pühendatud konverents.



Peter von Dehn, osakonnajuhataja IBM peakorteris Münchenis

Münchenist sõitsin Darmstadti Manfred Glesneri juurde ja tegin seal ettekande. Olime väga optimistlikud ja peaaegu kindlad, et peagi algab meil ühine europrojekt. See projekt, mille Peter Pöchmüller Darmstadtis ja mina Grenoble'is koos kokku panime, kuulus programmi TEMPUS ja oli mõeldud Ida-Euroopa ülikoolide toetamiseks lääne ülikoolide partnerlusel ja toel.

Siis olin Dresdenis. Fraunhoferi Instituudis, endises Saksa DV Teaduste Akadeemia Küberneetika Instituudis töötasid mu ammused sõbrad **Günter Elst**, **Bernd Straube** ja **Karl-Heinz Diener**. Olime valmistanud mu Prantsusmaa visiidi ajal e-mailide vahendusel samuti ette kaks ühist europrojekti taotlust, seekord programmi COPERNICUS raames. Nüüd Dresdenis viimistlesime taotlust juba vahetult koos olles – Elst ja Diener olid meie partneriteks EEMCN projekti taotluses ja Straube projekti FUTEG taotluses. Mõlemat projekti koordineeris Fraunhoferi Instituut.

Dresdenist sõitsin üle Sassnitzi Malmösse ja sealt Stockholmi, kus samuti pidasin loengu ja kinnistasin töösidemeid professorite **Bengt Henochi**, **Hannu Tenhuneni** ning **Carl Olof Stawströmiga**. Kavandasime edaspidiseid tegevusi projekti ESTPID käivitamiseks.

Prantsusmaalt kateedrit juhatamas

Prantsusmaal viibides olin kaugel nii kodust kui ka kateedrist, mida tuligi nüüd siis kateedrijuhatajana juhatada distantsilt. Ülikoolis toimusid suured muutused, mida ma ei saanud enam jälgida ega nende korraldamises ka ise otseselt osaleda. Kateedrijuhatajana oli see väga halb situatsioon.

Õppeasjade korraldamise kateedris olin delegeerinud kolleeg **Vladimir Viiesele**, tema kohusetundlikkust ma teadsin ning selles osas ei tundnud ma muret. Kateedris olid aga pooleli mitmed lepingud ja projektid, mille käekäiku oli nüüd raske jälgida. E-mailide vahetamine oli tol ajal tülikas ja kirjade saatmine seansside kaupa üle Fidoneti võrgu Soome oli aeglane (ülemaailmsesse Interneti võrku Eesti veel ei kuulunud). Kokkuvõtlikult – ei olnud võimalik hoida kätt pulsil ja see tegi muret.

Samas ei olnud see ka vale, et kateedrist kaugele eemale läksin. Asju tuligi ajada kollektiivselt, mitmes kohas, mitmes suunas ja usaldada üksteist. Mul oli suur šanss teha Euroopa südames eeltööd, et kord sinna ka kõik teised meilt (üle kantud mõttes) jõuaksid. Nimetasin seda – võimaluseks „kateeder Euroopasse viia".

Linköpingis koos **Märt Saareperaga** kõrvuti tubades „Eesti asja Rootsis" ajades õppisin temas nägema usaldusväärset, tarka ja toimekat kolleegi. Nii saigi temast kõige loomulikumal viisil minu sidepidaja meie Rootsi kontaktide elushoidmiseks. Firmas DIGSIM oli võtmetegijaks seni olnud **Villem Alango**, nüüd andsin tasapisi oma koordinaatori rolli üle Märdile. Stockholmis oli samuti kaks asja pooleli. Prof. **Bengt Henoch** KTH-st oli nüüd meie uus kontakt Rootsis, kellega olime seadnud üles plaani Rootsi ja Eesti elektroonikatööstuse huvisid ühitada ja tegemisi mingil viisil kokku viia. See oli suur ja ambitsioonikas plaan. Oma eelseisvat Prantsusmaale sõitu silmas pidades, delegeerisingi sidepidamise Märdile. Ka **Christof Postulaga** firmast Syntesia AB olid meil plaanid pooleli – eesmärgiks oli integreerida meie arendamisel olev kõrgtaseme testigeneraator nende projekteerimissüsteemiga SYNT. Nendes küsimustes sidet pidada ja aegajalt mingi tõuge teha jäid Märdi ülesandeks, kui ma Prantsusmaale sõitsin, sest Märdil seisis veel ees kaks kuud Rootsis tööd teha.

Märt Saarepera Linköpingis, 1991

Alljärgnev kirjavahetus Märdiga 1991. novembris ja detsembris Grenoble'i ja Linköpingi vahel vahendab kõige kujundlikumalt kahes eri Euroopa linnas lahti rulluvaid meie kateedrit Eestis puudutavaid sündmusi, peegeldades ka seda, mis asju me siis kumbki Rootsis ja Prantsusmaal ajasime. Kui Märt aasta lõpul Rootsist ära tagasi koju sõitis, jätkus meie dialoog ja koostöö ka liinil Grenoble-Tallinn.

Esimene dialoog: Grenoble - Linköping

22.11.1991. LINKÖPING (Märt Saarepera): Loodan, et me vahel on nüüd kontakt olemas. Telefoni ma kaugekõnedeks kasutada ei saa, s.t. vaid siis, kui ise maksan. Kasutasime seda nimelt koos ru-

Grenoble. Läbi linna lookles Isere' jõgi, taamal kõrged Alpid.

meenlastega[10] pärast sinu lahkumist ja ilmselt liiasti. Kes seda rohkem tegi, on teadmata. Hetkel saan kasutada e-maili ja Faxi ning mõlemat piiramatult.

Külastasin Bengti. Villem oli juba jõudnud temaga telefoni teel vestelda. Teatanud nimelt, et Turbo Tester (TT) edeneb. Programmeerimine toimuks lepingu alusel. **Bengt Magnhagen** on nõus osaliselt finantseerima. TT peaks kasutama suvalist skeemiredaktorit. CAD-süsteemide traditsioonid ülikoolides on pikad ja naljalt keegi uut süsteemi kasutusele ei võta. Kuna DIXI-ga on ühendus juba olemas, siis tuleb seda muidugi edasi arendada. Mis aga TT-st edasi saab? Jäi mulje teie arutelust Villemiga Tallinnas, et ühest seisukohta hetkel pole. Selle *„tulude jagamise jutu asemel"* oleks võinud mõne anekdoodi rääkida. Aga samas on see probleem – kuidas ära elada raskel ajal.

Oli juttu ka Ericssonist. Bengt kohtus **Gunnar Carlssoniga**. Ericssoni huvitab kombinatsioonskeemide testimine funktsionaalsel tasemel. TGEN, millega Villem ametis on, neid ei huvita, kuna ventiiltaseme testigeneraatoreid on turul saadaval. Samuti ei huvita neid TT. Bengt on mures sinu TT-ga seotud kontaktide pärast Rootsis ja esmalt sellepärast, et sa ajad neid ilma teda informeerimata.

26.11.1991. GRENOBLE (Raimund Ubar): Tore, et kontakt on olemas. Igatsen tegelikult tagasi Rootsi laboriparadiisi. Siin istume kuuekesi toas. Oma arvutit mul pole. Toas on kaks Mäkk'i[11], teises toas käin laenamas terminali, et e-maili kasutada. Töötan üsna arhailise vi redaktoriga. Courtois on kättesaamatu, suhelda praktiliselt ei saa. Ta ainult reisib. Firma töötab temata. Palju on siin noori doktorante üle maailma: Kanadast, Saksamaalt, Alžeeriast, Inglismaalt, Indoneesiast, Brasiiliast. Vastutulelikud ja suhtlemisaltid. Bossid on väga tähtsad ja ennast täis.

27.11.1991. LINKÖPING: Sinu kurtmine tingimuste üle on arusaadav. Selliseid tingimusi, nagu Linköpingis, mujalt Euroopast on raske leida. Su tegevuse tagajärjel olen nüüd IEEE ja ACM member ja järgmisest aastast hakkab kateedrisse ilmuma 22 erinevat ajakirja. Rumeenlaste kaasabil olen juba omandanud teatava vilumuse kopeerimismasina kasutamisel. Nende plaan „200 lehekülge päevas" saab viimasel ajal regulaarselt täidetud. Logeleda nad mul ei lase. Oleme ju nii-öelda samast paadist. Kirjutasin sulle **Bengti** murest, et sa tema teadmata Stockholmis tegutsed. See on ilmselt selle projektiga seoses, mis algatati Eesti ja Rootsi vahel teaduskontaktide edendamiseks. Mingi eesti aruanne on jõudnud Göteborgi kaudu Bengti kätte ja oodatakse tema hinnangut sellele.[12] Bengt oli päris rahulolev seda teatades.

---

[10] CNRS – *Le Centre national de la recherche scientifique* (Rahvuslik teadusliku uurimise keskus).

[11] Apple'i personaalarvuti Macintosh.

[12] Tegelikult käib siin jutt ilmselt Eesti Teadusfondi poolt algatatud eesti teaduse ekspertiisist rootsi teadlaste poolt. Hiljem selgus, et Bengt Magnhagen oli samuti üks rootsi ekspertidest. Arvatavasti oli tal ka mingi roll TTÜ teaduse ekspertiisis.

Villem on oma tegevust Rootsi suunas aktiviseerinud. Bengti andmetel olevat ta TT-d valmis kohekohe turule saatma. Minul pole Villemiga kontakte olnud. Nii on tekkinud rumal olukord, kus mina jampsin, et TT on veel kaugel mingist „produktist", kuna samal ajal tulevad Tallinnast signaalid, et kõik on OK ja kohe valmis.

28.11.1991. GRENOBLE: See on rootsi-eesti projekt, mida me **Henochiga** Stockholmis alles valmistame ette. Plaan on kevadel Tallinnas *workshop* teha… Nii et Bengt hakkab siis eesti teadust hindama? Tarvitseks nüüd Bengtiga tülli minna ja Eesti teaduse lips olekski läbi… Mis aga puutub koostöösse Bengtiga, siis mida ta ikkagi teeb konkreetselt Turbo Testri turu leidmise heaks?

Rääkisin **Janusz Rajskiga** Kanadast. Ta on ITC[13] orgkomitee liige, üks aktiivsemaid mehi praegu maailmas testi alal. Ta lõpetab siin praegu oma „sabatikut". Oli väga huvitatud meie asjadest. Meil on temaga võrreldes samu tulemusi eri meetoditel saadud. Kutsus mind Kanadasse ja pakub Sulle PhD kohta, kuna ma kiitlesin, et mul on silmapiiril võimekaid noori mehi. Ka Saksamaal pakuti ühte PhD kohta, vahetasime siin e-maile ja telefonikõnesid. Aga koht on „närune" – 800 DEM-i kuus. Kuigi elu on Saksamaal palju odavam kui Rootsis.

Mul oli täna seminar, tegin ka demo. Vaatasid asjatundjad ja ütlesid: *impressive*. Mitmed leidsid asja huvitava olevat selles mõttes, et nad võiksid meie TT-le oma tööriistu juurde lisada. Arutasin praegu võimalust TT SUN-idele üle viia, sest kogu CAD töötab siinkandis SUN-idel. Selleks oleks ka meile vaja laborisse neid tööjaamu. Üks lootus on: TEMPUS-e projekt.

Artiklite avaldamine Läänes on meie jaoks antud alal keeruline. Nüüdne artiklite stiil on: benchmargid ja eksperimentide tabelid. Nii ütles mulle **Rajski**, kes on ITC ja JETTA[14] board'ide liige. Temal on tudengid, kes talle tabeleid vorbivad. Nii on ka **Courtois**' labor täis doktorante, kes vähese raha eest ihuhingega progevad. Muidugi, lisaks sellele ka mõtlevad, teavad ja oskavad. Peame samuti jõudma nii kaugele, et kaasaegne eksperimendikeskkond üles ehitada. Teoorias oleme neist ees. Ka Rajski leidis täna, et tema 1988. aasta artikkel tõepoolest kordab minu 1982. aasta oma.

5.12.1991. LINKÖPING: Su kontaktid arenevad huvitavalt. Rajski on tähtis tegelane. Tundub, et Grenoble on palju parem koht kontaktideks kui Rootsi. Väga tervitatud on sinu seisukoht „agentuuri Eestist välja toomise" suhtes. Uurisin Rootsi Instituudi võimalusi. On teatav võimalus saada toetust järgmiseks akadeemiliseks aastaks… **Postula** asi KTH-s on samuti huvitav. Samasugune teoreetiline võimalus oleks ju ka Linköpingis. Need mõlemad on omavahel konkureerivad firmad, aga rohkem sünteesi alal. Täna on **Petru** ja **Mariuse** ettekanne VHDL-kompilaatori arenemisest. Nende edaspidine koostöö Rootsiga on igatahes garanteeritud.

Ka mina vaatan kurbusega raisatud aastatele, kuigi olen sinust peaaegu poole noorem. Olen kogu aeg imestanud sinu optimismi ja võimet tegutseda, vaatamata ilma- ja keskkonnatingimustele. Mina küll pole suutnud. Olen seda oma eakaaslastega aeg-ajalt arutanud ja ikka on püütud peamise põhjusena välja tuua, et elame valel ajal. Aga õigem oleks vist, et vales kohas. Tempus oleks muidugi suur sündmus meie vaeses TTÜ-s.

6.12.1991. GRENOBLE: Jah, Tempuses näen ma ka TT tulevikku – vahendite ilmumist kateedrisse ja TT abil integreerumist Läänega. Sest midagi peab ka meil olema pakkuda. Tühjade kätega ei võeta kedagi kampa ega kingita SUN-e. Seetõttu olengi ma panustanud kateedris TT-sse. Aga mitmed me ülikoolis ei mõista seda ja heidavad ette, et teadus on mulle tähtsam kui kateeder. Ei ole, sest teaduseta ei olegi kateedrit…

Rääkisin eile ühe Inglismaa postdokiga, kes siin lepinguga töötab, TT levitamisest sealsetes ülikoolides. Siin on levinud arusaam, et vaid SUN maksab ja PC on anakronism. Aga **Jeremy Russelliga** vesteldes selgus, et Inglismaa ülikoolides on PC küllalt levinud. Ja TT-st võidakse olla huvitatud küll. Küsi, kas **Bengt** ei solvu, kui hakkan siin Inglismaal „omapead" tegutsema. Aga on veel üks probleem. Inglismaal on ees Ben Bennetts, kes on ärimees ja meie konkurent. Ta ütleks kohe, et neil on juba HILO ja TT-d pole neil vaja…

Sa ütlesid, et rumeenlastel läks hästi. Kuidas on sinu aktsiad **Zebo Pengi** juures? Kas Krisi taotlusele raha saada meiega koostööks on mingi vastus tulnud?

---

[13] ITC – *International Test Conference* – maailma tippkonverents testi alal.
[14] JETTA – ainus testi valdkonna spetsiaalne ajakiri – *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications.*

9.12.1991. LINKÖPING: Kas sa oled kontakteerunud Ericssoniga? Bengt oli valmis ka seda asja ajama, arvas, et see oleks sobiv võimalus kontrollida ja edendada Villemi generaatorit.

Rumeenlased tegid VHDL-kompilaatori ja nüüd proovitakse sellest ETPN[15] genereerida, et seda sünteesimisel kasutada. Kõik tehti muidugi koos **Zebo** ja **Krisiga**. Praegu kirjutab **Petru** artiklit EURODAC-ile.[16] Nad on palju tööd teinud ja see avaldab muljet, aga minu arust pole seal midagi uut. Kris on mõned uuendused teinud asünkroonsete skeemide osas, mis olid aga Varshavski poolt kasutusel juba 10 aastat tagasi. … Meie edasise koostöö eelduseks oleks, et ka meie midagi suudaksime ette näidata. Igal juhul on mul kõik materjalid nende süsteemi kohta olemas ja tööd on võimalik jätkata Tallinnas. Ka **Xinli** on koostöö jätkamisest huvitatud.

Kris ei ole rahataotlusele vastust saanud. Bengt aga arvas, et on võimeline organiseerima kontakte Rootsi ülikoolides meie testikursuste korraldamiseks. Esialgu on konkreetne väljavaade Chalmersis. Arutasime ka Inglismaa võimalust, Bengt oli optimist. Ta oli nõus kohe kontaktide otsimisega alustama. Nüüd peab märkima ka seda Rootsi-Eesti teaduse asja. On tõenäoline, et Rootsi valitsus finantseerib tema reisi Eestisse tutvumaks kohalike oludega. Rääkisin talle ka võimalikust *workshop'*ist Tallinnas, mida KTH organiseerib (kui ma nüüd mõnda saladust juhuslikult ei avaldanud?). Bengt on huvitatud selles osalemisest. Arvas, et võib sinna organiseerida inimesi Göteborgist ja tööstuse esindajaid. Arutasime veel perspektiivseid teaduse arendamise suundi Tallinnas (loodan, et sa seda diletantide ettevõtmist väga pahaks ei pane). Bengt oli huvitatud meie osalemisest tema projektides. Üks on SAAB-iga.

10.12.1991. GRENOBLE: TT-d peaks ka Venemaal levitama. Pane see tõlketöö meie venelaste abil laboris käima, koostage infokiri TT ja DIXI koospromomiseks. Need võiks saata kõigile arvutitehnika kateedritele vanas Liidus, kellega meil kontakt on. See *workshop'*i jutt Bengtiga oli liiast. Küsisin **Henochilt** Stockholmis, kas inimeste ringi võiks laiendada? Ta arvas, et mitte. Näed, ka rootslased konkureerivad omavahel, et Eestisse kanda kinnitada… Mul on nüüd sinult kaks vasturääkivat infot Ericssoni kohta: ühest küljest pole nad huvitatud ventiiltaseme testigeneraatorist (aga TT just seda on), teiselt poolt on Bengt valmis Ericssoniga asja ajama hea võimalusega **Villemi** generaatorit testida. Samas on meil nüüd koguni kaks konkureerivat tarkvara – Villemi FGEN ja Viljari TT testigeneraator. Tuleta **Viljarile** meelde, et generaator transitsioonrikete jaoks on väga tähtis. See on kuum teema praegu Läänes… Kuidas on kujunemas selle kolmnurga saatus: rumeenlased, **Kuchinski** ja meie?

Linköping. Bengt Magnhagen oma firmas DIGSIM.

12.12.1991. LINKÖPING: Halb uudis, et haige oled. Söö rohkem puuvilju ja küüslauku. See asi, mis Bengtile meeldis, oli kirjas „kommertsprojekti" nime all. Selle asja idee on otsida firma, kes on huvitatud sinu ideedest ja nende realiseerimisest kommertsproduktiks. Asja sisu on rohkem teadmiste kui TT programmide müümises. Bengt (DIGSIM) vahendaks **Raimundit** (TTÜ) ja asjast huvitatud firmat. Rõhutan veel, et see oleks eeskätt teadmiste müümine. Kas aktsepteerid sellist tegevust? Kas Bengt võib olla vahendaja? Projektis oleks arvestatud muidugi ka seda, et võimaluse korral pakkuda ka praegust TT versiooni ja samuti meie kodanike tööjõudu.

---

15 ETPN – *Extended Petri Nets* – temaatika, millega tegeles Linköpingi Ülikoolis Kris Kuchinski labor ja mis oli Zebo Pengi doktoritööks.

16 EURODAC – *European Design Automation Conference*.

14.12.1991. GRENOBLE: Sõingi puuvilju ja täna on juba OK. Olen muidugi nõus TT knowhow'ga äri tegema ja Bengti vahendamisega. Aga mida sel juhul tähendab tema solvumine minu otsesuhtlemise üle KTH-ga? Ja mida me müüma hakkame, tuleb täpsustada.

Kuigi bossil[17] on vähe aega, leidsin siiski võimaluse temaga arutada TT asja TEMPUSe kontekstis, näiteks üleviimist SUN-idele. Kahepäevase viite järel võttis **Bernard** mul nööbist ja ütles, et selle SUN-iga ei maksaks kiirustada, mõelda enne, sest PC-d muutuvad järjest võimsamaks ja püsivad konkurentsis, et tema laborit ei tasu eeskujuks seada. /…/ Üleeile oli siin üks habilitatsioon ja sellega seoses palju külalisi. Tutvusin ühe Grenoble'i ülikooli professoriga[18], kes lubas mulle tutvustada SOLO 1400-ga töötamist ja sellega tudengite õpetamist. Selle süsteemi peaks Tallinna saama, siin on see õppetöös väga populaarne. /…/ Kui koju lähed, jääd mu „residendiks" ka TEMPUS teemal, see muutub varsti aktuaalseks. Teata sellest **Mart Minile**, kes, nagu ma aru sain, saab TTÜ kontaktisikuks TEMPUSe asjus. Aga, nagu kokku leppisime temaga, hakkame tegutsema koos. Ootan praegu vastust prantslaste kontaktisikult. /…/ Koju ma uueks aastaks ei tule. Sel pole mõtet, kuna sellest saaks lihtsalt mu juubeli pühitsemise maraton – aja raiskamine, samal ajal kui on antud võimalus siin töötada /…/ Side Tallinnaga peaks regulaarsem olema. Katsu seda organiseerida. Neli rubriiki on tähtsad: kateedri perspektiividega seotud probleemid, personaalküsimused (**Kruus**), TT (Sina ise), FTGEN (Sina ja **Storožev**).

Nüüd FTGEN-ist. Palju oleneb Minskist, kas nad teevad uue lepingu. Loodan väga, et kateeder saab mõned grandid Eesti Teadusfondilt. Sellised, mis võimaldavad vaba uurimist, mitte tööstuse orjamist. Tuleb nõustuda **Zeboga**, et ülikool produkte ei suuda teha ega peagi tegema. Seetõttu peame ka meie eeskätt oma teaduse tasemele viima, mitte niivõrd rakendustele oma ressurssi raiskama ja tööle hakkama printsiibil: doktorantuur > grant > uuring > eksperiment > konverents > publikatsioon.

Sellest aspektist tuleks teha järgmist:

- praeguse süsteemiga teha eksperimente erinevate mikroprotsessoritega, anda välja mõned diplomitööd mudelite koostamiseks; see on vajalik selleks, et praegusele süsteemile mingi hinnang anda ja **Storožev** oma väitekirja kirjutatud saaks; mingeid tulemusi vajaksin kohe;
- Storožev arendagu edasi testigeneraatorit koos **Marina Brikiga**;
- **Helena Krupnova** tegelgu VHDL-i ja mudeli sünteesiga; võta ta oma hoole alla;
- viimasega seoses: AG mudeli definitsioon, interpretatsioon digitaalsüsteemide esitamisel ja mudeli süntees;
- sinule ülesanne: „Linköping – rumeenlased – **Postula**", neid eelnevaid ülesandepüstitusi silmas pidades;
- **Julia Dušinale** on sattunud väga spetsiifiline ülesanne, see on olnud seotud Minski projektiga; püüa koordineerida tema tegevust Storoževiga;
- **Viljar** on teinud viitevigade testigeneraatori; see on praegu hot topic, **Rajski** on meist väga huvitatud, aga benchmarkidega oleks vaja tegelda, siis saaks ka artikli teha ja Kanadasse konverentsile saata, mis toimub mais; see teema huvitaka ka Ericssoni;
- **Ahto Buldasel** on käsil testigeneraatori kiirendamise idee, tulemused võiksid siin TT edu suhtes väga oluliseks saada.

Janusz Rajski, Mentor Graphics üks juhte

Rajski jäi laborisse, ei läinudki mägedesse, kuna ta on peagi koju sõitmas ja aega on jäänud vähe. Rääkisime pikalt. Ta saadab sulle avalduse vormi doktorantuuri astumiseks. Diplomite konverteeritus on muidugi lahtine ja nii mängib siin praegu rolli isiklike kontaktide usaldatavus. Seetõttu on praegune periood Eestile kriitiline. Esimeste pääsukeste järgi tehakse otsustused kergesti ja kiiresti kogu Eesti (loe: TTÜ) kohta. Sinu suhtes juba leppisime kokku, ta püüab raha leida. Sinu kaudu tekiks meile võimalus koopereeruda Rajski grupiga, saaksid meie residendiks Kanadas ja meie kateeder pääseks maailmakaardile.

Boss kopeerib praegu dokumente, on laupäev ja sekretärid kodus. Käes on tal poole meetri pikkune prantsuse baguette, millest pool juba ära näritud… Head reisi kodu suunas!

---

17 Bernard Courtois – TIMA labori direktor.

18 Paul Amblard (professor Grenoble'i Fourier Ülikoolist) – hilisem TTÜ fänn, kes oli väga vaimustatud sellest, mida tähendab firma ARM nimi eesti keeles.

2. Dialoog Grenoble - Tallinn

Sellega lõppes Märdi neljakuuline Jonssoni stipendium Rootsis töötamiseks ja ta pöördus tagasi koju jõulupühasid pidama. Dialoog aga jätkus, sest Raimund jäi endiselt kaugmeetodil Prantsusmaalt kateedrit juhtima ja alanud jahti europrojektidele oli tarvis jätkata. Märdist oli saanud hea kaasvõitleja Rootsiga seotud kontaktide arendamisel, **Raimund** aga ajas Grenoble'is Euroopaga seotud projektide asja. Järgnev dialoog kirjeldab, kuidas arenes edasi TEMPUS projekti taotlemine kahest suunast – Tallinnast ja Grenoble'ist. Samal ajal aga toimus Grenoble'i suunal veel kahe europrojekti EEMCN ja FUTEG taotlemine, mis kuulusid COPERNICUS programmi. Kuna see tegevus ei käinud Tallinna kaudu, vaid otse teiste Euroopa partneritega, siis sellest konkreetsemalt edaspidi.

21.12.1991. TALLINN (Märt Saarepera): Tere Raimund, olen tagasi kodus, aga kohanemine võtab aega. Esmaspäeval alustame TT-ga. Palju õnne 50-nda juubeli puhul ja edu edaspidiseks! Sooviks, et meie edasine koostöö oleks huvitav ja kasulik (ka Sulle). Õnnitlused saad küll hilinemisega, aga selline on kohalik reaalsus. Terve nädal on liinid Prantsusmaale kinni olnud ja helistada pole õnnestunud.

Jooksvad probleemid: **Kalju Leppik**[19] Küberist tahab kateedrile müüa testrit, selle, mis sinu juhtimisel nad ehitasid. Hind on 120 tuhat rubla. Sina olevat sellest huvitatud olnud. **Jaan Võrk**[20] on valmis maksma (või raha eraldama), **Kruus** ei oska seisukohta võtta: „ei tea, mis selle vanarauaga teeme". **Viljar** teatab, et sai SOLO formaadid kätte.

22.12.1991. GRENOBLE (Raimund Ubar): Küberi testrit ei ole vaja osta enne, kui tagasi tulen. Olen huvitatud küll, aga ainult siis, kui on kedagi, kes sellel eksperimenteerima hakkaks. Ilmselt meil inimressursse siiski ei jätku, siis aga pole ka minu huvi mingi tegur. Seega mu vastus Kruusile ja **Võrgule** on – negatiivne. Selle raha eest tasuks parem kaks AT-d osta.

SOLO ja TT kokkupanek on ahvatlev. **Courtois** ütles, et võiksin EUROCHIP ajakirjas TT-st reklaamartikli kirjutada: TT kui SOLO täiendus. Muide, SOLO-l endal on ka testimise vahendeid, aga mitte ülikoolide jaoks, need on liiga kallid. Nii et TT perspektiiv on ka siin – ülikoolid. Kuidas selle EUROCHIP reklaami suhtes olla? Vara justkui, TT pole ju veel valmis?

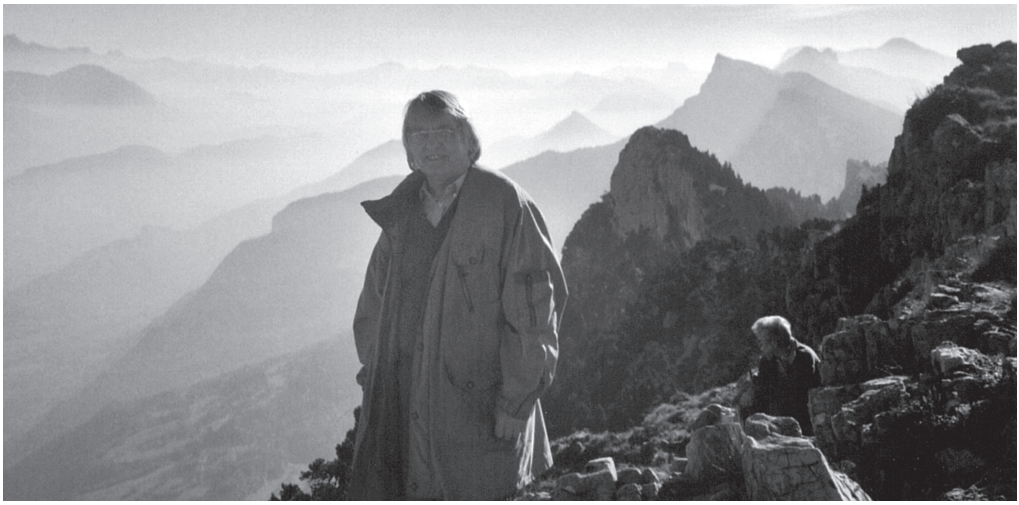
TEMPUS-e suhtes selgus ühtteist. Oleme projektis sees, mille juhiks on **Gertrud Humily** Pariisis. Rääkisin temaga ja leppisime kokku, et jaanuaris sõidan tema juurde, kus teeme vajalikud paberid valmis. Teen seal ka meie pakkumised: taotlen ühte SUN-i, SOLO tarkvara, raha mõningate kiipide fabritseerimiseks, mis Tallinnas projekteeritakse ja raha väljaõppeks Grenoble'is (üks õppejõud peaks siia ASIC projekteerimist tulema õppima ja mõningad magistrandid lisaks). Arutage kateedris, mida veel vaja oleks. Konfidentsiaalselt niipalju, et raha riistvara jaoks on piiratult, aga mobiliteedi jaoks (sõidud väljaõppe tarvis) vabamalt. Selge pilt: Euroopa tahab küll toetada, aga raha võimalikult vähe Euroopast välja lasta.

Tungiv palve: tee midagi, et saaksin operatiivselt sidet pidada Kruusi ja **Storoževiga**. Ja mu küsimused: (1) **Keevallikule** – kas **Aguri** fondist[21] raha saab ja kui palju? (2) **Toomsalule** – kuidas on lood Teadusfondiga (küsigu **Pauluselt**)?[22] Olen jõulude ja uue aasta vahel tööl (ainsana vist siin, peale **Courtois** muidugi), nii et peame sidet. Aitäh õnnitluste eest! Olen ka ise püüdnud teile helistada, aga kateeder on kas kinni või ei vasta. Häid jõulupühi kõigile!

29.12.1991. TALLINN: Sinu helistamine oli ootamatu ja sellepärast ei osanud SOLO kohta midagi mõistlikku küsida. See asi on äärmiselt perspektiivne. Sisuliselt oleks vaja teha vaid üksnes konverter. Saatsid siia SOLO disaini näiteid, aga vaja oleks disaini esitamise formaate. Reklaamiga ei tasu kiirustada. TEMPUS-e küsimus peaks olema kateedri jaoks oluline, aga info puudumisel ei paista keegi sellest midagi jagavat. Teaduskonnas ajavad seda asja **Min** ja **Rang**. Enne uut aastat midagi vastata ei saa, elutempo on siin vaevaline. /…/

---

19 Kalju Leppik – EKTA direktor.
20 Jaan Võrk – automaatikateaduskonna dekaan.
21 Eesti Informaatikafond.
22 Olavi Paulus – TU sektori juhataja asetäitja.



Alpides matkamas

Millal aspirantuur Rajski juures võiks kõne alla tulla? Olen sellest väga huvitatud. /.../ Igaks juhuks uue aasta õnnesoovid, kui rohkem masina ligi ei pääse.

31.12.1991. GRENOBLE: Olin kaks päeva mägedes. Tore oli tagasi tulles teateid kodust saada. SOLO formaatidest saan alles nädala pärast rääkida, praegu kõik puhkavad. Kanada aspirantuur tuleb kõne alla sügisest. /…/.

2.01.1992. TALLINN: Head uut aastat! Praegu on probleemiks see, et venelased, **Viktor**, **Sergei** ja **Marina** on töötud ja rahatud. See probleem tuleb kuidagi lahendada.

3.01.1992. GRENOBLE: Head uut aastat kõigile. Kell on 6 hommikul, just lõpetasin oma uue artikli mitmetasemelisest diagnostikast. Kirjutasin juba **Arvole Sergei**, **Viktori** ja **Marina** probleemist. Ainus lahendus on **Aguri** grant. See peaks tõenäoline olema. Ainus kiire lahendus on: kas eelmise aasta lepingutelt on midagi järele jäänud. Need on: Minski projekt, Agur ja minu grant.

7.01.1992. TALLINN: KTH-st saabusid prof. **Henochi** ettepanekud käsipostiga läbi meie rektori, kus **Aarna** teatab, et KTH rektor prof. **J. Carlsson** toetab asja[23] ja Aarna ka. On kiri Moskvast: alustas diagnostika elektrooniline ajakiri ADOT, kus rõhutatakse võimalust reklaamida elektroonikatooteid. Prof. **Yoshihiro Tohma** Tokyost saatis Sulle oma raamatu. Prof. **Slaba Praha** Tehnikaülikoolist tahab meie TT-d oma ülikooli. Tšehhis on enamlevinud interfeisid kas OrCAD või EDIF.

Marguse ja **Arvoga** saad sidet pidada läbi minu. Arvo on kateedripoolne TEMPUS volinik. Võin teda aidata. Ülikoolis toimub TEMPUS-ega ühinemine vana traditsiooni järgi tsentraalses korras, kuid info ei liigu. /…/ SOLO konverteri ehitamine on päevakorras. Otsustasime **Ahtoga** iganädalasi seminare korraldada, selleks, et TT korda saada ja et huvilised saaksid teada, milline on selles vallas maailma tase. Sul on hea võimalus siia postitada ISCAS-85, 89 ja/või MCNC benchmarke. Venelastega on nii, et Viktor on vormistatud **Keevalliku** laborisse mingile lepingule ja Sergei sai assistendi koha. Arutasin **Teedu** ja Arvoga võimalikke projekte **Postula** ja **Bengtiga**.

8.01.1992. GRENOBLE: Refereeri mulle Henochi kirja. Volitan Sind selle *workshopi* korraldajaks. Organisaatorina lööb ilmselt ka Keevallik kampa. TEMPUS programmis on plaanis ühinemine ühe JEP-iga. Min käis Budapestis, tahaksin teada, milles seal kokku lepiti ja kuidas see ühinemine protseduurselt toimuma hakkab. Aga lisaks sellele peame ka ise olema initsiaatoriks mingile uuele projektile. Tegelen sellega, aga kontaktide saamine pole kerge. **Courtois** ütles selge sõnaga, et tal pole aega. Kui ta laborisse tuleb, siis vaid 1-2 päevaks ja ainult selleks, et kärkida ja korraldusi jagada. /…/ TT ja Praha ülikool! Nii need asjad hakkavad olema, tarvitseb vaid suu lahti teha ja endast rääkida.

---

[23] Käsil oli seminari korraldamine Tallinnas (kaugem eesmärk: toetada Eesti elektroonikatööstust)

10.01.1992. GRENOBLE: Saadan natuke infot. TEMPUS-e poliitika pidevalt muutub. Prof. **Humily** MECC3 taotlus ungarlastega lükati tagasi, nüüd tahab ta meid uude projekti lisaks kaasa haarata. Edu ei sõltu projekti koostamise professionaalsusest vaid juhusest.

10.01.1992. TALLINN: Rääkisin **Villemiga** ja järgmisel nädalal arutame mudeli genereerimist. Kõne alla tuleb uus GLINK. See oleks vaheformaadiga, mis võimaldaks kohe alustada teiste CAD konverteritega. Villem arvas, et SOLO konverteri teeb ta ise. Kahtlen aga, kas sellise tempoga see ka valmis saab. Tempo – on siin üleüldse suur probleem. Kui poes enam saia ja leiba ei ole, ega siis keegi enam töö peale ka ei mõtle… Veel sellest, et TT eduka vahendamisega pole Bengt plaanidest kaugemale jõudnud. /…/ Sul oli juttu EUROCHIP-is reklaami tegemise võimalusest ja selle kaudu meie tarkvara levitamisest. Tingimused tarkvarale on: dokumentatsioon ja kood. Nagu näed, on koodi osa eraldi rõhutatud – EXE väärtus on hindamatu, kuna seda ei saa lugeda. /…/ Sulle on Jalta konverentsi kutse. Võin **Tõugu** käest küsida, kas see üritus ikka toimub praegusel raskel ajal.

10.01.1992. GRENOBLE: Aitähh kirjade eest Sinult (9.01) ja Marguselt (10.01). Tulid korraga just mõne hetke eest. Nii huvitavalt see e-post siis liigub. Eile olin tööl hommikul kella 6-ni ja vahetasin ühe mehega Kanadast 5 kirja öö jooksul. Rusuv on lugeda teie elutingimusi. Aga mida siis teha? Kui asi nii hull on, et midagi süüa ei ole, siis mul pole üldse mingit moraalset õigust siinpool targutada… Jalta konverentsist tee üks ingliskeelne kompaktne CALL, saadaksin kuhu vaja, siin ollakse huvitatud Ex-Liidu kontaktidest. /…/ Postula ei vasta ka mulle. Ilmselt on tal kiire. Läänes on inimesed suure stressi all, eriti firmades. /…/ Kui see SOLO spurt mööda saab, võtke käsile TT dokumentatsioon.

11.01.1992. TALLINN: Siin on vastus N Liidus toimuvate diagnostikakonverentside kohta: SAPR-92 (Jalta, mai 92), ASK-92 (Kaunas juuli 92), Diagnostika kool-seminar (Pjatigorsk, sept. 92).

Refereerin Henochi ettepanekut. Arvatakse, et Sa tahaksid olla selle koostööprojekti meie teaduskonna poolne esindaja. Nemad kontakteeruvad oma valitsuse ja tööstuse esindajatega, et leida finantseerimist. Samuti valmistatakse ette *workshop* Tallinnas aprillis-mais. Soovitatakse, et ka meil tekiks kontakt meie valitsusega. /…/ Eesmärk: luua uurimis- ja arendusgrupp elektroonika väljatöötamiseks TTÜ juurde, kaugem eesmärk oleks tootmise käivitamine Tallinnas. Järgneb sõelale jäänud praeguste projektide lühiülevaade, meie poole esindajateks on märgitud: arvutite kat. **Ubar**, elektroonika kat. **Min**, automaatika kat. **Kukk**. Meie tööstuse pool peab selguma edaspidi. *Workshop* valmistatakse ette Rootsis. Detailne tegevusplaan edaspidiseks koostatakse peale *workshop'*pi . Esialgne plaan on koostöö 5-ks aastaks koos „soliidse“ finantseerimisega.

Bengt loodab, et saab vahendajaks Eesti-Rootsi sellele teadusprojektile, mis puudutab Sinu ja **Keevalliku** pakkumist. Kui see nii läheb, siis tuleb ta Tallinna kontakte looma. Ütles, et kavatseb ka Rootsi tööstuse esindajaid kaasa tuua. Oleks hea, kui need mõlemad aktsioonid kattuksid nii, et tekiks võimendusefekt, aga mitte vastupidi. Mõtlen seda, et teema võiks olla sama, aga projektid erinevad. Nagu ma aru sain, välistab **Henochi** projekt Bengti osaluse KTH-TTU koostöös, aga võib-olla oleks talle mingi muu roll, näiteks kontaktid tööstusega.

11.01.1992. GRENOBLE: Subjekt: WORKSHOP Tallinnas. Korralda üks koosolek: Sina (esindad mind), **Keevallik**, **Min**, **Kukk**. Tutvustad neid Henochi aktsiooniga (ma ei tea, kui palju nemad asjaga kursis on, Min pisut teab). Milline võiks olla meie poolne programm, ettekanded? Kas teha kogumik, kes teeb? Ehk rootslased? Kes esindaks meie poolset tööstust? Meie poolt pakutavate projektide temaatika? Paneksin suure rõhu ASIC projekteerimisele meie poolt. Kui TEMPUSE-e kaudu ei saa, võib-olla oleks just selles projektis võti tööjaamade saamiseks. Projekt tuleks valitsuse silmis suurema kella külge panna, perspektiive tutvustada, et lõppkokkuvõtteks ka Eesti Valitsuselt finantseerimist saada (disaini töövahendite hankimiseks elektroonikatööstuse taaskäivitamiseks Eestis).

11.01.1992. TALLINN: Sain 2 kirja Sinult, millele kohe vastan. Saad ise kontrollida, kui kiiresti see kirjavahetus käib. Minu hinnangutel: 1 kuni 1,5 ööpäeva. Meie venelaste grupp ei tee praegu midagi, aga tahavad teha. Minskiga on leping läbi ja uusi töid neile pole. Lubasin venelastele Bengti ja **Postula** disaine ja/või formaate tutvustada, otsustavad ise, millistest töödest hakkavad osa võtma. /…/ SOLO spurt, kui sellisest fenomenist saab rääkida, ei puuduta kõiki tegijaid. Dokumentatsioon on tegemisel. Katsetega pole alustatud. Mudeli probleemid saavad selgemaks järgmisel teisipäeval, **Villemil** pole

varem aega. /…/ Täna olid siin TEMPUS-e esindajad Brüsselist. Baltikum on ametlikult programmi liige ja Eestis on ka oma keskus olemas. Kohalik koordinaator on **Võhandu juunior**. Meie teaduskonna volinik on **Arvo Toomsalu**. - - - Olen püüdnud korraldada nii, et kõik kateedri kodanikud saaksid Sinuga tahtmise korral sidet pidada. Selleks on ühes masinas avatud kohalik postkast. Kui Sa kellelegi (näit. Margusele) kirjutad, siis pane subjektiks selle kodaniku nimi.

Lühidalt sellest, mida TEMPUS-e esindajad Brüsselist rääkisid. Programm on Vahe-Euroopa maade õppetöö edendamiseks. Teadusprojekte ei toetata, aga kui need on ühtlasi ka õppeprojektid, siis küll. 1990 aktsepteeriti 11% taotlustest, 1991 – 23%, aga see protsent sõltub ka riigist. Kreeka, Hispaania, Portugal on eelistatud riikidele Saksamaa, Inglismaa, Prantsusmaa. Endised DDR ülikoolid esindavad EC-d. Eesti pole oma prioriteetseid teemasid veel kinnitanud. Kõik alustavad projektid käivad läbi rahvusliku TEMPUS keskuse, mida juhatab Võhandu-juunior. Olemasolevate projektidega ei saa enam ühineda, kuna nende pikendamise tähtaeg oli 31. dets. Uute projektide kinnitamise tähtaeg on 31. jaan. Kui aga taotluses on ainult EC riigid ja Eesti, siis on kinnitamise tähtaeg 29. veebr.

Kui meie suund on ASIC, siis tuleks neid aktsioone koordineerida. Keevallik ütles, et on huvitatud, et teie suunad koos areneksid. See peaks ka loogiline olema. Tuleks kuidagi ühendada taotlusi SUN-ide ostmiseks, Rootsiga koostööd ja üliõpilaste õpetamist ASIC projekteerimiseks.

11.01.1992. GRENOBLE: Saatsin Viljarile kiire kirja (6.01) küsimusega TT esitamisest EDAC-il Brüsselis „University Booth'il". Tänasest tema vastusest selgus, et benchmarke veel pole. Seega on liiga vara ka TT-ga välja minna. /…/ Nüüd juba konkreetne ülesanne **Sergeile**: eksperiment protsessoriga 286. See töö tuleb lõpetada ka sisuliselt. Mitte nii, et leping Minskiga lõppes ja töö lõppes. Meil on vaja ju kusagilt raha saada, et meeskonda hoida. Aga selleks peab meil ka midagi olema, mida „lauale panna". Või siis töö üldse lõpetada, kuna tulemusi pole (olgu siis viga minus või kelleski muus, sel pole enam tähtsust, kui me ei suuda raha hankida). /…/ See on tore, et kateedris mulle postkasti lõpuks korraldasid. Palusin seda Viljaril teha juba ammu. /…/ Või Võhandu on niisiis TEMPUS-e koordinaator Eestis. Aga kas on ka mingi komisjon, kes hakkab projekte eelnevalt läbi vaatama? Või teeb seda Võhandu üksinda? Või lähevad kõik projektid sõltumatult Brüsselisse? Eile saatsin Karlsruhe, Müncheni, Siegeni ja Brunelli ülikoolidesse ning Siemensisse kirjad kontaktide loomise eesmärgil TEMPUS-e raames. Rootsit ei saa kahjuks TEMPUS-ega siduda, sest ta ei ole EC. Võib-olla õnnestub mul Pariisis midagi teha, et enne 31.01. mingisse **Humily** projekti pääseda.

13.01.1992. TALLINN: Rääkisin täna **Keevalliku** ja **Miniga**. TEMPUS-e protseduuride kohta info saamiseks peaksid Brüsselisse helistama või faxitama. Nad sadavad Sulle postiga *„TEMPUS scheme for cooperation and mobility in higher education between Central/Eeastern Europe and the European Community"*. Võin MECC4 jaoks veel lisada info Humily'lt, et taotluse jaoks on vaja Eesti ülikoolilt ametlikku sooviavaldust. Min on teaduskonnas ametlik esindaja ja saatis juba sellise kirja Humily'le. Sellel aastal läheks osavõtu soov arvesse veel siis, kui dokumendid postitatakse Brüsselisse 31. jaan. Rootsi võib ühineda osavõtva maana, kui projektis on juba vähemalt 2 EC esindajat. Rootsi valitsus on selleks eraldanud 9 milj. SEK-i. Siin arvatakse, et sellise suure projekti edu on küsitav. Mõistlik oleks katsetada projektiga, kus oleks EC-st üks ülikool ja üks tööstuse esindaja ning meie. Tööstuse esindajaks võiks olla näiteks Siemens, kellelt saaks osta tehnikat. Suund ASIC disainile meie kateedris on Keevalliku poolt aktsepteeritud. Ta helistas **Tanile**, et teada saada ASIC disaini plaane Eestis. Vastus oli, et keegi nii väga ei tegele. Keevallik ütles siis talle, et meie (Sina ja tema) nüüd hakkame tegelema.

Ungariga koostööst oleme selleks aastaks väljas. Välissuhted väidavad, et pole Sinult mingeid materjale saanud. *Workshop*'i algmaterjalid saadeti ka **Kukele** ja **Minile**. Keevallikule oli asi uus. Temaga ka alustasin. Ta on ajaliselt hõivatud, aga lubas aidata organisatoorse poole pealt. Samuti lubas korraldada ASIC projekteerimise idee läbi surumist kõrgemates sfäärides. Min oli teinud abisaamise taotluse **Mehis Pilvele** (EW Riikliku Välismajandusameti peadirektor) ja **Rein Loigule**. Paberil on **Tanneri** allkiri. Sellest sammust on ka Rootsi poolt informeeritud. Muide, sarnase koostööpakkumise on teinud ka Helsingi Tehnikaülikool. Seda teatas Min. Ilmselt on selle taga ka valitsusabi.

14.01.1992. GRENOBLE: Ma pakkusin **Courtois**'le Rootsi kaasamise võimalust meie TEMPUS projekti. Ta laitis selle mõtte maha, sest Rootsi ei ole EC. Kahju on Ungarist. Oli see siis mu Rootsis

viibimise ajal, kui neid Ungari pabereid tehti. Igal juhul, mind unustati – **Min**, **Võrk**? Kõik ju teadsid väga hästi mu koostööd ungarlastega. **Andras Pataricza** lubas korraldada ise Ungarist vastavasisulise ettepaneku meie ülikooli juhtidele – ka arvutite kateeder koostöösse haarata.

Ahto Buldase ees müts maha, et ta mu saatusliku vea avastas. Teadsin küll ju kogu aeg, et tegemist on veel hüpoteesiga, mis vajab tõestamist, aga nii palju on muud tööd olnud. Uskusin liiga palju intuitsiooni. Ja kindlust süvendas vääralt see, et see sama probleem oli ka ühe kandidaadi väitekirja osa (**Andrus Voolaine** Küberist). Suru Ahtol minu poolt kätt. Viimasel hetkel jõudis jaole.

16.01.1992. TALLINN: Praegusest TT-st tuleb mõned asjad ilmselt välja jätta. Näiteks see, mis on seotud simuleerimisprogrammiga, kus Ahto vea leidis. Kuna on kahtlane, kas **Villem** oma TGEN-i sisu avalikustada tahab, siis ilmselt realiseerib Viljar ühe klassikalise TG algoritmi (PODEM või FAN). Programmide koodid peavad saama avalikustatud ja neid peavad suutma lugeda ka teised programmeerijad. Programmeerimise hea stiili eest hakkab seisma **Viljar**. Villemi abiga ei saa praegu suuremat arvestada, kuna tal on kogu aeg väga kiireid asju vaja teha. Ei ole aga aega oodata. Viljaril ja Ahtol on õppetöö lõppenud. Kui ma (Sa) ei suuda neid praegu vajalikul määral koormata, on ka seekordne ponnistus vett vedama läinud.

Kui ootad mingile küsimusele vastust, millele ma veel ei ole reageerinud, siis küsi palun uuesti. Siinses mitmekasutaja personaalarvuti süsteemis on mul tekkinud (ajutine) segadus meie kirjavahetuses.

17.01.1992. GRENOBLE: TEMPUSe taotluse esitamise tähtaeg on meil nüüd rahulik 29.02 (31.01. versioonist jäime välja). Praegu on meie partneriteks IMAG/TIM3 (**Courtois**) ja *Ecole Polytechnique Feminine* (**Humily**). Õhus on ka Rootsi (**Henoch**, KTH), esialgu. Millised on **Mini** partnerid? See küsimus on sellepärast, kas tuleb ühine või eraldi kaks taotlust. /… / Rõõmustab seminaride algus kateedris. Üldse, Sa oled tubli. /… / Vastamata on **Storoževile** saadetud küsimus 286 benchmarkide kohta. /… / Veel üks temaatika, mis võib huvitav olla: üldised AG-d ja Prolog (tehisintellekt). Need on lähedased asjad. Prologi puuduseks on minu meelest kaugenemine traditsioonilisest matemaatikast (meie AG on katse üldistada Boole'i diferentsiaale diskreetseteks diferentsiaalideks).

Olen pannud rõhu nüüd paari artikli kirjutamisele, eesmärgil jõuda selle tegevuse käigus mingite konkreetsete projektülesannete püstitamisele ja sealt kaudu võimaliku koostööni siin ja mujal Euroopas selleks ajaks, kui hakkan koju tagasi tulema.

Siin TIMA laboris paistab see raske olevat, sest inimesed on kõik oma probleemide küljes kinni. Tudengitel on diplomitööd juba sügisest fikseeritud (pisut hilja jõudsin siia) ja nii olengi tegelikult üksi. Lülituda siinsetesse probleemidesse pole mõtet, siis jääksin vaid õpipoisi rolli. Neil on vaja siin „musta töö" tegijaid, mitte ideede „generaatoreid".

Mul oli jutuajamine **Courtois**'ga. Ta oli ära 15 päeva. Tema arvates teeb **Humily** lihtsalt uut monstrum-projekti, kus meie küll mõlemad sees oleme, aga šansse läbi minemiseks on sellel vähe. Uue projekti alustamiseks spetsiaalselt Eesti jaoks olevat aga aega vähe, üks kuu olevat vähe. /… / Lülitasin BC ühe oma artikli kaasautoriks. Siin on see kombeks, boss vankrile võtta. Tegin ettepaneku artikkel EUROMICRO konverentsile saata. Ta vangutas pead, jäi mõttesse, kokutas natuke, siis ütles otse välja, et selle konverentsi tase pole kõrge ning pakkus hoopis välja Euroopa Testikonverentsi ETC-93, mis toimub Rotterdamis. Nüüd meenus mulle, et **Kris** kunagi mainis, nagu BC-l poleks EUROMICRO juhtidega klappi. Nii need otsad nüüd kokku jooksidki.

17.01.1992. TALLINN (kiri **Viljarilt**): Ma ei tea, kas **Märt** kirjutas Sulle SOLO plaanidest lähemalt. Ma ise arvan, et Villem ei saa oma asjaga valmis. Saadan Sulle *uudecode* ja instruktsiooni selle juurde. Siis saame hakata saatma postiga igal ajal uusi programmijuppe.

Tervitusi näljasest Tallinnast kõigi poolt.

18.01.1992. GRENOBLE: Mul on tõsiselt kurb näljase Tallinna pärast. Ja piinlik ka. /… / **Humily** saatis rea instruktsioone selle kohta, mida tuleks taotluse kirjutamisel arvestada. MECC3 polnud vastu võetud „regionalismi pärast – *everybody-to-everybody*". Mida see küll peaks tähendama? Aga rõhutama peaks niisugusi asju nagu „*education in humanities for engineers*", „*non-EC countries*", mis suurendaks aktsepteerimise tõenäosust (vastupidiselt **Courtois** arvamusele), tööstust tuleks kaasta samuti, loomaks praktika võimalusi tudengitele jne.

Konsulteerisin BC-ga Lääne võimalike tööstuspartnerite kaasamisest. Ta oli väga pessimistlik. Tööstus on väga ratsionaalne kõige suhtes, mis puutub raha kulutamisse. Rahaga ollakse siin tõesti pedantsed. Courtois keeldus ka mu Pariisi reisi kinni maksmast, ütles, las mu oma ülikool maksab. Ega ma ise ei kerjanudki, ta sekretär hakkas ise oma peaga mu reisi vormistama ja siis sai bossilt võtta.

Veel üks küsimus: kuhu viidata selle info osas, et Rootsi Valitsus on eraldanud TEMPUS-e projektide toetamiseks 9 miljonit. Mul on seda vaja väga teada, kuna plaanin teha konkreetsed ettepanekud Ericssonile ja **Postula** firmale Syntesiale.

18.01.1992. TALLINN: Saatsid korraga palju infot. Sain kätte alles täna, kuna puhkepäevadel meil puhatakse ja maja peab tühi olema. Saadan Sulle faksiga rea dokumente, kuigi faksile kindel olla ei saa. **Mart Min** sai täna Pariisist 15 lehekülge, millest kohale tuli 5. Selles, mis tuli, oli kirjas, et Rootsi KTH on meie uue taotluse MECC-Mob uus liige.

21.01.1992. GRENOBLE: Rõõm Su kirja üle. Päeval sain korraliku peapesu **Madise** käest, et pikad failid teele saatsin. Saadan ülejäänud diskettidel abikaasa kaudu, kes tuleb mulle külla. Neid on kokku umbes 4 Mega. Üritasin praegu Minile tal Pariisist saamata jäänud kirjade näidiseid faxiga saata. Päeval on seda võimatu teha. Nüüd öösel sain korraks Tallinnaga kontakti küll, kaks paberit läks läbi, aga kolmas jäi toppama. Ja seni pole õnnestunud ühendust enam saada.

21.01.1992. TALLINN: Nüüd on tehtud, mis teha andis. Sinu faxist jõudis Minile kohale küll midagi, aga mis nimelt, on raske paberilt aru saada. Oleme veel kaugel infoühiskonnast. Saatsin Su abikaasaga ka hulga pabereid. Mis nendest kasu võib olla, on teadmata, aga tehtud nad said. Nende koostamisega sai (vähemalt Minile) selgeks, kui suures infoblokaadis me tegelikult oleme. Min ja Keevallik leidsid, et kui Sul üldse midagi teha õnnestub, on ka hästi.

Sul peaks olema see info, et seoses MECC natsionaalprogrammiga tulevad kaks sakslast (München, Karlsruhe) veebruaris Tallinna projekti ja meie vajadusi täpsustama. Nad oleksid Mini partnerid. Lisaks soovib ta veel kaasa haarata Madriidi. Veel üks **Keevalliku** info. Ka soomalstel on raha eraldatud Eesti toetuseks ja Keevallikul on pakkumine Tamperest. Teema on ASIC disain.

Europrojektide taotlemismaraton

Projektide taotlemise pinge kasvas ja oli vahepeal kogu olukorra suure taotlejate arvu tõttu, kes tundusid igaüks „oma asja" ajavat, väga segaseks ja vastuoluliseks muutunud. Aga eks tuligi oma asja ajada, sest igal ühel olid ju oma liin ja omad partnerid. Neid tegevusi lihtsalt ühitada „ühe katuse alla" oli raske. Pealegi, kõik tahtsid kõigi paatides olla põhimõttel, et ehk vähemalt üks üritus õnnestub. Tegelikult õnnestuski, ette rutates, kogu selle maratoni finišis TEMPUS suunal vaid üksainus üritus ja seegi väga kummalisel, ootamatult tärganud moel. See oligi see Grenoble – Darmstadt – Tallinn TEMPUS JEP 4772, mille initsiaatoriteks olid **Manfred Glesner**, **Bernard Courtois** ja **Raimund Ubar**. Kirjavahetus aga Tallinna (**Märt Saarepera**) ja Grenoble'i vahel jätkus. Veel ei olnud meie TEMPUS-e lapsuke sündinud ja veel oli ka kõikide teiste aktsioonide suhtes palju lootusi.

Ekseldes võimaluste risttules

27.01.1992. GRENOBLE: Olen tagasi Pariisist. Seiklusi kui palju. Naisel tehti Šeremetjevo lennujaamas kohver tühjaks, minul tõmmati Pariisis rahakott taskust, Pigalle'i väljaku lähedal pääsesime õhtul napilt-napilt narkomaanide küüsist…

Aga nüüd tööst. Olin mitmel koosolekul meie partneri madam **Humily** juures Pariisis (*Ecole Polytechnique Feminine*), kus arutasime taotluse koostamist ja TEMPUS-e poliitilist tausta. Kas projekt Brüsselis läbi läheb, sõltub sellest, kuidas Eesti haridusminister (**Rein Loik**) oma riigi tähtsad teemad reastab. Nägin kirja, kus teda novembri algul Brüsselisse TEMPUSe eesmärke arutama kutsuti: „*Mil-*

line on Eesti poliitika Tempuse osas? Millised on teemade prioriteetid?" Arutasime vajadust ja võimalusi valgustada meie valitsust küsimustes, mis valdkondades oleks Euroopa abi Eestile kõige efektiivsem. Kahtlemata oleks selleks valdkonnaks eesti tööstuse konkurentsivõime tõstmine. Aga siin jõuaksime juba loomulikule järeldusele, et erilist tähelepanu tuleks pöörata tänasele majanduse mootorile terves maailmas – elektroonikale ja sellel põhinevale infotehnoloogiale.

Vaatasin neid kolme daami, kes moodustasid EPF-i välissuhete osakonna ja rabelesid mitme TEMPUS projekti tehniliste küsimuste otsas. Imestasin, et nad polnud veel närvipuntraks muutunud selle pidevalt streikiva faksimasina otsas ja ikka veel leidsid aega ka minule ühes või teises küsimuses appi tulla, kuidas taotlust vormistada, mis tähtis on ja mis mitte. Raske oli just see, et ei teadnud, milline on see sobilik mõõt: kas pakud (raha küsimisega) üle või oled liiga tagasihoidlik. Prof. **Humily** soovitas vaadata juba realiseerunud projektide näidiseid. Juba **Mart Min** üksi oli mobility osas rohkem pakkunud kui Budapest, Praha jt. olid üldse saanud.

Lisaks veel üks asi. Mulle tuli pakkumine veel ühes teises projektis osalemiseks, mille initsiaatoriks on Darmstadt. Asun tegevusse ka selles liinis. Saadan lühiinfo selle kohta, mida siin kavandanud olen: ASIC disainile suunatud laborivarustus, SUN tööjaamad ja uued õppeained.

28.01.1992. TALLINN: Tere. Said siis Pariisis hulga seiklusi läbi elatud. Meil ei juhtu nii lõbusaid asju. Sain Su teate kätte tööpäeva lõpul ja nii ei saanud TEMPUSe probleeme kateedris arutada. Min oli veel kohal ja tunneb huvi, kas see teie poolt Pariisis ette valmistamisel olnud MECC-Mob projekt oli regionaal- või natsionaalprojekt? Humily poolt 15. jaan. saadetud projekti vormistamise näidised jõudsid täna Min'ini. Need on need materjalid, mis oleksime pidanud aluseks võtma siinpoolsete aktsioonide juures. Kuna neid ei olnud, siis sai kõik tehtud n.ö. oma peaga. Meil oli teada, et regionaalprojekti esitamise tähtaeg on 31.01. ja natsionaalprojektil 29.02. Nüüd selgub, nagu oleks MECC-Mob regionaalprogramm seotud ainult mobility-ga. Su materjalides oli, et osaleb ka Budapest, aga natsionaalprogrammis teisi idapoolseid maid peale Baltikumi meie info järgi olla ei tohi. Olema aga peab veel üks Balti riik (Läti, Min võib ühenduda).

Haridusministeeriumi poolt esitati 6 prioriteetset valdkonda, esimese prioriteediga – *„management"*, teine prioriteet on – *„natural ja technical sciences"*. Minil on lisaks MECC-le valmis veel projekt *„Development of Modern Education on the Design of Electronic Circuits for Telecommunication Systems for the TTU in Estonia and TU Sofia in Bulgaria."* Osavõtjad on Taani, Soome, Iirimaa, Eesti, Bulgaaria. Tähtaeg on 31.01. Siin on sees ka VLSI disain. Sellele lisaks on ta veel koos lätlastega ühes projektis *„Interactive Distance Learning for Electronic System Engineering."* Võimalik, et ülikooli peale on veel projekte, aga aega anti seekord väga vähe ja tõenäoliselt neid palju ei ole.

Sinu teates oli juttu uuest pakkumisest, mille initsiaatoriks oleks Darmstadt. Siin on ka **Keevallikul** pakkumine Tamperest, aga nemad saavad ainult liituda olemasolevate projektidega. Keevallik arvas, et ehk MECC-iga, mis tegelikult ei ole võimalik. Äkki õnnestuks neid siduda Darmstadtiga, teemaks *„CHIP Design"*?

29.01.1992. GRENOBLE: Ei oodanud nii kiiret reaktsiooni. See projekt, mille Humily'ga tegime, oli natsionaalprojekt, millel aga umbrella'na peal regionaalne mobility. Sealt ka see vahetusprogramm Budapestiga. Täpsemalt, see oli MECC-Mob'i subprojekt Baltimaade kõrghariduse restruktureerimiseks. Teise Baltimaa kategoorilist nõuet partneriks olemise kohta ei ole. Aga Humily on arusaadavatel põhjustel sellest huvitatud, et see teine partner ka oleks. Seetõttu oli ta pisut pettunud, et Min siin pole midagi teinud, mida ta Budapestis olles oli lubanud. Aga Riia vist tuleb sõltumatult KTH kaudu mängu – esmaspäeval sai Humily faksi Stockholmist TEMPUS-es osalemisest, milles mainiti ka Riiat.

Darmstadtist ei ole vaja esialgu palju rääkida. **Courtois** ei tahtnud, et see info Humily'ni jõuaks (hoiata Mini, kui ta sellest teada sai). Tampere kaasa haaramiseks oleks mul vaja infot, mida võimaluse korral välja pakkuda. Aga tõenäoliselt pole see võimalik. Sest sakslased tahtsid oma programmi raames, mis kestab veel ühe aasta, ühe kiire ja vähese paberliku tööga seotud alamprogrammi teha.

Mu ees on kiri 04.12, kus teatad **Pilvele** ja **Loigule** saadetud **Tanneri** poolse abisaamise toetusest Rootsi-Eesti koostöö teemal. Kas neilt on mingi vastus, poolteist kuud juba möödas? **Henoch** märgib *workshop*'i ühe eesmärgina: *„present the needs of TTU"*. Kas saad pidada nõu selles küsimuses Keevalliku, Mini ja **Kukega**?

3**0.01.1992. GRENOBLE**: *„Design ja Test"* detsembri numbris on pikem artikkel testimise õpetamisest. Mainitakse, et hiljutine uuring USA-s näitas, et 40-60% digitaalelektroonika inseneridest puutuvad paratamatult kokku testimise probleemidega ja 15-25% nendest saavad testimise spetsialistideks. Artiklis on ülevaade ülikoolide õppeprogrammidest, mis on pühendatud testimisele, ja üks põhjalikum programmi idee. Selle artikli põhjal tekkis mul kaks mõtet: (1) Digital Design'i labori välja arendamisel (kui tahame ka kiipide projekteerimise ja valmistamiseni jõuda, mis on ilmselt meie eesmärk) ei pääse me mööda ka testimise vajadusest. Kui kiip jõuab valmistajalt kohale, siis peab teda ka katsetama hakkama. Järelikult tuleb meil ka otseselt testimise vahendeid hankida; (2) Need testimise vahendid peaksid terve mõistuse järgi kuuluma sihukesse laborisse, mille nimi võiks olla *„Measurement ja testing"*.

31.01.1992. TALLINN: *Workshop* rootslastega. Eesti tööstuse poolelt on planeeritud koordineerida tegevust **Harry Tani** kaudu. Meie kompetentsi kirjeldav paber on saatmata. Kui Sa saaksid formuleerida, mis on Sinu n.ö. kompetents. **Pilvelt** on mingi vastus, aga selle sisu ma teatada ei saa, kuna ei tea seda. Tean, et polnud positiivne. Nad seal ladvas pole eriti kahe jalaga maa peal. Pealegi on meil nüüd uus valitsus, aga seda alles kinnitatakse. Rootsist on tulnud kaks teadet, mille sisu teatan esmaspäeval, kuna need on **Mini** käes (ja nädalavahetusel peame me puhkama). Nad olevat *workshop'*i finantseerimise saamiseks pöördunud valitsuse poole. Rootslased tahavad ilmselt enne *workshop'*i toimumist veel meie juurde tulla asja selgitama.

Tegelesime TT raames testi genereerimise probleemidega. Praeguses seisus ei ole **Villemilt** suuremat loota ja seega tuleb ilmselt uus generaator kirjutada. Lahkasime D-algoritmi, Podemit ja FAN'i. **Ahto** selgitas Sinu akseleraatori ideed. Homme hakkame uut algoritmi nuputama. Sain kätte Sinu saadetud EDIF-i süntaksi ja uue artikli. Samuti sain ACM ja IEEE liikmekaardid. Pole saanud midagi **Rajskilt**. Jälle on võimalus Johnsoni fondi kaudu Rootsi minna. Teadet nägin täna, aga avalduste esitamise tähtaeg oli üleeile. Sa võiksid **Viljarit** või Ahtot[24] komandeerida. Konkreetset persooni saab hiljem täpsustada, aga kohad kinnitatakse praegu.

03.02.1992. TALLINN: Helistasin **Bengtile**, ta on TT kohta saatnud materjalid **Torinole** ja **McCluskey**'le. Lubas mulle saata DIXI manuaali ja FTGEN jaoks selle näite, mida ma Rootsis proovisin pusida. DIXI-t tahab **Teet** kasutada oma kursuse laborites. **Bengtil** oli selle üle hea meel. See oleks ju tema poolne investeering meile missugune! Seoses Eesti-Rootsi teadusprojektiga tahab ta tulla veebruari lõpus Tallinna Keevalliku DILOS-ega tutvuma. Rääkisin talle ka *workshop'*ist. Nimelt, kui tahab selles osaleda, pöördugu **Henochi** poole. Ütlesin, et tema huvid sobiksid, aga *workshop* on laiema haardega.

Oleme Ahto ja Viljariga nüüd mitu päeva pusinud testi genereerimise algoritmi kallal. Asi edeneb. Oleme vaadanud ka Sinu töid, et asjale kinnitust saada. Leidsin Sinu paberikuhjast ka Villemi sellesisuliste tööde kohta materjale. Olete 1,5 aastat tagasi ka PODEM'it uurinud ja midagi sellest ka kasutada püüdnud. PODEMi kohta on olemas ka tema realisatsioon BDD-del, mis on kirjelduse järgi klassikaline Branch ja Bound algoritm. Pusime edasi. /… / Meie esimese seminari tulemusena kolm nädalat tagasi selgus, et FAG-i koostamine on eriti keerukas ülesanne ja selle lahendamine on PC ressursse arvestades lootusetu. Järjestatud muutujatega FAG (OBDD) on aga oma tippude arvult palju suurem kui SAG. Mis Sa sellest arvad?

03.02.1992. TALLINN: Täna tutvustasin Sinu projekti **Keevallikule**, tema laborile ja Kruusile. Homme on lootust tagasisidele. Siiani on Sinu tegevus heaks kiidetud. /… / Järgmisel nädalal on *workshop* Tampere ülikooliga. Selle raames on planeeritud ka TEMPUSe mingi projekti koostamine. Kui on võimalik, et soomlasi saab siduda Darmstadti projektiga, siis anna teada.

Sinu idee test ja digitaalmõõtmised analoogmõõtmistega ühte laborisse panna on Mini ja Keevalliku poolt heakskiidu leidnud. Ainult varustuse osas tuleb asja põhjalikumalt kaaluda. HP on kallis firma ja oli meil embargo all. Rääkisin **Kalle Tammemäega**. Hea, kui saad meile HP kohta rohkem infot saata. Siin on mõnda aega arendatud (Min ja Keevallik) suhteid Soomes oleva Mentor Graphics'i esindajatega. Nad tulevad järgmise nädala *workshop'*ile. See firma on tõenäoliselt nõus meile andma oma vanad tööjaamad (SUN/APOLLO – kui palju, ei tea) ja ka nende softi. See puudutab Chip Design teemat. Mentor kasutab osaliselt CADENCE'i softi, aga muidu on nad konkurendid. Kas Sinu arvates oleks

[24] Ahto Buldas siiski jõudis „rongile" ja veetis samuti kolm kuud Linköpingis Kris Kuchinski juures.

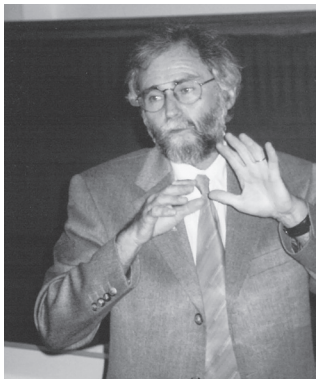
Mart Min töötab Tallinnas Mme Humily projekti heaks

nende süsteemide ühendamine võimalik? Palli veeretatakse endiselt ühes suunas: kas ASIC disain või laiemalt VLSI disain. Ainult et nende võimalike softide hulk ei peaks suur olema.

Min on Riiast uurinud lätlaste osalemist meie natsionaalprogrammis. Neil on see tõesti KTH-ga kooskõlastatud, aga kellega, pole teada. Naljakas lugu. Min helistas **Stawströmile**, aga too ei teadnud midagi ja **Henoch** on ära. /… / Kui suured on mobility võimalused? See on siiani ebaselge.

04.02.1992. GRENOBLE: Tere, **Märt**! Vabandan, et väike paus tekkis. Olin selle nädalavahetuse lihtsalt ära ja ka esmaspäeva. Suur tänu kõigi kirjade eest. Oli hea meel kateedris toimuvast kuulda. Õppeplaani osas oleks vaja olnud ka mahtusid ja infot struktuuri kohta: õppeliinid, valikained, ainepunktid jne. Varem või hiljem tuleb see inglise keelde viia, et meie partneritel tekiks ülevaade, mida meil praegu õpetatakse. Ootan oma pakkumise korrigeerimist. Kui Mentorilt midagi saame oma labori jaoks, on see ainult suurepärane.

Workshop. Püüan täna formuleerida „meie kompetentsi". Aga ka siin on nüüd asi segane, kes TTÜ poolt asja juhib ja kirjavahetust peab. Kas ma võin **Henochi** kirjale reageerida? Või teeb seda keegi teine? Kes? Või teevad seda mitu inimest eraldi ja korraga? Mul on kahju, et pean Sulle nii raskeid küsimusi esitama. Darmstadt vaikib. **Humily** ootab meie projekti lõplikku varianti 15. veebruariks.



Courtois Grenoble'is on aga väga pessimistlik, et sellest projektist midagi saab

Saatsin teile Hewlett Packardi materjalid, mille neilt sain. Koos nendega ka oma teise artikli. Oleks tore, kui keegi sellest kinni hakkaks. Ma mõtlen: ühe programmi kirjutaks ja eksperimente teeks. Ei oska praegu ise kedagi välja pakkuda, sest mul pole juba kaua aega tagasisidet vene rühmalt – ma ei tea, millega nad tegelevad. **Ahto** ja **Viljar** on aga hõivatud. **Villem** ajab oma asju. Sina? /…/ Bengt saatis ka mulle Micro-DIXI manuaalid koos diskettidega reklaamimiseks. **Courtois** ütles aitäh, kui talle näitasin. Aga ega ma muud osanudki nendega siin teha. Sest PC-sid siin pole ja simulaatorid PC-del kedagi ei huvita/… / Tuletan **Rajskile** meelde, mida ta lubas. Olen talle küll juba ühe maili saatnud, mis on vastamata jäänud. Ehk on selline stiil Ameerika mandrile omane. Kuigi – Janusz Rajski on ju poolakas.

Märt, palun näita seda kirja **Margusele** kooskõlastamiseks, siis kooskõlastada ka dekaaniga ja viia seejärel **Tannerile**:

*„TTÜ Prorektorile. Käesolevaga palun lülitada Arvutite kateedri V kursuse üliõpilased **Ahto Buldas** ja **Viljar Tulit** Jonssoni fondi grandi kandidaatide hulka. Mõlemad üliõpilased on alates I kursusest minu juhendamisel ära teinud märkimisväärse töö, olles tarkvara autoriteks, mida kateeder üritab juurutada lääneriikides. Üliõpilaste lähetused oleksid selles ettevõtmises suureks abiks. Nimelt on juba meie väljatöötatud tarkvara lülitamisel õppetöösse nii Stockholmi Kuninglikus Tehnikaülikoolis kui ka Linköpingi Ülikoolis. Buldas ja Tulit selle tarkvara autoritena oleksd Rootsi lähetamise puhul võimelised ülikoolile suurt kasu tooma mitte ainult lihtsalt koostöösidemete tugevdamisel, vaid ka konkreetsemalt õppekursuste lähendamisel mainitud ülikoolide ja TTÜ vahel. Minu ettepanek oleks: Ahto Buldas – Linköpingi Ülikool (4 kuud); Viljar Tulit – KTH (4 kuud).“*

05.02.1992. GRENOBLE: Saadan **Keevalliku**, Mini ja **Kukega** arutamiseks ühe vastuse projekti Henochile saatmiseks. Nagu olen aru saanud, pole talle veel vastatud. Eriti tähtis on tema ootus kirja viimases lõigus: *„comments and suggestions of a closer cooperation“*. Lisan siin kirjelduse meie kompetentsist, aga ootaksin täiendusi ka Keevallikult, Kruusilt ja Minilt.

06.02.1992. GRENOBLE: Humily otsustas teha natsionaalprojekti(d) Baltimaadega, kus on sees Tallinn ja Riia. Kaunas oli ka sõelal, aga jääb praegu välja. Humily palus selgitada meie ministeeriumis, mis so-

bib Eestile rohkem, kas kaks eraldi projekti või üks ühine. Teda huvitab ka, kui palju on meie ülikoolist minemas teisi projekte Brüsselisse ja millised on meie rektori/ministeeriumi prioriteedid. Ta arvas, et 5 projekti ülikooli kohta ehk läheb läbi, kusjuures arvestatakse antud maa valitsuse hinnanguid.

10.02.1992. TALLINN: Min on täna Riias ja homme peaksid me materjalid koos olema. Raskusi on meie kateedri poolse asjaga. Inimesed oma pead sellise tühja-tähjaga eriti vaevata ei viitsi. Ja mind hakkab agitaatori osa juba tüütama./…/ Täna olid siin soomlased ja nende ettepanekul on koostamisel uus JEP. Olin koos **Keevallikuga**, et ka meie asjad sinna sattuksid. Üks osaleja, prof. **Tenhunen** on hiljuti Soomest ära KTH-sse läinud ja on seega samaaegselt nüüd ka **Henochi** projektis osaleja. Projekti püüame homme vormistada, aga veel on puudu teisi partnereid ja siin on Sinu abi vaja. Projekti ideed on järgmised: (1) *„Signal & Design Technologies"* (TTU, Riia, Kaunas, Tampere, KTH – Hannu Tenhunen, DTH – **Ole Olesen**, kontraktoriks on Inglismaa – Sunderland), meile sobivad teemad oleksid – VLSI/ASIC system design, design for testability, fault tolerance, logic design. (2) Teised teemad oleksid seotud signaalitöötlusega. Ei ole aga veel kahte EC partnerit, kuna Inglismaa polevat kindel. Projekt otsustati teha Läänemere keskne. Kas Sa ei saaks kiiresti ühenduda mõne Saksamaa ülikooliga? Leiti, et väga sobiv oleks mõni endine Ida-Saksa ülikool. Tenhunen soovitas korduvalt ka IMAG/TIM3, kus Sina oled, aga leiti, et pole hea, kui erinevate projektide partnerid kattuvad.

Ole Olesen (vasakul), Taani Tehnikaülikooli professor, üks assotsiatsiooni EUROCHIP asutajaid ja NORCHIP konverentside initsiaatoreid. Paremal Bengt Magnhagen.

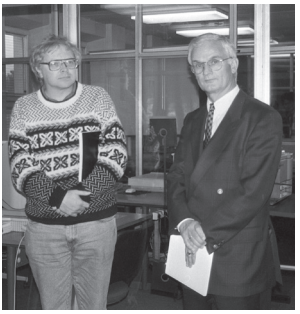
Veel meie oletatava MECC-Mobi chip design'i tarkvarast. Skandinaavias on enim kasutatav Mentor Graphics'i oma. Tuleks otsustada ühe süsteemi kasuks. Tenhunen rääkis EUROCHIP-iga sarnasest Põhjamaade projektist NORCHIP. See projekt on tihedasti seotud JESSI ja ESPRIT programmidega.

11.02.1992. GRENOBLE: **Courtois** on nõus osalema JEP'is mida koordineerib Tenhunen. Ta pakkus osalemist teemal *„Chip design for specialized ASIC's for arithmetic operators."* See peaks sobima signaalitöötlusega. Mis puutub meie edasisse koostöösse TIM3-ga (kuna minu aeg siin hakkab otsa saama), siis Courtois'd huvitab testigeneraator kõrgtasemel. Küsisin, kas ta näeb mingit võimalust sellist projekti finantseerida. Vastus oli – ei. Aga kui selline tööriist oleks olemas, oleks sellel lai turg. See on sama probleem, mis **Bengti**, **Postulat** ja ka **Ericssoni** huvitab. Nii et meil on vaja see asi ära teha.

Mul oli kõne Dresdeni Küberneetika Instituudiga, kes on nüüd ühinenud Fraunhoferiga Erlangenis. Need on testide mehed, kes mind respekteerivad. Nad on meie peale mõelnud, plaanivad koostööd testi teemal ja loodavad meiega koostööks suve hakuks finantse saada. Suhtlen tihedalt praegu **Straube** ja **Elstiga** kahe ühisprojekti taotlemiseks programmi COPERNICUS raames.

11.02.1992. TALLINN: Saadan lisainfot mõõteasjanduse osas ja elektroonika kateedri kohta, palun edasta **Gertrud Humilyle**. Püüdsin saata faksiga, kuid see ei taha õnnestuda. Lisan hiljem juurde. Chip disain katsu kokku saada eeskätt Sinu enda ja ka meie info baasil. Mini kiri: *Dear Gertrud! Contact persons from Riga TU (Latvia) in MECC activities will be dr.* ***Slaidinsh*** *and prof.* ***Bekeris****. We decided to do one joint Baltic JEP (Estonia and Latvia, without Lithuania). But if Latvia will not be ready to manage in time (what is rather possible, in my mind) our JEP will be Estonian national project. Estonian and Latvian Governments will support this JEP. Truly Yours,* ***Mart Min****.*
Siin on veel lisaks üks kiri elektroonikutelt: *Lp. prof.* ***R.Ubar****! Meil toimus kohtumine Mentor Graphics Soome esinduse juhiga hr. C. Pyyhtiaga, kes pakkus välja tarkvara komplekti koos HP/Apollo tööjaamaga. Sealjuures hinnaalandus on 75%. Samas jääb veidi arusaamatuks EUROCHIPi raames toodud nii CADENCE/ES2 Solo 1400 kui ka Mentor Graphics'i ühe koha litsents 1,5 ECU. Kas see ei ole seotud osalemisega EUROCHIP programmis, mis omakorda võib olla seotud teatud kulutustega? Meie eelistaksime Mentor Graphics'it lähtuvalt esinduse lähedusest (Helsinki) ja sidemete olemasolust. Millistel tingimustel oleks võimalik saada Mentor Graphics'i tarkvara EUROCHIPi kaudu?* ***Rein Sabolotny****.*

11.02.1992. TALLINN: Saad nüüd hulga **Min & Co** poolt kogutud materjali. Selle abil peaks olema võimalik koostada terve projekt, aga selleks on seda materjali vaja Sinu poolt töödelda. Selleks on an-



Rein Sabolotny, TPI elektroonika kateeder

tud kõigi asjaosaliste nõusolek. Sinu esialgse projekti andsin arvustamiseks kateedrisse, **Keevalliku** laborisse ja **Minile**. Kateedri reageering oli tagasihoidlik. **Arvo Toomsalu** arvas, et uute ainete loetelus peaks olema lisaks veel psühholoogia. Samuti leidis ta, et labori varustuses mainitud 10 chipi tootmise kohustus aastas on meie potentsiaali arvestades liiast, võiks olla 5-8. Teistel ei olnud midagi öelda. Keevalliku laborist ei ole ka midagi juurde lisada, kuigi sealsed inimesed tundsid asja vastu rohkem huvi ja on kogu aeg mõistlikke soovitusi jaganud. Min koostas Sinu projekti varianti arvestades elektroonika kateedri nägemuse. Sinu kraesse on seega veeretatud terviku komponeerimine nii, et mahud kateedrite suhtes tasakaalus oleksid. See kokkulepe oli algusest peale, et *„chip design"* teemal on meie osakaal suurem ja *„measurement & test"* teemal on Mini osa suurem. Kogu projekti peale peaks mõlemapoolsed osad võrdsed olema. Seda Min isegi mainib ühes kirjas, et „terviku koostamisel on lootused tervenisti Sinul". Ta ütleb, et Sul on võimalik **Humilyga** kiiresti infot vahetada ja selle tõttu peaksid Sa seda lõplikku varianti ise koostama.

Eilse ja tänase *workshop*'i baasil on nüüd kokku pandud ka elektroonikute osa *chip design*'is. Siin oli ka **Kukk** tegev, arvestades, et ka tema on tulevikus huvitatud VLSI ja ASIC projekteerimise süsteemist. No on see mul alles segane kiri. See, et pakkumises on Mentor Graphics'ile rõhk pandud, tuleneb sellest esimesest otsekontaktist. Mingi süsteemi kasuks tuleb nüüd otsustada, aga siin pole kellegagi võimalik konsulteerida. Sinul on jällegi hea positsioon asja uurimiseks. /… / Saadan Sulle ka prof. **Hannu Tenhuneni** koordinaadid. Tema käest saab kompetentset infot põhjamaade kompetentsi kohta VLSI ja ASIC projekteerimise teemal. Ta on samuti Rootsi-Eesti koostöö projekti osaline.

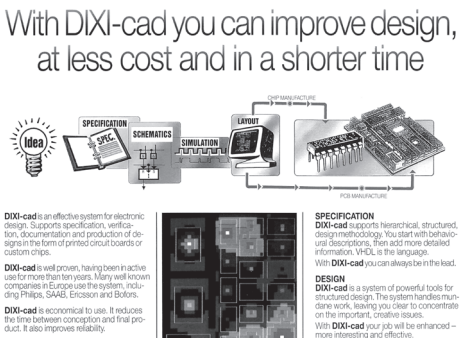
12.02.1992. TALLINN: Selle materjali Mentor Graphics'i valikute kohta allpool koostas Tammemäe. Tema soovitusel tuleks valida midagi kas teisest või kolmandast konfiguratsioonist, kolmas on veel liiga värske ja seda võidakse meile mitte anda. Kas meil ka trükkplaadi tegemise vahendeid vaja on, seda ma ei tea. Analoogdisaini asjad on sulgudes ja nende kohta said eile ka ülevaate. Hangitavad seadmed pane ise vajalikku kalenderjärjestusse.

Lätlaste liitumine meiega võib praeguse pildi mõnevõrra sassi ajada. Kui saan andmed Riiast, teatan kohe. TU Riia ja koondis „Alfa" tahavad kindlasti liituda. Riia tahab ka saada ühe disaini tööjaama ja Measurement Station'i, sama marki, mida meiegi. Palun lisa maintenance kulud ja väikese raamatukogu kulud.

13.02.1992. GRENOBLE (kell 01:34): Kompileerisin Tempus – MECC – BALT'i kokku. Otsustasin esialgu siiski CADENCE'i ja mitte Mentor Graphics'i kasuks. BC ei tahtnud viimasest kuuldagi – too olevat täiesti ebaõnnestunud Lääne-Euroopa ülikoolides levitamisel. Kui me saaksime TEMPUSe, oleksime ka automaatselt EUROCHIPis sees. Seega tuleksid ka kõik eelised, mis hindadesse puutub. Uurin siiski veel olukorda muudest kanalitest. Pakutud variant on siin mõnevõrra kallim kui Kuke-**Sabolotny** oma. Aga muuta on veel võimalik. Vaadake kiiresti üle ja teatage oma kommentaarid: Min, Kukk, Keevallik.

13.02.1992. GRENOBLE (kell 12:19): Mul on selline info MG kohta. Üldine tendents Euroopas on, et MG läheb allamäge, CADENCE ülesmäge. Põhjus pole tehnilistes omadustes, põhjus on halvas marketingus ja hoolduses. MG marketingu selgrooks on teisi halvustada ja ennast kiita. EUROCHIPil on MG-ga halb kontakt. Kaks aastat tagasi ei andnud ta EUROCHIPile üle maintenance'i funktsioone, tahtis ise teha. Sellega ta aga toime ei tulnud. EUROCHIPi klientide ring on täis rahulolematust. EUROCHIP tegeleb meelsamini CADENCE'iga. Praktiliselt kõik minu kontaktid on seotud CADENCE'iga: ka Ericsson Rootsis. Põhjamaade situatsiooni tuleb siiski uurida. Bengti ma saan kätte alles esmaspäeval, aga Folkele DIGSIM DATA-st tundus, et viimasel ajal ka Rootsis räägitakse rohkem CADENCE'ist. CADENCE ei toeta PCB disaini, see on tema puudus. PCB CAD-i turg olevat 50% MG ja 50% VALID-i oma. Sel aastal CADENCE ja VALID ühinesid, mis tähendab, et PCB vahendeid saab nüüd ka CADENCE'i kaudu. Kui valida mõlemad, nii MG kui ka CADENCE, tuleb arvestada, et ka maintenance tuleb kinni maksta mõlemale. Ootan homset telefonikõnet. Oleks hea, kui saaks maha pidada väikese nõupidamise.

Kolm meest paadis



DIXI-cad tuleb meie laborisse. Paremal: uues arvutiklassis. DIXI-cad'i looja Bengt Magnhagen vasakult teine. Arvutiklassi sysop Marek Mandre paremalt esimene.

18.02.1992. GRENOBLE: DIXI-cad meie laboris töötamas! Sellest olen ainult unistanud. Ja see, et me saame ka TT-d selle juures testide sünteesiks kasutada, teeb asja põnevaks nii meile kui ka laiemalt – rahvusvahelises mõõtmes. /… / Librarite laiendamisega võiks ju täitsa tegelda – siduda ka õppetööga, kursuse- või diplomitöödega. /… / Mis puutub DIXI-cad kasutamisse, siis ju ka **Bengt** ise kasutab meie TT-d oma õppetöös. /… /SAAB-iga ühendusse astumine oleks meile parim väljakutse. Me jutuajamised Bengt'iga võiksid vaid konkreetsemad olla. Tal on kontrakt NORCHIP-iga, on olnud mitmeid jutuajamisi juba, et me võiksime seal midagi koos ära teha. /… /Temaga kohtumisel tuleks rõhuda meie tugevustele ja kompetentsidele, mida temal ei ole. /… / Sellesse töösse kõrgtasemel testide genereerimisse tuleks **Keevallik** kaasa haarata. Keevallikult võiks tulla VHDL-translaator ja meilt AG-generaator. Kordan siin juba vanu koostöö ideesid.

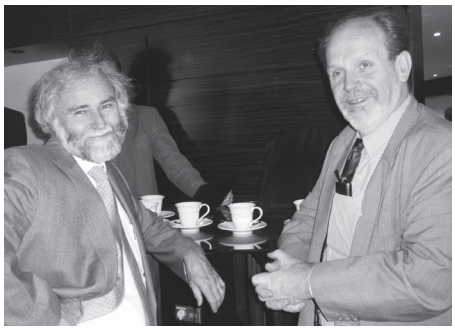
Bernard astus just uksest sisse ja ütles, et Darmstadtist on e-mail, homme arutame temaga. Nii et sakslased on siiski üles ärganud. Aga vaid kümmekond päeva ongi jäänud. Darmstadt plaanib väikest aga konkreetset ühisprojekti vaid kolme partneriga: **Glesner** koordinaatorina, Courtois ja meie. See on tore, et nad meid mu info põhjal aktsepteerisid. Darmstadt on tugev firma *„chip design"* alal, tegeleb samade asjadega mis **Kris** Rootsis, lisaks aga ka testidega. Seega vastastikune huvi võib tekkida suur. Pealegi, kuna on vaid kolm partnerit, siis saaks kontsentreeruda väga fokusseeritud koostööle, millest saaks vägev värav Läände… Ainult mure on selles, et nüüd hakkame justkui kahte projekti taotlema samal teemal – suurt ja väikest. Püüan homme BC-ga sel teemal rääkida. Igal juhul, ka Darmstadt tahab teada meie vajadusi ja mobility plaane. See teade siin on lihtsalt meeleolu tõstmiseks. Teadmiseks, et kui projektid läbi lähevad, on igalühel, kes tööd teeb, võimalus mõneks ajaks Läände pääseda.

19.02.1992. GRENOBLE: **Rimantas Sheinauskas** Kaunase Tehnikaülikoolist pommitab mind kirjadega, kus soovib infot välismaa ülikoolide kohta. Ta on mu hea sõber. Nüüd on vist ka **Paul Leisil** temaga ärisuhted. Viimane tema kiri, mis just tuli, on ka meile väga huvitav. Nimelt mainib ta võimalusest võtta osa NATO-maade projektidest ka Ida-Euroopale ja Baltimaadele. Selleks on vaja pöörduda NATO Teadusosakonna poole, aga seejuures on vaja ka mingi NATO-maa firma toetust ja nõusolekut koostööks.

19.02.1992. TALLINN: Sinu pingutustest ministeeriumist ametlikku toetust MECC_BALT-ile saada. Selle paberi mõte meie seisukohalt jääb ähmaseks. Kui see peab olema paber, mis kinnitab Brüsseli ametnikele, et tegemist on Eesti jaoks kõrgema prioriteediga projektiga, siis sellise paberi võiks saada. Brüsseli esindajad selgitasid ekspertiisi toimumise korda selliselt, et neil tehakse projekti tehniline ekspertiis ja Eestis tehakse projekti sisuline ekspertiis, kus määratakse projekti tähtsus Eesti jaoks. Kui Sul on teistsugune info, anna teada. Minu teada määratakse projektide prioriteedid Eestis pärast seda, kui need on esitatud. Kui see paber peab olema selline, mis ütleb, et tegemist on parimaga võrdsete seas, siis ministeeriumist seda ei saa. Igatahes on Min täna ministeeriumis asja arutamas. Keevalliku ja Mini palve, et sa enam ministeeriumiga ei tegeleks. Siin ikka midagi liigutatakse ka, et see projekt Eestis aktsepteerimist leiaks. Aga seda ei saa kuidagi garanteerida siinsete kirjadega, et seda projekti ka EC toetaks.

19.02.1992. GRENOBLE: Aitäh, **Märt**, tagasiside eest. Ma pole Eestis olnud kolm kuud ja ei tea, kuidas Eestis toimub Tempuse koordineerimine. Samal ajal töötan ma siin välja ka veel ühte teist projekti praegu ja selles ei tohiks midagi imelikku olla, kui ma pöördun ministeeriumi poole toetuse saamiseks, põhjendades, miks see projekt Eesti jaoks oluline on. Aga igal juhul vabandan **Keevalliku** ja **Mini** ees oma aktiivsuse pärast. Enam niisugused asjad ei kordu…

Ikkagi on minu jaoks õhus küsimus, kuidas organiseeritakse Eestis projektide sisulist läbivaatust (ütlesid ju, et sisuline külg on Eesti kompetents ja tehniline ekspertiis Brüsseli oma). Kirja taotlemise ajalugu algas prof. **Humily**'lt, kes korrutas, et Brüsselis sõltub projekti edu vastava riigi toetusest – ministeeriumist. Brüssel püüdvat arvestada riigi enda strateegilisi huvisid. Ministeeriumi poole pöördumist omapoolse riikliku tähtsuse rõhutamisega ajendas mind õppetund, mille sain Avatud Eesti Fondist, kus mulle selge sõnaga öeldi, et Eestis on praegu rahvusprobleemid tähtsamad kui inseneriõpe. Noh, kirja asi on siis lahendatud. Piinlik küll, et tüli valmistasin.



Käivitub uus „rünnak" Tempusele. TTÜ partneriteks saavad professorid Manfred Glesner Darmstadtist (projekti koordinaator) ja Bernard Courtois Grenoble'ist.

20.02.1992. GRENOBLE: Järgnev info on Andresele. Oleme asunud uut TEMPUSe projekti tegema Darmstadti TU ettepanekul, mida koordineeriks **Manfred Glesner**. Seal oleks ainult kolm partnerit, lisaks veel TIM3, kusjuures **Bernard Courtois**' (kellel kunagi aega ei ole) seadis tingimuse, et ma kogu TIM3 poolse osa taotluses ise kokku paneksin. Nii et mul tuleb kaks (!) taotlust teha. Aga teema on veel lahtine.

Olen viimasel ajal ühtteist uuest levima hakanud PLD tehnoloogiast (*programmable logic design*). Tegu on kiipide sisse projekteeritud maatriksitega, millistest saab ümberprogrammeerimisega suvalisi digitaalskeeme disainida. Mõtlesin, et mis võiks veel perspektiivsem olla Eesti jaoks, kus enam pole olemas kunagist kõrgel tasemel olnud elektroonikatööstust. Pakkusingi oma partneritele välja teema *„Digital System Design and PLD Technologies"*, millega nad täiesti päri olid. See teema peaks ka just Andrest ja tema loogikaskeemide sünteesiga tegelevat gruppi huvitama, aga ma ei vaata asjadele nii kitsalt. See ala on tugev Darmstadtis ja võiks meile ASIC teekonna alguses ilmselt kõige õigem ja kiirem start olla. Tõenäosust, et see projekt läbi läheb, muidugi ei tea. Darmstadt arvab, et väikesed JEP-id „lähevad paremini läbi." MECC on meil väga suur. Aga regionaalsus Riia näol ning Rootsi kaasamine on jälle trumbid MECC'ile.

Muud infot. Siemens reageeris mu kirjale ja kutsus nõu pidama. Aga kirja toonist selgus, et sõit tuleb oma kulu ja kirjadega teha. Ilmselt ühendan selle visiidi oma kojusõiduga. Tee peale jääb ka üks *workshop* Saksamaal. Miks nad neid konverentse küll nii kallites hotellides peavad? /… / Muide, Dresdeni Tehnikaülikool Ida-Saksamaal koondavat oma õppejõudude ridu tervelt 50% – tudengite arv olevat alla kukkunud. /… / Ka siin TIM3 laboris hoitakse rahakotil kõvasti silma peal. Pole midagi nii et muudkui saada fakse. BC uurib igal hommikul faksimasina juures žurnaali ja pikad saadetised talle ei meeldi. Mulle tehakse küll praegu erand, kuna teen ju nende eest ära nende oma projekti.

Sulle, Märt, olen selle kirjavahetuse eest väga tänulik. Küll ei saa ma sellest aru, miks ainult Sinul see „access to mail" on ja teistel mitte. Kuidas see asi seal teaduskonnas selle meilivahetusega ikka on? Kas see on mingi eliidi luksus? Ja mida teha nende benchmark-failidega? Seal on päris huvitavad failid PLA-projektide kohta, mis pakuksid huvi ka Keevalliku meeskonnale. Mida **Zaugarov** Minskis teeb?

21.02.1992. TALLINN: Siin on plaanis avada doktorantuur. Õigemini teisipäevani on viimane aeg avaldusi esitada. On vaja kahte soovitust. **Udre** ja **Tammemäe** on Keevalliku seltskonnast juba paberid koostanud. Täna Keevallik imestas, et mina ei ole. Meil on see teade küll nädalapäevad seinal rippunud, aga ma ei ole osanud seisukohta võtta. Magistrantuurist saaks otse üle minna. Programm, nagu magistrantuuriski, ainult aega on rohkem. Mida Sina soovitad?

Minil on praegu segadus rootslastega. Ei ole teada, kes MECC-BALT-iga tegeleb. Nende TEMPUS-ega tegelev isik oskas öelda ainult seda, et neil on meiega tervelt 3 (!) projekti. Ühega tegeleb Tenhunen,

teisega **Tõugu**, aga kes tegeleb kolmandaga, ta ei teadnud. /… / **Keevallikul** on raskusi Karlsruhe'ga, ta ei suuda kuidagi kontakteeruda. Meie olud on ikka häbemata nirud. Võib-olla saad Sina seda teha. See kodanik on **Utz Baitinger**, Institut für Technik der Informationsverarbeitung. Telefoni ma ei tea.

Darmstadti teema on labor eesotsas Keevallikuga heaks tunnistanud. Väike projekt ja täpse suunitlusega, tundub igati löögivõimeline. Mis puutub tehnikasse ja tarkvarasse, siis **Tammemäe** hinnangul olete teinud seal hea valiku. Kolmandat projekti, mis on soomlaste poolt algatatud, ma praegu ei kommenteeri. Nii palju vaid, et Inglismaa langes ära.

22.02.1992. GRENOBLE: TTÜ Doktorantuuriosakonna juhatajale soovitus: *„Käesolevaga soovitan Märt Saareperat astuma TTÜ juures asutatud doktorantuuri. Olen tema uurimistöid juhendanud juba alates diplomiprojekteerimise perioodist /… / Kompetentsus, eruditsioon, põhjalikkus, kriitiline mõtlemine, iseseisvus – need on tema iseloomujooned, millele mu soovitus rajaneb. Näen temas nii tulevast perspektiivikat teadlast kui ka arvutite kateedrile vajalikku õppejõudude kaadritäiendust. Koos käesoleva soovitusega annan oma nõusoleku juhendada tema doktoritööd teemal „*Keeruliste süsteemide diagnostika*“. Arvutite kateedri juh. prof.* ***R. Ubar****“*. Ehk saad teise soovituse Keevallikult.

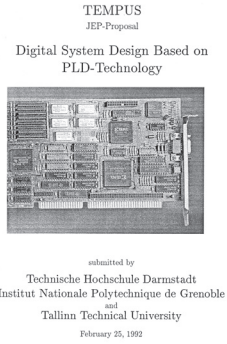
Näitasin BC-le praegu ühte halli halvasti loetavat teksti Vladivostoki diagnostikutelt, kes otsivad koostööd Läänes. BC viis mind ühe paksu kausta juurde, mis oli täis infot Ida-Ühendriikidest (loe: NSV Liidust) ja veerand sellest puudutas Eestit. Siis andis ta mulle oma labori aasta-aruande ja palus saata Vladivostokki. See oli tema poolt kõik. Ida teadlased otsivad meeleheitlikult koostöövõimalusi Läänes. Aga huvi nende vastu siit Läänest vaadatuna on olematu. Kellelgi pole ei aega ega raha… Mida tähendab see *know-how*, mida Idast ohtralt Läänele lubatakse? Seda on siin Lääneski küllaga, isegi üleliia, ka tarku ja helgeid päid, kelle jaoks tööd ei ole. Kõik ametipostid on täidetud. Lääs saab aidata Ida üksnes riiklike projektidega, kus firmad ei riski millegagi. /… /

Kolmas Rootsi projekt on ju koos **Humily**'ga ja sealt kaudu ka meie. Võib-olla ei osatud **Mini** ja Humily't seostada. Igal juhul on Humily'l olemas töine kontakt rootslastega. Tenhuneniga mul kontakti pole. Aga Jarskelt Soomes tuli päring. Võtsin kontakti Saksamaaga ja BC-ga. Partneriteks on pakutud: Grenoble (**Bernard Courtois**) ja Dresdeni endine Küberneetika Instituut (**Bernd Straube**). Kuidas see projekt areneb, ei tea. Mul on Sakslastega käsil teised ettevõtmised, aga mitte TEMPUS raames.

24.02.1992. GRENOBLE: Õnne Sulle ja kõigile teistele Vabariigi aastapäeva puhul. Mul on täna väga tihe tööpäev olnud Darmstadtiga. Nad on täitsa innuga asja juures, suurepärane projekt on kujunemas.

26.02.1992. GRENOBLE: Hakkan nüüd oma lõpuaruannet kirjutama. Ühtlasi peaks sellest kujunema meie eelseisva uurimistöö kontseptsioon kõrgtaseme testide genereerimise teemal. Teen veel viimast kiirülevaadet artiklitest, et täiendada analüüsi olemasoleva kohta. Ja siin avastasin ühe huvitava asja. Paljud autorid eksivad ühes küsimuses või hiilivad probleemist mööda. Nimelt kõik tahavad vabaneda rikete simuleerimisel madalast tasemest ja teha kogu töö ära kõrgtasandil. Tegelikult see pole võimalik. Loodust petta ei saa. Selgitan. /…/.

Darmstadti Tempus on valmis. Hiigla ilus projekt. Darmstadt ise arvab, et ilusaim, mis nemad kunagi näinud. Tore lõppakkord mu Prantsumaal veedetud ajale.


TEMPUS
JEP-Proposal
Digital System Design Based on PLD-Technology
submitted by
Technische Hochschule Darmstadt
Institut Nationale Polytechnique de Grenoble
and
Tallinn Technical University
February 25, 1992

TEMPUS projekti taotlus on valmis

28.02.1992. GRENOBLE: Eile sai lõpuks ka **Humily** projekt valmis. Lõplikku kuju ma näinud veel pole. Raske oli. Humily venitas viimase hetkeni ja siis kukkus äkki esinema, et me rahalised nõudmised on utoopilised. Oleks pidanud varem ärkama. Lätlased tegid asja ka raskeks. Neile poleks pidanud meie projekti näitama, vaid mingi orienteeruva summa andma. Nüüd tahtsid nad täpselt sama, mis meie, kõike topelt ja seejuures veel muid asju, aga põhjendusteta. Mardi hoiatus oli õige, aga kahjuks ei saanud enam midagi teha, kuna lätlaste soovid läksid otse Humilyle ja sellest, mis need olid, polnud meil aimugi. Lätlaste ja meie ühitamisel tuli mul minna kompromissidele – testri riistvara pealt sai raha vähendatud.

Benchmargi failid oleks vaja Tallinna saata. Kuidas oleks, kui ma neid 30-40 kilo kaupa saatma hakkan? Te ei öelnud mulle, mis neist failidest sai, mis pahandusi valmistasid.

02.03.1992. TALLINN: Tere, **Raimund**. Nüüd võib ilmselt TEMPUSe selleks korraks lõpetatuks lugeda. Suutsin veel Darmstadtile valmis teha letter of intent, enne kui vedru lõplikult maha käis. Kokku sai teaduskonnas tehtud ilmselt kuni 10 projektitaotlust. Täpse arvu teatan ehk homme. Meil sai valmis niisiis kolm. Selle tegevusega on vähemalt mingi hulk kogemusi tekkinud. Eriti selliseid, kuidas niisugusi projekte ei peaks tegema.

Maraton lõpule jõudmas

17.01.1992. GRENOBLE (kiri Rektorile): Tere, Olav. Mulle tuli Bonnist täna üks huvitav kõne. Helistas üks mu hea sõber Ida-Saksamaalt, kes oli kunagi elektroonikainsener, siis tehnikumiõpetaja ja nüüd on kiiret karjääri teinud – on Mitglied des Deutschen Bundestages (ehk siis parlamentäär ühinenud Saksamaal). Ühtaegu on ta ka ühe parlamendi komisjoni esimees, mille funktsioonidesse kuulub s.h. sidemete loomine Baltimaade haridussüsteemidega. Tema juhtimisel tuleb üks saksa delegatsioon 10.-16. maini Baltimaid külastama, seega tuleb ta ka Tallinna. Ühenduses sellega pakkus ta mulle igasugust abi oma kompetentsi raames. Reisi ettevalmistamiseks palus ta mitmesugust infot (eraviisiliselt, formaalset rada liigub asi niigi), s.h. võimalikke kontaktisikuid teaduse ja kõrghariduse valdkonnast. Ta mainis, et kujutab ette, et meil võiks ilmselt huvi olla tudengite vahetuse vastu. Nimetasin kontaktisikuna Sind ja meie ülikooli. See eelnev oli infoks ja nüüd ka küsimus: kas Sul oleks mõni idee, kuidas niisugust kontakti ära kasutada?

23.01.1992. TALLINN (kiri **Margus Kruusilt**): Tere **Raimund**! Olen Sinu poolt saadetud infot pidevalt lugenud (ka seda, mida saadad **Märdile**) ja Märt on minu ning **Keevallikuga** mitmeid kordi rääkinud enne Sinule vastamist. Seda eriti TEMPUSe osas. Aga eks meil ole siin raske konkreetseid ja õigeid otsuseid teha. Nii et usaldame täielikult Sind ja usume, et Sul on koha peal kergem orienteeruda…

Nüüd üht-teist konkreetset. Edutamised läksid korda: **Evartson** – dotsent, **Kont** – vanemõpetaja, **Storožev** – assistent (Kondi kohale). Kõik tunduvad rahul olema. Storoževile leidsime ka mõistliku koormuse. Lahti on **Briki** küsimus. Aga seda ei saa ilmselt lahendada enne fondide avanemist. Finantsprobleemid on endiselt täiesti segased. Kuigi **Aarna** käskkirjaga tõsteti palku *ca* 40%. Seega peaks Sinu palk näiteks olema umbes 2800 OR.

Edukalt on asi edenenud arvutiklassiga. Ruumis 210 on meil praegu 12 arvutit EC-1824 pluss veel DVK-d. Kolm arvutit tuleb vist veel. Nii et saab vist täisrühmaga töötada. Sinna on selleks planeeritud LX 1. kursus (Tarkvarapaketid) ja LI 3. kursuse koormus. Oli küll suur tegemine tunniplaani muutusega, suure töö on teinud ära eelkõige **Enn Rebane**. Tema palka PEAME saama tõsta. Mingi õiglus peab maailmas olema.

Enn Rebane, kateedri laborijuhataja

Nüüd õppeprobleemidest. Tänu tudengite vähesele arvule oleme sunnitud ühendama LI ja LR I-harud (vene keel). Tegime mingi kompromissplaani. See läheb homme Nõukogus kinnitamisele. Muuseas, Raadiokateedri juhataja on nüüd **Ilmar Arro**.

Nõukogus läheb otsustamisele ka uue struktuuri küsimus. Plaani järgi kuulub meie õpikonda 4 instituuti meie teaduskonnast pluss **Võhandu-Jürgensoni** instituut. Arvutite instituudi organiseerimise juhtpositsioon on Keevalliku käes. Meie struktuur peaks olema 3 õppetooli ja labor, nagu ka enne juttu oli.

10.02.1992. TALLINN (kiri Märt Saareperalt): Tere! Siin on uus arvutitehnika instituudi (struktuur ja koosseis) projekt. (1) Arvutitehnika ja diagnostika õppetool – 6 õppejõudu (1 prof, 2 dotsenti, 3 lektorit ja 1 assistent); (2) Süsteemitarkvara õppetool – 7 õppejõudu (1 prof, 2 dotsenti ja 4 lektorit); (3) Digitaaltehnika õppetool – 6 õppejõudu (1 prof, 3 dots ja 2 lektorit) ning (4) Digitaaltehnika labor (5 teadurit, 7 inseneri ja 4 laboranti), lisaks 6 õppeabi peronali kohta, ja 10 magistranti, kokku 51 inimest.

Märkused: (1) õppeabipersonal kuulub instituudi juurde ja teenindab kõiki õppetoole, (2) digitaaltehnika labori teadustöö temaatika koos õppetoolide omaga on vaadeldav kui ühtne tervik. Labori töötajad osalevad õppetöös.

Instituudi ja õppetoolide vajalikkuse põhjendus (väljavõte tekstist):

Eesti Vabariigi arengukontseptsiooni üheks nurgakiviks on vahendite ja baasi loomine teadusmahuka toodangu tekkimiseks. Ilma arvutite ja üldse digitaaltehnika rakendamiseta pole niisuguse baasi loomine tänapäeval mõeldav. Välisturgu leidva konkurentsivõimelise teadusmahuka toodangu tekkimise eelduseks ei ole üksnes passiivne lääne arvutite import, vaid eelkõige insenerimõtte kõrge tase. Kõige sagedamini rakendub idee tänapäeval arvutustehnika kaudu, kõige efektiivsemalt ja konkurentsivõimelisemalt – spetsialiseeritud arvutustehnika kaudu. Siin avaneb ka üks võimalus Eesti koopereerumiseks lääne kõrgtehnoloogiaga – ühelt poolt, meie inseneride teaduslik ja novaatorlik mõte tehniliste projektidena, teiselt poolt, lääne tööstus nende projektide tulemuste juurutajana. Seoses ülalmainituga on Eestile tingimata vaja mitte ainult arvuteid kasutavaid programmeerijaid, vaid ka insenere, magistreid ja doktoreid, kes

- orienteeruksid tänapäeva kiirelt arenevas arvutitehnikas ja selle projekteerimise meetodites;
- oskaksid käsitleda disainitarkvara vahendeid spetsialiseeritud digitaalseadmete ja aparatuuri projekteerimiseks;
- oleksid võimelised looma, installeerima, häälestama ja hooldama arvutisüsteeme;
- tunneksid kaasaegseid tehniliste süsteemide diagnostikameetodeid.

Uuele akadeemilisele struktuurile ülemineku ajakava:

1. Instituutide asutamisprojektid.
- Teaduskondade nõukogudes läbiarutamine ja heakskiitmine (29.02, vastutavad dekaanid);
- Esitatakse projektid TTÜ Nõukogule (7.03, dekaanid);
- Läbiarutamine arengukomisjonis, TTÜ nõunike kogus ja kinnitamine TTÜ Nõukogus (30.03, rektor).

2. Konkursid (aprillist juunini):
- Kuulutada konkurss õppetooli juhataja kohtadele (aprill);
- Kuulutada konkurss akadeemilise koosseisu formeerimiseks, s.o. korralised õppejõud ja teadurid (mai)
- Instituutide direktorite valimised teaduskondade nõukogudes (29.06, dekaanid vastutavad);
- Instituutide juhatuste moodustamine (29.06, dekaanid).

17.02.1992. TALLINN (saadetis Märt Saareperalt): Saadan Sulle meie venelastest uurimisgrupi vastused Su küsimustele nende seniste töötulemuste kohta:

Sergei: *Dear Raimund, we were glad to receive your letter from France where you would like to get information about ourselves and our current situation. In general, my social and financial state is terrible, and it is very difficult to forecast future events. It sounds as if I have no future here. Last year, before January, I was at magistrantuur, therefore a lot of time I spent at lessons and preparing for examinations. Now I am assistant, and I have salary. But it is very difficult (impossible) to support my family, because everything is very expensive. Therefore, probably, in the future I would have to find other sources for life. I have 14 hours of lessons per week. I spend about 5 hours for travelling to the university and back every day (gas is absent in Tallinn). I improve my English, I spend a lot of time in our library and read articles. You would like to get the results of experiments, but the translator is absent presently. Now, I have the only hope to get a project from Sweden, and I am waiting for documents from there.*

Julia*: Good day, dear Raimund! I will write at once about my work. My compilator is almost ready, but I am waiting for the translator or a new project from Sweden. I have very little free time, because I must pass my exams. If I will not pass them, I will loose my scholarship. I am very afraid about this. Also, I'll have to attend other lectures according to my spring term plans. That is all. I am looking forward to hear about you soon.*

Marina*: Good day, dear Raimund! I attend lectures. I have no money, and I don't know what to do.*

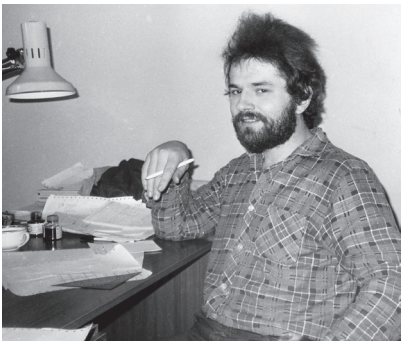
Helena*: Good day, dear Raimund! At the present moment I spend a lot of time for preparing for my English exam. I hope to pass it tomorrow. I have begun to attend lectures of other subjects at the magistrature. And also, I have begun to study French. During the last few months I have done the translator. I have finished work with the object description, and now I have to transfer received data into the AG table representation. I try to finish my work with the translator in the near future, but I am afraid nobody will need it. After finishing this translator, I am going to study VHDL, and I hope that I can use some parts of my existing program to write a translator for the VHDL description.*

19.02.1992. TALLINN (**Saarepera**): Eesti Informaatikanõukogu vaatas oma 11.02.92. istungil läbi taotluse raha eraldamiseks Eesti Informaatikafondist töö *„Digitaalsüsteemide masinprojekteerimise ja diagnostika algoritmide ja tarkvara väljatöötamine"* täitmiseks ning avaldas arvamust, et töö väärib põhimõtteliselt toetust, ent ei ole täielikus vastavuses Informaatikafondi tegevusprofiiliga. Taotlus on edasi suunatud Teadusfondi. **U. Agur**.

20.02.1992. GRENOBLE: Aitäh vastuste eest. Informaatikafondi äraütlemine kurvastas. Agur oleks võinud meid juhendada, kuidas projekti sõnastada, et see sobiks fondi profiiliga. Võta palun **Paulusega** ühendust ja informeeri teda olukorrast, et Teadusfondis on nüüd kaks meie taotlust: selle, mis tegin sinna otse ja see, mille nüüd Informaatikafond neile edasi suunas. Kas peaks neid ühendama? Ja kas Paulus teab, milline on Teadusfondi poliitika, mida seal arvestatakse projektide hindamisel.[25]

02.03.1992. TALLINN (Saarepera): /…/ Veel sellest, et kavatsed Siemens-Nixdorfi külastada. Tahtsin mainida, et **Alango** firma Datel avab lähitulevikus nende poe. Nad on ka firma kohalikud esindajad Eestis…. Tõstaks veel päevakorrale JETTA tellimise. Äkki oleks seda võimalik kuidagi teha. See on siiski väga tugev ajakiri. Ma ei arva muidugi, et peaksid seda oma taskust kinni maksma. Mulle tuleb juba tänu Sinu tegevusele regulaarselt terve hulk ajakirju ja kutseid ja veel mitmesugust infot.

Tenhuneni kirja ja Sinu kommentaari sellele andsin **Keevallikule**. Ütlesin kohe, et sellest mehest saab palju kasu olema. Igatahes on ta asja tõsiselt võtnud.



Villem Alango

10.03.1992. GRENOBLE: Tere! Kuidas elate kaugel Eestis? Ma pole viimased 10 päeva muud näinud kui arvuti ekraani. Ja päevad on küllalt pikad olnud. Keskelt läbi 24-st 5 tundi maha lahutada. Ühel õhtul ütles midagi vist mootoris üles, igal juhul selge tunnus ülepingest. Aga täna sai aruanne valmis. Sisuliselt monograafia. Mu edasistest plaanidest:

19.03. Sõidan Münchenisse (kohtumine IBM inimestega, visiit Siemensisse);

22.03. *Workshop* Bad Kissingenis (kallis on, aga mis sinna parata);

24.03. Ettekanne Darmstadti Tehnikakõrgkoolis (nendele, kellega TEMPUS-e projekti tegime; katsume nõu pidada tulevase koostöö teemal);

26.03. Bonn, Bundestag – kohtumine Saksa Valitsuse delegatsiooni juhi Dr. **Rainer Jorkiga** kes meie Haridusministeeriumi külastab; Rainer on mu väga hea sõber);

27.03. Dresdeni Tehnikaülikool (valmistame kahte europrojekti ette programmi COPERNICUS raames, töö sujub üle ootuste hästi);

31.03. Stockholmi Kuninglik Tehnikaülikool (kohtumine **Tenhuneni** ja **Henochiga**; täpsustame koostööd ja eelseisva Tallinna seminari küsimusi; testability teema sobib hästi Tenhuneni plaanidega).

02.04. Arvatavasti laevaga kodus.

Loobusin oma lennuki tagasisõidupiletist ja otsustasin rongidega niisuguse Trans-Euroopa reisi teha. Seoses sellega informeeri palun **Jaan Võrku** sellest plaanist ja ühtlasi sellest, et hilinen kaks nädalat koju saabumisega. Kõik eelseisvad kohtumised on meie perspektiivide mõttes väga vajalikud. Kas mul tuleb mingi spetsiaalne avaldus teha? Või saab selle sõidu mu puhkuse arvele kanda?

Viisasid Saksamaale ja Rootsi polegi nii lihtne saada. Saksamaale saan arvatavasti kergesti vaid seetõttu, et mul on Bundestagist erikutse. Ühe viisa järele tuleb mul Lyon'i sõita, teise saan Marseille's. Ka Prantsusmaal olekut tuleb mul pikendada mõne päeva võrra, selleks tuli 5 korda Prefektuuris käia, kus iga inimene rääkis ise juttu. Ja seejuures veel prantsuse keeles (!), millest ma ikka veel palju ei taipa.

12.03.1992. TALLINN (Saarepera): Andsin Su tervitused automaatikutele Automaatikapäeva puhul edasi. Ma ei tea, kas ka ette loeti. Samuti andsin Sinu tagasituleku plaani dekaanile, kes imestas, et mis luba Sa temalt küsima pead. Muidugi peaks keegi kõrgemal seisev organ Su tempot veidi maha

[25] Kahjuks lükati Teadusfondis tagasi mõlemad taotlused. Ees seisis väga lootusetu suvi.

võtma, et Sa haiglasse ei sattuks. Nagu olen maininud, ei ole e-maili kasutamine ainult minu privileeg. Iseasi on see, et selle kasutamise vastu ei tunta suuremat huvi. Margus palus saata Sulle midagi uutesse õppeprogrammidesse puutuvat, mille ta masinasse toksis. Saadan homme.

Helistasin **Bengtile** enne, kui Sinu teate sain. Ta ütles, et on FFV-ga viimasel ajal rohkem suhelnud ja tahab nende esindajad ka aprillis Tallinna tuua. Ta mainis, et võiksime teste teha ja ka programmeerida neile midagi. Muidugi on eelduseks tööjõu odavus. Soovitasin tal Sinuga kontakt võtta. KTH-ga korraldatav *workshop* on septembrisse lükatud. Ilmselt Sa tead seda.

TEMPUS: Eestile on eraldatud 3 milj. eküüd, projekte konkureerib ilmselt 30-50. Tehnilistel põhjustel võib osa neist välja langeda, mille otsustab Brüssel. Projektide vaheline konkurss aga ei toimugi üldse Brüsselis, vaid siinsamas koha peal Eestis meie oma ekspertide abil. **Keevallik** selgitab praegu, kuidas toimub see Eesti-sisene ekspertiis ja millal. Tervitused ja pea hoogu tagasi.

Tagasi koju

Tagasi Eestisse sõitsin Prantsusmaalt rongiga. See oli pikk reis täis eelnevalt kokkulepitud visiite ja loenguid mitmetes ülikoolides. Münchenis külastasin dr. **Peter von Dehni**, kellega ammu-ammu olime tutvunud Tallinnas ühes muusikaplaadikaupluses, kus sattusin olema talle tõlgiks. Dehni isa oli baltisakslane ja elas enne Teist maailmasõda Tallinnas. Dehn oli tulnud oma isa maja vaatama – seda sama kõrget maja Vabaduse väljakul, kus asub linnavalitsus. Kohtusime Münchenis IBM-i kontoris, kus ta töötas. Lõime töised kontaktid. Ta palus, et kirjutaksin ettekande konverentsile Dresdenis, kus ta parajasti oli programmikomitee esimees. Selle ma peatselt ka tegin.[26]

Münchenist sõitsin Darmstadti **Manfred Glesneri** mikroelektroonika süsteemide laborit külastama, kus tegin ka tema uurimisgrupile ettekande. Seda sisse juhatades projekteeris Glesner kõigepealt ekraanile maakaardi, kus olid näha Balti riigid ja Eesti – geograafiline punkt, kust pärineb ettekandja. Tol ajal Eestimaad tutvustades seltskondadele, kelle erialaks oli mikroelektroonika, tavatsesin kohe ausalt üles tunnistada, et mikroelektroonika tööstus küll Eestis puudub, aga selle-eest on Eestis kaks õunapuud iga elaniku kohta… Olime kõik Glesneri laboris väga optimistlikud lootuses, et peagi algab meil ühine europrojekt – seesama TEMPUS projekt, mis kuulus PHARE[27] programmi ja oli mõeldud Euroopa idariikide ülikoolide toetamiseks koostöös Lääne ülikoolidega ning mille taotluse me alles nädalapäevad tagasi olime Brüsselisse saatnud. Meie optimism osutus põhjendatuks – taotlus osutus edukaks ja alates 1. jaanuarist 1993 saime Euroopa rahastuse ning töö TEMPUS projekti raames läks käima.

Professorid Karl-Heinz Diener ja Günter Elst Fraunhoferi instituudist Dresdenist, kellega me koos projekti EEMCN „valmis meisterdasime"

Siis olin juba Dresdenis. Nüüdses Fraunhoferi Mikroelektroonika Instituudis, endises Saksa DV Teaduste Akadeemia Küberneetika Instituudis töötasid mu ammused sõbrad **Günter Elst**, **Bernd Straube** ja **Karl-Heinz Diener**. Olime viimastel kuudel e-mailide vahendusel valmistanud samuti ette koguni kahte ühist europrojekti-

[26] R. Ubar. CAD für Digitaltechnik – Eine Programmfamilie für den Entwurf von Testmustern zum Test von Digitalschaltungen. IBM Hochschulkongress'92. Offene Grenzen – offene Systeme. Dresden 1992, S. IV9 1-14.

[27] PHARE – Poland and Hungary Assistance for the Restructuring of the Economy. See oli EL programm Ida-Euroopa maade majanduslikuks toetamiseks, mis algas Poola ja Ungariga, aga seejärel haaras kaasa ka teised ida-Euroopa maad.

taotlust EEMCN ja FUTEC programmi COPERNICUS raames. Nüüd Dresdenis viimistlesime neid taotlusi juba vahetult koos olles. Ka need mõlemad taotlused osutusid hiljem edukaks ja avasid meile tee Lääne – Euroopa elektroonikateadlaste kogukonda.

Dresdenist sõitsin üle Sassnitzi Malmösse ja sealt Stockholmi, kus samuti pidasin loengu ning kinnistasin töösidemeid KTH professorite **Bengt Henochi**, **Hannu Tenhuneni** ning **Carl Olov Stawströmiga**. Arutluse all oli tulevane Rootsi-Eesti ühisprojekt ESTPID ja Tallinnas korraldatava *workshop*'i kava, kus pidime andma viimase lihvi selle projekti sisule. Siis olingi kodus täis energiat ning lootusi peatselt uued europrojektid kateedrisse tuua (veel ei olnud nende projektide saatus siiski teada).

Kodus ei oodanud aga ees rõõmsad uudised. Eesti Teadusfond oli meie granti taotluse tagasi lükanud. Solvunud olin sellepärast, et põhjust ei saanudki teada.

Halbadel uudistel on aga ka veel kalduvus koonduda, ühineda ja paljuneda ning seeläbi võimenduda. Prantsusmaalt tagasi saabudes, pärast pooleaastast kateedrist eemalolekut, olin silmitsi olukorraga, kus dekaan leidis, et meie kateedri asjad pole kõige paremas korras, paberid on täitmata, tähtaegu ületatakse ... Olin küll e-maili teel olnud pidevalt kursis sellega, mis kateedris toimub, püüdsin korraldada asju ja delegeerida ülesandeid. Distantsilt on aga kateedrit juhatada ikka raske.

1992. aasta sügisest vahetasid **Raimund Ubar** ja **Andres Keevallik** jällegi oma kohad kateedri juhatamisel, nagu viis aastat tagasi, aga seekord vastupidises suunas. Tegelikult isegi ei vahetanud, sest 1992 – oli aasta, mil kateedrid asendusid Tallinna Tehnikaülikoolis instituutidega ja *elektronarvutite* kateedrist sai *arvutitehnika* instituut. Seetõttu kateedrijuhatajaid enam meil polnudki vaja. Andres Keevallik hakkas juhatama arvutitehnika instituuti.

EUROCHIP avas ukse Tehnikaülikoolile

Meie rahvusvaheline koostöö arvutitehnika instituudis oli hakanud arenema niisiis paralleelselt kahte liini pidi: Lääne-Euroopa ja Skandinaavia suunas.

Esimeseks kolmeks europrojektiks, mis arvutitehnika instituut peagi teaduskonda tõi ja mis avas sellega teadusevärava Lääne-Euroopasse, olid seega, nagu juba ülal mainitud:

- EL-i projekt TEMPUS JEP 4772 (1993-1995) – *Digital System Design Based on PLD-Technology*;[28]
- EL-i projekt PECO JEP 7668 EEMCN (1993-1995) – *East European Microelectronic Cooperation Network of Support and Competence Centres*;[29]
- EL-i projekt COPERNICUS JEP 9624 FUTEG (1993-1996) – *Functional Test Generation and Diagnosis*;[30]

Projektide Eesti-poolseks koordinaatoriks oli arvutitehnika instituut. Projektide partnerite valik ja taotluste väljatöötamine toimusid perioodil, kui Raimund Ubar viibis välislähetustel – kaks kuud Rootsis (sept-okt, 1991) ja neli kuud Prantsusmaal (nov, 1991–märts, 1992).

Skandinaaviaga käivitus paralleelselt eelpoolloetletud kolme projektiga samuti koostöö, mida hakkas koordineerima:

[28] PLD – tehnoloogial põhinev digitaalsüsteemide design.
[29] EEMCN – Ida-Euroopa spetsialiseeritud mikroelektroonika kompetentsuskeskuste koostöövõrk.
[30] FUTEG – Funktsionaalsete testide genereerimine ja diagnostika.

– Rootsi-Eesti ühisprojekt ESTPID – *Electronics Cooperation between Stockholm KTH and Tallinn, TTU for the Promotion of Industrial Development.*[31]

Kõik need neli projekti kuulusid mikroelektroonika valdkonda, haarates nii kõrghariduse edendamist (Tempus), teadustööd (FUTEG), rahvusvahelise teadustöö võrgu loomist (EEMCN) kui ka väiketööstuse arengu toetamist Eestis elektroonika valdkonnas üldisemalt (ESTPID). Seega täiskomplekt eesmärke, mida teadus ühe konkreetse valdkonna arenguks peaks enda ette püstitama.

Kõikide nende projektide toetamise eesmärgil võeti TTÜ aga veel ühe europrojekti partneriks – EL-i projekt EUROCHIP, mille missiooniks oli arendada koostööd Euroopa ülikoolide ja mikroelektroonikatööstuse vahel. Ilma assotsiatsiooni EUROCHIP liikmeks saamata ja selle staatusega seoses väga olulise toetuseta jäänuna tipptööstuse töövahendite hankimisel oleksid ka kõik eelnimetatud projektid vaid kolmandiku võimsusega realiseerinud.

Aasta-paar hiljem õnnestus elektronarvutite kateedril pääseda isegi Euroopa Raamprogrammi (europrojekt ATSEC), kuhu Ida-Euroopa maadel ametlikult asja veel isegi ei olnud. Kõigest sellest järgnevatel lehekülgedel.

Mikroelektroonika assotsiatsioon Eurochip

80-ndateks oli maailma arenenud tööstusriikidel selgeks saanud, et teel infoühiskonda on võtmetehnoloogiaks kujunemas mikroelektroonika ning sellel rajanev informatsioonitehnika. Aga see tehnoloogia pole üksnes tööstusriikide monopol, sest tänapäevase kommunikatsiooni ja tööjaotuse juures ei pea projekteerimine (inseneriloomine) ja tootmine (ülikallis tööstus) koonduma ühte ja samasse piirkonda või isegi riiki. Seda tendentsi maailmas, kus kitsaskohaks on saamas vajaliku tasemega projekteerijate vähesus, mistõttu olemasolev tööstuspotentsiaal jääb kasutamata, oleks pidanud teadvustama ka Eesti, kes küll sõnades deklareeris meie šansse kõrgtehnoloogias ja teadusmahukas ekspordis maailmaturule, aga ei näidanud selleks tahet tegudes.

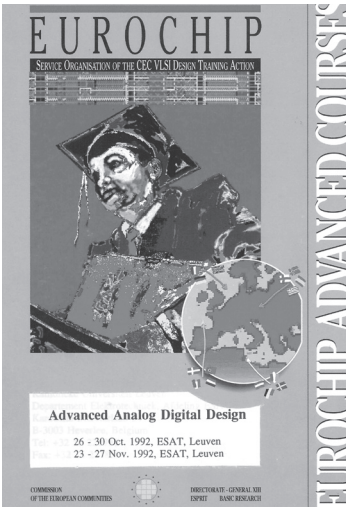
80-ndatel hakati Euroopas tunnetama mahajäämust mikroelektroonikas USA ja Jaapaniga võrreldes. Põhjuseks arvati olevat kõrghariduse mittevastavus nõuetele, millised oli üles seadnud toodangu keerukuse ootamatult kiire kasv tootmises. Olukorra parandamiseks ja uuenduste esirinnas seismiseks arvutite ja automatiseerimise valdkonnas võttis Euroopa Liit 1984. aastal vastu programmi **ESPRIT** [32], esimese paljudest uurimis- ja arendusprogrammidest, mida EL sellest ajast peale on rahastanud. Viis aastat hiljem loodi selle programmi raames spetsiaalselt ülikoolide arendamiseks organisatsioon **EUROCHIP**, mille põhifunktsiooniks sai Euroopa ülikoolide ja elektroonikatööstuse vahendamine. EL poolt eraldati 14 miljonit eküüd umbes sajakonna Euroopa eliitülikooli varustamiseks kõige uuema arvutustehnika ja digitaalsüsteemide disaini professionaalse tarkvaraga. See tähendas sisuliselt väljavalitud ülikoolide kõige tihedamat integreerumist tööstusega. Osutus võimalikuks luua õppeprojekte, mis realiseerusid praktikas. EUROCHIP-i esialgseks eesmärgiks oli suurendada elektroonikadisainerite arvu Euroopas 3000 inseneri võrra aastas.

90-ndate algust iseloomustas Eestis elektroonikatööstuse totaalne reorganiseerimine. Oli tekkimas palju väikeseid ja keskmise suurusega firmasid. Suured ja riiklikult kontrollitavad firmad suudavad halvasti kohaneda turumajandusest tuleneva konkurentsiga ja lagune-

[31] ESTPID – Stockholmi KTH ja TTÜ vaheline kooperatsioon elektroonikatööstuse arengu edendamiseks Eestis.
[32] *Esprit* (pr.k.) – vaim, mõistus; Euroopa strateegiline programm infotehnoloogia alasteks uurimusteks.

vad. Nii juhtus näiteks Eestis Punase RET-i, Raadioelektroonika Konstrueerimisbüroo ja paljude teiste N Liidu aegsete elektroonika valdkonna ettevõtetega. Uued väikefirmad Eestis olid hoopis paremini turule orienteeritud ja paindlikuma struktuuriga. Samas ei olnud neil piisavalt võimalusi teadusmahuka tootmise alustamiseks ning puudusid kõrge kvalifikatsiooniga tehnoloogia eksperdid.

Elektroonika-alase kesk- ja väikeettevõtluse hoogustamise eesmärgil käivitasime Eestis koos Rootsiga rahvusvahelise ühisprogrammi ESTPID, mille üheks tähtsamaks ettevõtmiseks oli Elektroonika Kompetentsuskeskuse loomine TTÜ-s. Selle keskuse üheks osaks kujunes Euroopa Liidu programmi TEMPUS raames elektronarvutite kateedri juurde rajatav mikroelektroonika projekteerimise labor.



EUROCHIP avas ukse

Tänu niisugusele arengule ja TTÜ arvutitehnika instituudi viimasel ajal intensiivselt loodud teaduskontaktidele Euroopa juhtivate ülikoolide ja uurimisasutustega mikroelektroonika alal ning osalemine programmis TEMPUS, tegid võimalikuks TTÜ arvamise Euroopa ülikoolide eliidi hulka – vastuvõtmise ühena vähestest Kesk- ja Ida-Euroopa maade akadeemilistest õppeasutustest EL-i assotsiatsiooni EUROCHIP. Ühenduses sellega avanes peagi võimalus TTÜ-le lülituda ka EL-i programmi ESPRIT.

EUROCHIP-i tegevust koordineerivaid organisatsioone oli viis, mis moodustasid omavahel konsortsiumi: Grenoble'i Rahvuslik Polütehniline Instituut Prantsusmaal (Laboratoorium TIMA), Taani Tehnikaülikool Lyngbys, Saksa Rahvuslik Uurimiskeskus GMD, Mikroelektroonikakeskus IMEC Belgias ja Rutherford Appletoni Laboratoorium Inglismaal. Tallinna Tehnikaülikooli „ristiisaks" sellest konsortsiumist sai TIMA Grenoble'is. Nimetatud organisatsioonid on omavahel Euroopa piirkonniti ära jaganud ja korraldavad vahendamist ülikoolide ja tööstuse vahel igaüks oma piirkonnas. Vahendamine tähendas sisuliselt riist- ja tarkvara oste väga suure hinnaalandusega ning tarkvara hooldust, konsultatsioone, tasuta läbiviidavaid täiendõppe kursusi ning ülikooliprojektide realiseerimist tööstuses.

Regulaarselt ilmub assotsiatsiooni infoleht, kus tutvustatakse pidevalt uuenevaid teenuste võimalusi, planeeritavaid tegevusi ja samuti ülikoolides väljatöötatud projekteerimistarkvara pakette. Igal aastal korraldatakse ülikoolidevaheline konverents õppe-metoodiliste kogemuste vahetamiseks ja ülikoolide tarkvara väljatöötluste tutvustamiseks.

Ajalooliselt oli EUROCHIP-il olnud mitmeid eelkäijaid: analoogiline organisatsioon Põhjamaades – NORCHIP, mis alustas tegevust juba 1982. a., Lääne-Saksamaa rahvuslik programm integraalskeemide projekteerimiseks E.I.S., mis tegutses aastatel 1983-1989, ja rahvusprogrammid teistes riikides.

EUROCHIPi loomise ajendiks sai arusaam, et üheainsa riigi mastaapides niisugune ülikoole ja tööstust vahendav ettevõtmine ei saa kujuneda efektiivseks.

Milliseid hüvesid tajusime meie, olles saanud assotsiatsiooni EUROCHIP liikmeks. Kõigepealt andis see meile võimaluse oma vabariigi rahalisi vahendeid kasutamata saada litsentse ligipääsuks sadu tuhandeid dollareid maksvale professionaalsele projekteerimistarkvarale ehk siis just niisugustele töövahenditele, mida kasutavad insenerid Euroopa

juhtivates tööstusfirmades. Teiseks, avas see liikmesus meile uksed ka Lääne-Euroopa uusimale tehnoloogiale, mis seisnes selles, et õppetöös valminud projekte oli nüüd võimalik realiseerida valmis mikroskeemidena, kasutades selleks Lääne tehnoloogiat. Kolmandaks, tehnilise kõrghariduse seisukohast kõige olulisemaks hüveks oli anda TTÜ tudengitele võimalus õppida töötama vahenditega, millega töötab insener Euroopas ja looma sama kvaliteediga produkte, nagu seda tehakse Euroopas.

Ei saa ujuma õppida basseinis käimata. Nii ei saa ka elektroonika projekteerimist kaasaegsel tasemel õppida ilma selleks vajalikke töövahendeid tundmata ja oma loomingut valmis kujul nägemata ning katsetamata.

Miks just mikroelektroonika?

Kas Eesti vajab üldse oma mikroelektroonikat – sellealast haridust, teadust ja tööstust? Küsimuse niisugune püstitus ei ole retooriline. See on ju probleem, mis on otseselt seotud Eesti tööstuspoliitika kujundamisega palju laiemas plaanis. Kahtlemata on Eestis väike hulk inimesi, eeskätt selle ala entusiaste, kes ütlevad „jaa, muidugi vajame mikroelektroonikat!“, suurem hulk inimesi, kes ütlevad pragmaatiliselt „ei“, omamata seejuures üldse kompetentsust olukorra hindamiseks, ja väga suur hulk inimesi, kes lihtsalt ei oskaks seisukohta võtta.

Uljana uurib plaati kiipide kogumiga, kus igas kiibis võib olla sadu tuhandeid või miljoneid loogikalülisid. Jaan (paremal) koos oma india doktorandi Vineethiga aga uurivad ühe niisuguse kiibi käitumist arvutisimulaatori abil.

Elektroonika (sh. mikroelektroonika, nüüd juba nanoelektroonika) on juurdunud meie elus kõikjal. Materiaalne keskkond meie ümber on muutumas üha „intelligentsemaks“, üha rohkem protsesse toimib automaatselt. Uue toote ainsaks äriideeks kujuneb tihtipeale selle eelkäija „intelligentsusastme“ tõstmine, mille teeb võimalikuks elektroonika rakendamine.

Näiteks auto hinnast moodustab 40% elektroonika ja tarkvara. Sellest 50-70% kulub tarkvarale (ehk siis 20-30% auto hinnast) ja 30-50% riistvarale (ehk siis 15-20% auto hinnast). Tarkvara projekteerimise kuludest läheb 50% vigade otsimisele ja kõrvaldamisele, riistvara projekteerimise ja valmistamise kuludest läheb 70% testimisele ja diagnostikale. Seega kokkuvõttes lisandub puhtalt 40% elektroonika maksumusele autohinnast veel ka testimisele ja vigade otsimisele 20-25% auto hinnast. 90% kogu innovatsioonist, mis toimub autode arendamisel, läheb elektroonika arendamise arvele.

Elektroonikatööstuse areng on olnud äärmiselt tormiline, kusjuures elektroonika lisandväärtuse põhiallikas on selle arengu käigus nihkunud üha rohkem elektroonika kasutajate

ehk disainerite töömaale. Elektroonikatoodete põhiväärtus luuakse ideede genereerijate ja disainerite ajudes. Näiteks Saksamaa majanduse koguproduktist läks 90-ndate keskel vaid 0,3% elektroonika komponentide (ehk tehnoloogia) arvele, aga tervelt 30% tuli elektroonika disainist ja rakendustest. Sajandi algul oli elektroonikatööstuse tootmismahu juurdekasv Euroopas kuus või enam kordi suurem kui kõikides muudes tootmisharudes.

Ükski maa ei saa enam olla Maa peal tänapäeval tööstusriik, toetumata elektroonikale ja selle valdamise kompetentsusele. Info operatiivne saamine kõikvõimalikest allikatest, selle edasikandmine, konfidentsiaalse info šifreerimine ja dešifreerimine, info muutmine liikumiseks, valguseks, soojuseks, heliks – see on tüüpiline ahel, mille kaudu inimene korraldab ja ekspluateerib soovipäraselt ümbritsevat tehiskeskkonda.

Arvutite osa selles skeemis on vaid episoodiline, kuid küllalt oluline. Selles ahelas on vaja vahel keemiat, vahel füüsikat, kord mehaanikat, kord elektrotehnikat, aga mitte kunagi ei puudu sealt elektroonika, üks pisike elektronputukas, mis täidab vahendaja-tõlgi rolli inimese või infovahendite ja tumma tehiskeskkonna vahel.

Elektronputukast tehistõlgi, mida nimetatakse moodsalt ASIC[33], töövaldkond on erakordne. See on tsoon, kus info, idee ja tumm tehiskeskkond oma lõpmatus mitmekesisuses kõige vahetumalt korraga kokku puutuvad. Lõpmatust mitmekesisusest aga tuleneb valdkonna tormiline arengudünaamika ja äärmine ebastabiilsus, mis omakorda tähendab tänuväärset tööpõldu innovaatoritele ja väga paindlikule väikeettevõtlusele.

Elektroonika strateegiline tähtsus ühele riigile ei seisne mitte kallile tehnoloogiale rajanevas masstoodangus (see on suurtööstuse ampluaa), vaid kõige efektiivsemas viisis luua väärtusi, kasutades selleks eeskätt ajupotentsiaali (see aga on väikeettevõtluse ampluaa). Paradoks on veel selles, et elektroonika, muutudes üha efektiivsemaks ja samas ka keerukamaks, muutub ta kõigele lisaks veel üha odavamaks ja üha kiiremini realiseeritavamaks. Elektroonika ise on juba loonud sellise infoühiskonna infrastruktuuri, mis ka ilma superinvesteeringuid nõudvate tehnoloogiateta võimaldab disainivahendite ja sidemete võrgu olemasolul täisedukat kõrgtehnoloogias osalemist. See on väikeste firmade ja tarkade ning ettevõtlike inimeste pärusmaa.

Ülalmainitu olekski osaline vastus esitatud küsimusele, kas Eestile on vaja mikroelektroonikat, eeldusel, et Eesti riik näeb ette omaenda teadusmahuka ja suure lisandväärtusega ekspordivõimelise tööstuse arendamist.

Mikroelektroonikast rääkides peame enamasti silmas integraalskeeme kui elektroonikatoodete koostisosi. Integraalskeemid võivad olla standardsed (massiseeriates toodetavad) või spetsialiseeritud (ühe konkreetse toote tarbeks valmistatavad). Kumbki variant pole Eesti jaoks päris sobiv, kuna see eeldab kallist tehnoloogiat ja suuri investeeringuid, eeskätt väikefirmasid silmas pidades.

On aga veel üks tüüp integraalskeeme – niisuguseid, mis kujutavad endast „toorikuid“ – mille lõplik funktsionaalne sisu luuakse programmeerimise teel (nii nagu tavalisi arvuteidki programmeeritakse). Siia kuuluvad näiteks mikroprotsessorite kõrval nn. *programmeeritavad loogikamaatriksid* (FPGA).[34] Just siin seisnebki eesti väikefirmade suur šanss, kui räägime *mikroelektroonikast* .[35] Rajades oma strateegia FPGA-le, oleks vaja vaid kokku osta niisuguseid „toorikuid“, mis on piisavalt odavad, kuna neid valmistatakse massitiraažides, ning täiendava programmeerimise abil „toota“ niisugust elektroonilist „intelligentsust“, mida hea äriidee ja sellega resoneeruv originaalne insenerimõte dikteerivad.

33 ASIC – *Aplication Specific Integrated Circuit* (rakendusotstarbeline kiip).
34 FPGA – *Field Programmable Gate Array.*
35 Täna räägitakse mikroelektroonika kõrval sageli ka nanoelektroonikast, ehk siis vaheldumisi mõlemast.

Niisuguse strateegia puhul garanteeriksid edu mitte kallis tehnoloogia, vaid lai silmaring, fantaasia ja kõrge tasemega inseneriharidus. Sellise mikroelektroonika tööstuse „alguse" puhul oleksid stardikulud minimaalsed. Vaja oleks aga turu tundmist, uute äriideede genereerimise oskust ja samal ajal ka elektroonikainseneride kaadrit, kes valdaksid tänapäevaseid projekteerimisvahendeid ja meetodeid. Niisugune turg võiks näiteks kujutada endast ka allhanketööde tellimusi kõige erinevamatelt tootmisaladelt. Selline turg on olemas kindlasti Läänes, kuid niisuguse turu tekkimine on täiesti tõenäoline ka Eestis, kui siin valmistatavad elektroonikat sisaldavad tooted muutuksid ekspordivõimelisteks.

Arvutitehnika instituut asuski aktiivselt tegutsema kohe pärast piiride avanemist 80-ndate lõpul eesmärgiga, et inseneriharidus Eestis arvutitehnika ja mikroelektroonika valdkonnas saaks konkurentsivõimeliseks selle haridusega, mida võib omandada Euroopa tippülikoolides. Lühikese perioodi vältel väga intensiivselt tegutsedes õnnestus instituudil tuua 1993. aastaks Tehnikaülikooli, kelle enda finantsvõimalused olid sel ajal sisuliselt olematud, tervelt kolm europrojekti: ühe EL programmi Tempus raames, teised kaks (EEMCN ja FUTEG) programmi COPERNICUS raames. Lisaks nendele projektidele, käivitus TTÜ arvutitehnika ja elektroonika instituutide initsiatiivil koostöös Stockholmi Kuningliku Tehnoloogiainstituudiga rahvusvaheline Eesti-Rootsi ühisprojekt ESTPID[36].

Üheks esimeseks rahvusvaheliseks ürituseks kontaktide otsingul Skandinaavias oli 18.-20. märtsil 1991. a. Tallinnas korraldatud konverents *The First Finnish-Estonian Workshop on Digital Circuits and Algorithms*. Konverentsil andsid pikema ülevaate teadustöö seisust ja arengutest arvutitehnika instituudis **Aleksander Sudnitsõn** ettekandega[37] digitaalsüsteemide disaini valdkonnast ja **Raimund Ubar** kahe ettekandega[38,39] digitaalsüsteemide diagnostika valdkonnast.

Aktiivne koostöö hakkas siiski kõigepealt toimuma rootslastega alates järgmise aasta kevadest, mille tulemusena tekkiski ühisprojekt ESTPID, mille tähtsaimaks tulemuseks oli selle väga lai haare, ühest küljest koostöö käivitamine ülikoolide vahel, teiselt poolt aga koostöö kontaktide loomine mõlema maa elektroonikatööstuse vahel.

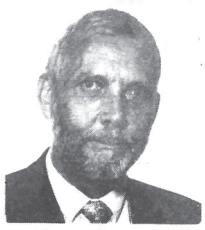
Rootsi-Eesti ühisprojekt ESTPID

Koostöö memorandum

Rootsi-Eesti ühistöö konkreetsema käivitamise idee sai alguse 1991. aastal, mille juured pärinesid kahtlemata juba eksisteerivatest kontaktidest Eesti ja Rootsi teadlaste vahel. Otsustava tõuke selle programmi idee käivitamisele andsid kaks Raimund Ubari visiiti Stockholmi 1991. aasta sügisel, ühenduses tema kahekuise külalisprofessuuriga Linköpingi Ülikoolis Rootsi Instituudi stipendiaadina.

Koostöö Rootsi ja Eesti vahel, mille eesmärgiks oli edendada Eestis elektroonikatööstust, sai uue hoo Rootsi Majandusministeeriumi ja NUTEK-i[40] tellimusest Stockholmi Kuninglikule Tehnoloogiaülikoolile KTH[41] analüüsida Eesti elektroonikatööstuse pers-

36 ESTPID – *Electronics cooperation between Stockholm and Tallinn for Promotion of Industrial Development.*
37 „Hardware Synthesis from High-Level Specifications".
38 „Test Generation for Application Specific Integrated Circuits".
39 „Digital Test Design based on Alternative Graphs".
40 NUTEK – Rootsi Majandus- ja piirkondliku kasvu amet.
41 KTH – *Kungliga Tekniska Högskolan*.



BENGT HENOCH is a professor at the Department of Applied Electronics of the Royal Institute of Technology in Stockholm. In 1964 he received a technical doctors degree from the Royal Institute of Technology. Up to 1964 he was involved in microwave research in the military field. Since 1964 he worked at the Microwave Department Institute of the Royal Institute of Technology. His research areas are microwave circuits and components and microwave identification systems. In 1980 he joined Philips where he has been responsible for strategic development concerning identification system. In the present time, he is leading a research group at the Royal Institute of Technology working on general aspects of mobile node networks based on different transmission media. He is the member of the Baltic Academy of Technological Sciences.

KTH professor Bengt Henoch Rootsist – ESTPID-i projekti initsiaator

pektiive, teha selle hetkeolukorrast ülevaade ning anda soovitusi tegevusplaani koostamiseks Eesti abistamise eesmärgil.

1992. aastal toimusid selle ülesande raames kaks töökoosolekut Tallinnas. Nende koosolekute ettevalmistamist juhtis Eesti poolt põhiliselt **Mart Min**. Diskussioonides ja konsultatsioonides Interneti vahendusel osales selles töös ka Grenoble'is lähetusel viibiv **Raimund Ubar,** kes jõudis tagasi Eestisse parajasti selleks hetkeks, kui koostöö hakkas hoogu koguma esimeste visiitidega rootslaste poolt Eestisse.

Esimene koosolek viidi läbi 14.-15. aprillil 1992, kus prof. **Bengt Henoch** ja prof. **Hannu Tenhunen** KTHst tegid külalisvisiidi TTÜ-sse, külastades ka mõningaid väikefirmasid TTÜ kampuses, Pöögelmanni Elektroonikatehast, tehast RET ja Eesti Majandusministeeriumi. TTÜ-s olid vastuvõtjateks Mart Min ja Raimund Ubar, külastati kõiki TTÜ automaatika teaduskonna instituute. Külastajate hinnang õpetamise tasemele oli hea, kuid nenditi, et laborite varustus ei vasta sellele, mis oleks vajalik moodsa tehnoloogia õpetamiseks tudengitele. Külastati ka Küberneetika Instituuti ja umbes kümmet *spin-off* elektroonikafirmat. Küberneetika Instituut sai väga hea hinnangu, viitega heale varustatusele tehnikaga. Üldiseks märkuseks oli väliskoostöö puudumine, aga arvati optimistlikult, et TTÜ ja TTÜ-ga seotud väikefirmad võiksid moodustada perspektiivse tuumiku elektroonikatööstuse taaselustamiseks Eestis.

Oma aruandes andsid rootslased ausa hinnangu ka majanduslikule olukorrale Eestis: rahasüsteem oli kokku varisenud, palka maksti ebaregulaarselt ja vaba aja prioriteediks oli kartulikasvatus, et üle elada talv. Elektroonikatööstuse suurimaks hädaks oli endise Nõukogude Liidu aegse turu kaotus, mistõttu oli ka rohkeid vallandamisi tööstusettevõtetest. Märgiti sedagi, et elektroonikatööstuse privatiseerimise plaani veel ei olnud ja selle läbiviimise põhimõtted polnud selged.

Koosolekul valmistati ette ka järgneva kokkusaamise kava.

Kohtumise teisel päeval kirjutati alla Rootsi-Eesti ühiskoosolekul ESTPID-i programmi memorandum. Eesti Valitsuse esindajana kirjutas alla minister **Riivo Sinijärv**, Rootsi poolt prof. Bengt Henoch (KTH), prof. Hannu Tenhunen (KTH), **Paavo Takalo** (FINCITEC OY, direktor) ja Eesti poolt prof. Mart Min (TTÜ), Raimund Ubar (TTÜ), **Kalju Leppik** (EKTA, direktor), **Harry Tani** (EKTA, Eesti Elektroonika Assotsiatsiooni president).

Memorandumi lühikokkuvõttena on toodud järgmised rootslaste põhiseisukohad ja ettepanekud tulevikuks.

Esimene mulje olukorrast Eestis oli parem kui algul oli arvatud. Eriti kiideti EKTA ja TTÜ kõrget taset mõõtetehnika ja signaalitöötluse valdkonnas. Kiideti firmat Kamitra (**Heino Lind**), kus tegeldi trükkplaatide väljatöötamise ja tootmisega.

ASIC-alane väljatöötlus, mis arvati väga oluline ja perspektiivne ka Eesti jaoks olevat, lükati esialgu programmist välja, kuna Eestis eksisteeris sellealane kompetents vaid üksikute inimeste näol. Teema jäi siiski agendasse püsima, seda enam, et TTÜ elektron-

arvutite kateedris oli selline arengusuund juba paika pandud (selleks hetkeks oli juba teada, et kolme europrojekti taotlused olid saanud positiivse hinnangu).

> Väga negatiivse hinnangu sai meie elektroonika suurtööstus, kus ikka veel hellitati lootust oma monopoolset seisundit taastada Ida turul. Rootslaste seisukoht oli selge ja konkreetne: Ida turgu enam ei ole ega tule ja suund tuleb võtta, mida kiiremini seda parem, Lääne turule. Siiski, mõningaid võimalusi nähti Pöögelmanni Elektroonikatehasele kuuldeaparaatide tootmise osas ja Raadioelektroonika korporatsioonile RET akustiliste seadmete tootmise osas (raadioseadmete tootmises ei nähtud nende jaoks mingeid perspektiive).
>
> Kategooriline oli rootslaste seisukoht, et kogu „ajalooline" aparatuur tuleb momentaanselt minema visata, seda olevat meil kuhjas rohkem kui on inimesi, kes sellega tegelikult töötavad.

HASSE SAMUELSSON

HASSE SAMUELSSON was born in September 21, 1938. Pol Mag Uppsala university 1964. Employments: Swedish Industrial Association 1965, Executive vice president since 1977. President in Swedish Association of Electronics Industries since 1969. President in Swedish Association of Software Producers since 1984. President in Federation Against Software Producers since 1984. President in Federation Against Software Theft (FAST) Sweden since 1990. Board member of the Swedish Institute of Corporate Development.

Rootsi Elektroonikatööstuse Assotsiatsiooni president Hasse Samuelsson

Samas arvasid rootslased, et see praegune 15 aastat mahajäämust oleks nende arvates kergesti ületatav, sest 3-5 aasta vanust tehnoloogiat „tagaajamise" eesmärgil oleks võimalik saada väga odavalt. Viimase 2-3 aasta mahajäämuse likvideerimine saab aga olema põhiliseks peavaluks. Laitvalt vaadati sellele, et pärast piiride avamist on need 2-3 viimast aastat oldud Eestis üsnagi passiivsed. Juhiti tähelepanu sellele, et Ida-Euroopa riikide omavaheline konkurents Läänest abi taotlemisel on üha kiiremini kasvamas, kus ei tohi oma aktsioonidega „hiljaks jääda", sest Lääne riikide abiandmise võimalused on piiratud. Väga positiivselt aga vaadati arvutitehnika instituudi edule europrojektide taotlemisel ja nähti selles suurt potentsiaali tehnoloogialõhe ületamisel nii Euroopa kui ka Skandinaavia suunas.

Kohtumise lõppedes moodustati programmi ESTPID korralduskomitee, mille juhtideks Eesti poolt said **Mart Min** TTÜ-st ja **Harry Tani** EKTA-st ning Rootsi poolt **Bengt Henoch** (KTH) ja **Hasse Samuelsson** (SEFF).

Konverents

Järgmine koosolek toimuski 13.-15. mail konverentsi vormis. Rootsi poolt tegid ülevaatelised ettekanded Rootsi Elektroonikatööstuse Assotsiatsiooni president Hasse Samuelsson Rootsi tööstuse olukorrast ja prof. Bengt Henoch KTH-st elektroonika õpetamisest Rootsi ülikoolides. Konverentsi eesmärgiks oli kuulata ära Eesti tööstuse ja TTÜ esindajate ettekanded teadustöö ja tööstuse *status quo*'st Eestis ning eestlaste ettepanekud väljapakutavate projektide kohta koostööks Rootsi elektroonikatööstusega. Konverentsi külastas 98 eesti teadlast ja inseneri. Kokku esitati eestlaste poolt 54 ettepanekut koostööks või tutvustati olemasolevaid tooteid. Nende hulgas kaks ettepanekut tuli TTÜ arvutitehnika instituudist digitaalsüsteemide diagnostika valdkonnast kahe TTÜ-s juba loodud toote prototüübi näol: „Digitaalskeemide diagnostikatarkvara „Turbo Tester"" ja „Digitaalsüsteemide testigeneraator FTGEN". Ühe ettekande tegi Raimund Ubar ka koostöö initsieerimiseks ülikoolide vahel, mis käsitles arvutitehnika instituudis loodud õppekeskkonda: „Laboratoorne keskkond diagnostika õpetamiseks tehnikaülikoolides".

54-st ettekandest olid 34 TTÜ-st, Küberneetika Instituudist ja EKTA-st ning (nii nagu rootslased nimetasid) nende tütarfirmadest: Quadra, Enari, Sv Systest, Kamitra, Ektatex, Echelan ja Ektaforth. Sellest 34-st puudutasid 10 ettepanekut mõõte- ja juhtimissüsteeme, 4 olid seotud tarkvara väljatöötlustega (sh. arvutitehnika instituudi 2 taotlust), 8 olid seotud mitmesuguste alltöövõtu raames tehtud arenduste ja toodetega, sh. trükkplaatide ja riist- (ASIC[42]) ning tarkvara projekteerimisega. 12 toote ettepanekut ei osatud klassifitseerida. Üldse oli sellest 54-st taotlusest vaid 20 seotud vahetult elektroonikatööstusega.

Toodete või prototüüpide väljapakkumistega esinesid TTÜ-st **Mart Min**, **Enn Mellikov**, **Rein Sabolotny**, **Madis Toomet**, **Raimund Ubar**, **Toomas Uutma**, **Heikki Vallaste** jt. Arvutitehnika instituudiga koostöö kaudu seotuna esinesid veel Küberneetika Instituudist **Toomas Plaks** ja EKTA-st **Harry Tani**, **Heldur Haak**, **Andri Ariste** ning **Kaido Vainomaa**.

Pärast seda seminari jätkusid kontaktid Rootsi ja Eesti teadlaste ning ettevõtjate vahel, mille tulemusena käivitatigi 3-aastane ühisprojekt ESTPID. Projekti sisuks oli koostöö Rootsi Elektroonikatööstuse Assotsiatsiooni (**Hasse Samuelsson**, president) ja Eesti Elektroonikatööstuse Assotsiatsiooni (Harry Tani, president) vahel.

Projekti põhieesmärkideks olid: (1) stipendiumide käivitamine KTH ja TTÜ ning Rootsi ja Eesti elektroonikatööstuste teadlastele ja inseneridele nii partnerite vastastikuseks külastamiseks kui ka eestlastele väljaõppe korraldamiseks Rootsis; (2) Eesti elektroonika saavutuste esitlemiseks Rootsi elektroonikaalastel ELMIA näitustel; (3) elektroonika kompetentsikeskuse asutamine TTÜ kampuses ja ühiste seminaride regulaarne korraldamine ühisprojektide planeerimiseks ja käivitamiseks. Peamisteks finantseerijateks selle projekti algperioodil olid Swede Corp ja Swedish Institute Rootsis.

Esimesel projektiaastal käivitus edukalt stipendiumide programm. Kokku 9 inseneri eesti elektroonikatööstusest veetsid igaüks kuni 6 kuud oma partnerfirmas Rootsis, s.h. kaks noorteadlast TTÜ elektroonika instituudist said võimaluse töötada KTH-s. Arvutitehnika instituut otseselt ESTPID-i projekti rahalisi vahendeid ei kasutanud, küll aga õnnestus projekti raames luua töiseid kontakte nii KTH-s kui ka teistes Rootsi ülikoolides nagu Linköpingi Ülikool ja Chalmersi Tehnoloogiaülikool. Kahel Tallinnas korraldatud seminaril oli võimalik identifitseerida vastastikuseid huvisid ja alustada koostööd. ELMIA näituse külastused andsid suurepärase võimaluse saada ülevaade Rootsi elektroonikatööstuse tasemest ja turust. Üheks projekti tulemuseks oli Kompetentsuskeskuse initsiatiivgrupi loomine TTÜ kampuses, mille funktsioonidena nähti edendada Eesti elektroonika kompetentsi ja võimekust, tegutseda teabe- ja infokeskusena, võimaldada mõõte-, testimise- ja kvaliteedialaseid teenuseid ning arendada nii koostööprojektide initsieerimistegevust kui ka panustada inseneriharidusse.

Väljavõte arvutitehnika instituudi koosoleku protokollist 26.05.93.
Kohal: prof. **A. Keevallik**, prof. **R. Ubar**, prof. **P. Leis**, dots. **M. Kruus**, dots. **V. Viies**, dots. **T. Evartson**, dots. **H. Mägi** jt. õppejõud.

Kuulanud ära prof. Raimund Ubari lühiinfo ESTPID-i projekti käigu kohta, koosolek otsustas:
1. Lugeda TTÜ arvutitehnika instituut loodava Elektroonika Kompetentsikeskuse asutajaliikmeks.
2. Nimetada loodava Elektroonika Kompetentsikeskuse juhatuse koosseisu prof. Raimund Ubar.
3. Volitada prof. R. Ubarit alla kirjutama Elektroonika Kompetentsikeskuse asutamisdokumentidele.

[42] ASIC – *Aplication Specific Integrated Circuits.*

Elektroonika Kompetentsuskeskuse ECC[43] nõukokku arvati: prof. **Mart Min**, prof. **Toomas Rang** ja prof. **Raimund Ubar** (TTÜ), dr. **Harry Tani** (EKTA), prof. **Bengt Henoch** (KTH) ja mr. **Hasse Samuelsson** (Rootsi Elektroonikatööstuse Assotsiatsioon, president).

ESTPID projekti kronoloogia

25.09.1991. Projekti idee sünd kohtumisel Stockholmis KTH-s, kus osalesid prof. Bengt Henoch, dots. **Carl-Olov Stawström** (KTH) ja prof. Raimund Ubar (TTÜ).

30.10.1991. Kohtumine dots. Stawströmi ja prof. Ubari vahel, kus täpsustati koostöö viise, mis aitaksid toetada TTÜ teadus- ja arendustöö saavutuste jõudmist Eesti elektroonikatööstuseni ja sealt kaudu Eesti elektroonikatoodete ekspordini.

Rootsi Majandusministeerium ja NUTEK esitavad tellimuse KTH-le viia läbi Eesti elektroonikatööstuse *status quo* monitooring.

28.03.1991. Prof. Raimund Ubari külalisloeng KTH-s, 2 nädala pärast toimuva esimese ESTPID-i koosoleku agenda arutamine.

14.-15.04.1992. Esimene ühiskoosolek Tallinnas. Programmi ESTPID korralduskomitee asutamine – Min, Tani Eestist ning Rootsi poolelt Henoch ja Samuelsson.

13.-15.05.1992. Teine ühiskoosolek ja konverents Tallinnas. Projekti ESTPID käivitamine ja projektijuhtide valik (Min, Samuelsson).

ELEKTROONIKA leht

0(0)

June 1993

Estonian Electronics Newsletter

THE ESTPID-PROJECT

In 1991 the idea came to use existing and extended cooperation between the electronic departments of the Royal Institute of Technology, KTH, and Tallinn Technical University, TTU as a catalyst for developing Estonian industry.

The starting point was a survey and study of the Estonian Electronics Industry that was made by the electronics department at KTH and the Institute of Cybernetics and TTU. This study was supported by the department of industry and NUTEK.

The study was the base for a proposed three year project, ESTPID. At this point cooperation was established with the Swedish Association of Electronics Industries, EIF, and the Estonian Electronics Industry Association.

The proposed project was directed towards a scholarship program between KTH and TTU and between Swedish and Estonian electronics industries, presentation of Estonian electronics at the Elmia subcontractors exhibition, planning and setting up of a competence center on TTU campus and planning and starting Swedish-Estonian cooperation projects through workshops.

The basic parts of the first years programme have been supported by Swede Corp and the Swedish institute.

First years activities in ESTPID

A scholarship program has been completed with very positive results.

Nine engineers from Estonian industry have as scholars spent up to six months at Swedish host companies.

One engineer has as scholar at IVF in Gothenburg prepared an activity related to quality assurance and ISO 9000.

Two scholars from TTU have started studies and research at the department of electronics, KTH, with particular emphasis on running European Communities research projects.

One scholar has, with a base at the department of electronics, prepared structure and tasks of a TTU competence centre. Support has been given from the department of industrial economy and the KTH industrial park.

Two workshops in Tallinn have as result identified possible cooperation projects between Sweden and Estonia.

The Elmia exhibition has given the participating companies a valuable exposure on the Swedish market.

Key results of the first year are:

- A group of scholars, who when returning to Estonia, form a network of market oriented engineers

Dear Reader!

You are reading now the first Estonian electronics newsletter. Estonian scientists began to work in the field of electronics in the thirties. Their accomplishments over the years have received much notice from all the world. Unfortunately the closed society which we left only a year and a half ago didn't allow either free communication or exchanging of information. Contact with colleagues from the West was carefully controlled. After the borders opened, we started to catch up on lost time. Therefore, we decided to publish the first electronics newsletter in Estonia in English. We would like to express special thanks to our colleagues from Sweden with whom we are successfully collaborating on the ESTPID project. We look forward to establishing productive cooperation with electronics scientists from different countries as well. This newsletter will be your first guide to our activities.

Edited by Ulle Satz

05.-09.10.1992. ESTPID-i projekti 1 regulaarne töötuba Tallinnas. Ettekanded TTÜ teadlastelt ja ESTPID-i stipendiumi kandidaatidelt. Prof. B. Henochi, H. Samuelssoni jt. külalisloengud.

10.-13.11.1992. Elektroonikatoodete näituse ELMA Subcontracting 92 külastamine Eesti esindajate **Kaido Vainomaa** ja **Kalev Märtensi** poolt.

03.12.1992. Seminar Stockholmis, millest võtavad osa 10 Rootsi elektroonikatööstuses viibivat Eesti stipendiaati ja kus külalistena viibisid ka Harry Tani ja **Toomas Rang** Tallinnast.

27.-28.01.1993. Prof. Toomas Rangi visiit Stockholmi ja kohtumine Samuelssoni ning Henochiga.

08.-10.03.1993. Prof. Bengt Henochi töövisiit Tallinna, TTÜ ja EKTA külastused.

28.03.1993. President Hasse Samuelssoni visiit Tallinna Tehnikaülikooli, kohtumine prof. Toomas Rangiga ja järgmiste stipendiaatide väljavalimine Rootsi tööle suunamiseks.

14.-15.06.1993. Seminar Stockholmis, kus toimus arutelu ESTPID-i kompetentsuskeskuse koostöö üle Eesti elektroonikatööstusega.

Raimund Ubari ja TTÜ kirjastuse toimetaja **Ulli Satsi** aktiivse tegevuse tulemusena anti välja kaks numbrit Elektroonika lehte 1993. a. juunis ja 1994. a. mais. Esimesest saab lugeda pikema ülevaate programmi ESTPID kulgemisest.

[43] ECC – *Electronics Competence Centre.*

Euroopa arendusprojekt TEMPUS

Projekti tegemistest

Elektronarvutite kateedri esimene Euroopa Liidu projekt TEMPUS JEP 4772 – *Digital System Design Based on PLD-Technology*[44] algas 1993. aasta 1. jaanuaril. Projekt kuulus programmi TEMPUS (*Trans-European Mobility Scheme for University Studies*), mille eesmärgiks oli toetada Ida-Euroopa ja Baltimaade ülikoole nende õppeprogrammide moderniseerimisel ja oli mõeldud õppejõudude ja üliõpilaste õppereiside läbiviimiseks Lääne-Euroopa partner-ülikoolidesse. TTÜ partneriteks olid *Technische Hochschule Darmstadt* Saksamaal (**Manfred Glesner**), kes oli projekti koordinaatoriks, ja *Institute National Polytechnique de Grenoble* Prantsusmaal (**Bernard Courtois**)). Prof. Glesner oli Darmstadti Tehnikaülikooli mikroelektroonika süsteemide instituudi direktor ja prof. Courtois juhtis TIMA Laboratooriumit Grenoble'i Rahvuslikus Polütehnilises Instituudis.

Konkurss projektitaotluste vahel oli suur, aktsepteeritud projektide temaatika aga peegeldas väga iseloomulikult Euroopa Liidu poliitikat. Näiteks neli Tallinna Tehnikaülikoolile võimaldatud projekti puudutasid järgmisi alasid: sotsiaalpoliitilised teadused, keeleõpe, keskkonnakaitse ja mikroelektroonika. Võib muidugi vaielda, milline projekt oleks olnud Eestile kõige tähtsam, aga kahtlemata olid need neli loetletud temaatikat tähtsateks võtmeküsimusteks Eesti integreerumisel neil päevil muu maailmaga.

5. märtsi Õhtulehes ilmus järgmine väikene uudisnupp:[45]

*„18.03. ja 19.03. toimub Tallinna Tehnikaülikoolis Euroopa Liidu programmi TEMPUS raames seminar teemal „Mikroelektroonika uutest strateegilistest suundadest". Seminari viivad läbi rahvusvahelise mainega teadlased Darmstadti Tehnikaülikoolist Manfred Glesner ja **Peter Pöchmüller**. Kavas on tutvustada eesti elektroonikutele uusimaid mikroelektroonika tehnoloogilisi suundi ja strateegiaid. Eriti pööratakse tähelepanu uuele maailmas alles levima hakkavale elektroonikalainele – nn. programmeeritavale mikroelektroonikale. Eesti arenevat väikeettevõtlust silmas pidades, osutub selle tehnoloogia kasutamisel võimalikuks alustada praktiliselt kohe perspektiivikat elektroonika-alast tootmist. Nimetatud orientatsioon tagab sõltumatuse kallitest tehnoloogiatest, kujutab endast madala riskiga projekteerimise stiili, võimaldab kiiret ja operatiivset arendustööd ja garanteerib tootesse realiseeritava teabe ning ideede salajaseks jäämist.*

*Seminariga üheaegselt toimub TTÜ arvutitehnika instituudis töökoosolek programmeritava mikroelektroonika alase TEMPUS projekti koordineerimiseks. Projekti juhtideks on prof. M. Glesner Darmstadtist, prof. B. Courtois Grenoble'ist ja prof. **R. Ubar** TTÜ-st. Eesmärgiks on rajada TTÜ juurde mikroelektroonika projekteerimise labor, mis peaks kujunema baasiks nii ülikooliõppele kui ka täiendusõppele eesti elektroonikute tarvis. Koosolekul püütakse luua kõige otstarbekam plaan labori aparatuuriga ja tarkvaraga varustamisel ning välisõppe organiseerimisel. Käesoleval hetkel näiteks õpib antud projekti raames Saksamaal ja Prantsusmaal juba kaks õppejõudu ning 5 magistranti ja doktoranti."*

Meie Tempuse projekt kestis kolm aastat. Olulisteks tulemusteks olid: instituudi laboratoorse baasi kaasajastamine, meie tudengite ja õppejõudude visiidid Darmstadti Tehnikaülikooli Saksamaal ja TIMA laborisse Prantsusmaal, regulaarsed külalisloengud Saksamaa ja Prantsusmaa õppejõududelt Tallinnas ja uute loengukursuste ning laboritööde tsüklite väljatöötamine meie instituudis. Märkida tuleb sedagi, et visiitidel Euroopas ei käinud tudengid ja õppejõud üksnes elektronarvutite instituudist, vaid ka automaatikateaduskonna naaberkateedritest. Laboratoorse baasi tugevdamisele aitasid kaasa ka paralleelsed teadus-

[44] Projekti eestikeelne nimetus: PLD-tehnoloogial põhinev digitaalsüsteemide disain.
[45] R. Ubar. Tehnikaülikool EUROCHIP liikmeks. Õhtuleht, 5. märts, 1993.

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. **Manfred Glesner** - Ordre de la Croix de Terra Mariana

Ekskursioon Spessarti

TEMPUS (1993 – 1995)

Projekt võimaldas saata ligi **60 tudengit**, **teaduri ja õppejõudu** TTÜ-st Saksamaale ja Prantsusmaale. Pildil ATI tudengid Priidu Paomets (vasakul) ja Jaan Raik

projektid EEMCN, FUTEC ja ATSEC.

Tänu kõigile neljale projektile paranesid kardinaalselt meie võimalused hakata rahvusvahelistel konverentsidel käima ja seega üha uusi ja uusi kontakte looma, mille tulemusena nimetatud projektide jätkuks saabus periood, kus igal hetkel oli instituudis teoksil mingi europrojekt kõigi järgnevate aastate jooksul alates 1993. a.

Projekti tulemusena viisime lõpule diagnostikatarkvara Turbo Testri prototüübi projekteerimise ning töötasime välja selle baasil ühe uudse kompleksi laboratoorseid töid. Nii seda uut labori keskkonda, kui ka selle kasutamise kogemusi laboritööde juurutamisel õppeprotsessi Tehnikaülikoolis publitseerisime rea artiklite näol rahvusvahelistel konverentsidel.[46,47,48,49,50]

Järgnevas tabelis on toodud projekti raames toimunud lähetuste nimekiri Prantsusmaale ja Saksamaale (G – Grenoble, TIMA Lab; D – Darmstadti Tehnikaülikool):

Tudengid		Tudengid		Tudengid		Õppejõud, teadurid	
K. Tammemäe	D/5 kuud	M. Brik	G/3 kuud	I. Fetšenko	G/3 kuud	A. Udal	D/1,5 kuud
J. Udre	D/4 kuud	P. Mjakošin	G/3 kuud	Õppejõud, teadurid		T. Evartson	D/1,5 kuud
S. Storožev	G/6 kuud	M. Mandre	D/3 kuud	T. Plaks	G/2kuud	M. Kruusmaa	D/3 kuud
M. Soverinjuk	G/2 kuud	K. Teearu	D/3 kuud	R. Ubar	D/3,5 kuud	A. Ots	D/4 kuud
J. Krupnova	G/5 kuud	H. Tellas	D/3 kuud	R. Ubar	G/4,5 kuud	J. Raik	D/3 kuud
V. Zaugarov	D/3 kuud	E. Lukitšov	D/3 kuud	A. Keevallik	D/4 kuud	J. Raik	G/4 kuud
M. Sokolov	D/3 kuud	J. Murumets	D/3 kuud	A. Keevallik	G/0,5 kuud	P. Paomets	D/3 kuud
H. Klausen	D/3 kuud	G. Jervan	G/3 kuud	J. Põldre	G/1,5 kuud	P. Paomets	G/4 kuud
A. Kaasik	D/3 kuud	A. Markus	G/3 kuud	K. Vainomaa	D/0,5 kuud	E. Rebane	D/0,5 kuud
M. Pais	G/3 kuud	E. Ivask	G/3 kuud	K. Vainomaa	G/2 kuud	V. Kukk	G/ 1 kuu
J. Dušina	G/3 kuud	M. Koort	G/3 kuud	A. Sudnitsõn	G/1 kuu	L. Kaširova	G/ 1 kuu

Külalisloengutega meie tudengitele, õppejõududele ja teaduridele tulid meile külla mitmetel kordadel prof. **Manfred Glesner** ja tema doktorandid **Thomas Hollstein** ning **Michael Gasteier** Darmstadtist ja Professorid **Bernard Courtois**, **Paul Amblard**, **Alain Guiot** Grenoble'ist. Rikkalikult täiendasime nendel aastatel oma raamatukogu ja ka fonoteeki originaalloengutega maailma tippteadlastelt ja professoritelt: **David Patterson**, **James Armstrong**, **C. Gordon Bell**, **A. Richard Newton** jt.

46 R. Ubar, V. Tulit, A. Buldas, M. Saarepera. Laboratory Course for Training „Digital Design and Test". Proc. of IV EUROCHIP Workshop on VLSI Design Training, Toledo, Sept.30-Oct.2, pp. 112-117, 1993.

47 R. Ubar, V. Tulit, A. Buldas, M. Saarepera. TURBO TESTER. A Set of Software Tools for CAD of Test for Digital Circuits. Proc. of IV EUROCHIP Workshop on VLSI Design Training, Toledo, Sept.30-Oct.2, 1993.

48 R. Ubar, A. Buldas, P. Paomets, J. Raik, V. Tulit. A PC-based CAD System for Training Digital Test. Proc. of V EUROCHIP Workshop on VLSI Design Training, Dresden, October 17-19, 1994.

49 J. Raik, P. Paomets, E. Ivask, R. Ubar. A CAD System for Teaching Digital Test. Proc. 4th Biennial Baltic Electronics Conference, Tallinn, October 9-14, 1994.

50 M. Glesner, T. Hollstein, B. Courtois, P. Amblard, R. Ubar, K. Vainomaa. New Curricula and a Competence Centre through TEMPUS at the Technical University of Tallinn. Proc. EC Workshop on Design Methodologies for Microelectronics, Smolenice, 1995, pp. 347-353.

Oma uue laboratooriumi väljaarendamisest andsime aru finantseerijatele Brüsselist selliselt:

Thanks to the TEMPUS project and other projects in frame of the EC programs COPERNICUS, PECO, ESPRIT it was possible to equip the laboratories of the Electronic Competence Center with a good computer platform to support teaching with professional design software. We have achieved much more compared to that of what we expected in planning the project. Instead of the initially foreseen computer class based on 4-5 IBM PC-s and 1-2 SUN workstations, we have now established a universal computer classroom based on powerful SUN 20/712 server, 9 PC-workstations with 17" monitors, and a SUN IPX workstation, which has through the original strategy of exploitation two basically different functionalities:

a) PC classroom with 9 working places for teaching professional software developed for PC-s under MS/ DOS operating system (XILINX software for PLD design);

b) workstation classroom with 10 working places for teaching professional software developed under UNIX operating system (SYNOPSYS and CADENCE for ASIC design).

These two functionalities were achieved through upgrading PCs and monitors of PCs to the ones typically used for workstations and through installing beside the PC operating systems (MS DOS, WINDOWS) the LINUX OS which replaces efficiently the workstations' UNIX OS. The laboratory was developed by the people of our university.

The new ee another SUN Sparcserver 20/502, the workstation classroom of 45 working places has been upgraded for basic CAD courses.

Uued SUN tööjaamad tulid laborisse. Meie sysop Marek, Jaan ja Artur.

Sellele edukalt ja väga kasulikult realiseerunud projektile TEMPUS JEP 4772 lisandusid veel ka mitmed individuaalprojektid selle sama TEMPUS programmi raames, mida võisid taotleda kõik õppejõud nii enesetäiendamiseks mingis Lääne-Euroopa ülikoolis kui ka seejuures omaenda õppekursuste edasiarendamiseks. Sellist võimalust kasutas kaks korda **Teet Evartson** töötamiseks prof. **Glesneri** juures Darmstadti Tehnikaülikoolis.

Raimund Ubar viibis samuti 1996. aastal 3-kuulise mobiilsusprojekti raames Itaalias, töötades nii Torino Polütehnilises Instituudis (**Paolo Prinetto** ja **Matteo Sonza** juures) kui ka Pisa Ülikoolis (**Luca Simoncini** ja **Piero Maestrini** juures). Visiit Torinosse oli edukas, sealt sai alguse tänaseni kestev koostöö, mis on viinud meie partnerlusele terves reas europrojektides. Ka juba järgmiseks aastaks jõudsime Prinetto grupiga kahe publikatsioonini tippkonverentsidel[51,52], mis põhinesid meil Tallinnas väljatöötatud meetodite rakendamisele süsteemide veakindluse hindamisel. Mõni aeg hiljem Prinetto grupp jaotus kaheks. Tema endine õpilane, noor ja vitaalne **Matteo Sonza** pürgis iseseisvusele ja lõi omaenda meeskonna. Teataval perioodil olid Prinetto ja Sonza vahelised lahkhelid seetõttu suured ja nii oli ka meil itaallastega pisut raske suhelda, sest head kolleegid ja

[51] A. Benso, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza, R. Ubar. A New Approach to Build a Low-Level Malicious Fault List Starting from High-Level Description and Alternative Graphs. Proc. IEEE European Design & Test Conference, Paris, March 17-20, 1997, pp.560-565.

[52] A. Benso, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda, J. Raik, R. Ubar. Exploiting High-Level Descriptions for Circuits Fault Tolerance Assessments. 1997 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems. Paris, October 20-22, 1997, pp. 212-216.

partnerid olid nad meile mõlemad. Nüüdseks on kõik kunagised pingelised suhted juba ammu taas normaalseks muutunud.

Koos **Luca Simonciniga** olime lähedalt seotud üle-euroopalise konverentsi ECCD[53] asutamisega 1994. aastal, mille juht- ja programmikomiteedesse mind kutsuti. ECCD sai alguse kahe konverentsi FTSD[54] ja FTCS[55] ühinemisest. Kui Praha Tehnikaülikooli professori **Jan Hlavicka** initsiatiivil asutatud FTSD, mis toimis aastatel 1978-90, ühendas Ida-Euroopa riike, siis Lääne-Saksamaal aastatel 1982-91 regulaarselt toimunud GMD[56] poolt asutatud FTSD ühendas Lääne-Euroopa riike. Pärast raudse eesriide langemist peeti otstarbekaks need kaks samatüübilist konverentsi ühendada. Esimene ECCD konverents toimus sümboolselt 1994. a. Berliinis. Osalesin selle konverentsi korralduskomitees aktiivselt aastani 2009, mil tegin ettepaneku enda asemele võtta seal oma hea kolleegi ja endise andeka õpilase **Jaan Raiki**, et säilitada seal Eesti positsioon.

Kompetentsuskeskus ja PLD labor

TEMPUS projekti üheks põhitulemuseks oli elektroonika kompetentsuskeskuse loomine TTÜ automaatikateaduskonna koosseisus. Keskuse missiooniks oli rajada kaasaegne infotehnoloogia projekteerimise keskkond rahuldamaks terve teaduskonna vajadusi. Tänu ideaalsele meeskonnale arenes keskkond kiiresti ja muutus asendamatuks infotehnoloogia õpetamisel TTÜ-s. Keskuse arendamisele kaasati teisigi europrogrammide raames toimuvaid teadusprojekte (EEMCN, FUTEG, ATSEC). Edukas keskkonna arendustöö imponeeris ka välisfirmasid meid eraldi aparatuuriga toetama.

Keskuse töö tulemuslikkust (ja vajalikkust Eesti tööstusele) demonstreeris sealses keskkonnas **Jüri Põldre** poolt projekteeritud teadaolevalt esimene ülisuur integraalskeem Eestis – ligi miljonist transistorist koosnev pöidlasuurune krüptoprotsessor. Keskuse üheks äärmiselt oluliseks tööpõhimõtteks oli õppe-, teadus- ja arendustöö keskkondade ühitamine, mis ühelt poolt aitas optimeerida ressursikasutust, teiselt poolt aga tõstis nii õppekui teadustöö efektiivsust. Tagamaks kiiresti amortiseeruva keskkonna täiskoormatust võimaldasime selle pidevat kasutamist rohkem kui 2500 üliõpilasele üle terve ülikooli.

Teaduskonna jagunemine kaheks 1996. a. viis aga kahjuks keskuse sisulisele likvideerimisele. Ühtne elektroonika ja infotehnoloogia teadusvaldkond, mis oli koondunud automaatikateaduskonda, jagunes nüüd TTÜs kaheks: analoogelektroonikat hakati õpetama ühes ja digitaalelektroonikat teises teaduskonnas. Elektroonika kompetentsuskeskus asetati sellega absurdsesse olukorda – ta pidi valima ühe kahest teaduskonnast, kuhu ametlikult kuuluda, mis polnud aga võimalik, sest sisuliselt kuulus ta mõlemasse. Loomulikuks lahenduseks oleks olnud keskuse viimine ülikooli alluvusse, n.ö. kahe uue teaduskonna „vahele“, nii nagu see tegelikult keskuse asutamisel oli ka olnud. Aga rektoraadi nägemus ülikooli struktuurist ei võimaldanud sellise lahenduseni jõudmist.

Uude süsteemitehnikateaduskonda määratud keskus reorganiseeriti järgmiselt: enamus arvutitest ühendati ülikooli arvutuskeskusega (kaasa arvatud suur osa Tempuse abil hangitud serverressursist), väiksem osa jäi infotehnikateaduskonda määratud *arvutitehnika* instituuti, mille baasil moodustati õppe-uurimistöö otstarbeline PLD[57]-laboratoorium.

[53] ECCD – *European Dependable Computing Conference.*
[54] FTSD – *Fault-Tolerant Systems and Diagnosis.*
[55] FTCS – *Fault-Tolerant Computing Systems.*
[56] GMD – *Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH (Bonn, Germany).*
[57] PLD – *Programmable Logic Devices (Programmeeritavad loogikaseadmed).*

Mobiilsusprogrammi romantilisest poolest

TEMPUS projekti mobiilsusprogramm võimaldas meil kolme aasta jooksul saata umbes 60 korral tudengeid ja õppejõude-kolleege kuni kolmeks kuuks Saksamaale ja Prantsusmaale stažeerima. Sellest perioodist jäi järele hulk toredaid mälestusi ja sündmusi.

Väga armastatud ja eksootiliseks stažeerimiskohaks oli Grenoble. Vaba aja veetmisel said linnast paarikümne kilomeetri kaugusel asuvad Alpide mäeahelikud meie meeliskohaks ühiste matkade korraldamisel. Juhtus mitmeid põnevaid ja isegi ohtlikke olukordi. Kord tuli mu kahel tudengil, **Jaan Raikil** ja **Igor Fedtshenkol**, veeta lõdisedes külm öö mäekurul lakkamatus äikeses ja paduvihmas, kus neil isegi eluga pääsemise lootus mõnel hetkel kaduma hakkas... Üks aktipilt kolmest selja tagant pildistatud mehekujust Lac Robert'i mägijärve kaldal sattus hiljem Internetti. Üks nendest kolmest sellel pildil oli ülikooli professor, nende ridade autor ... **Härmo Tellas** oli see, kes kolme kilomeetri kõrgusel sandaalides ja sortsides ühte prantsuse täisvarustuses alpinistide seltskonda šokeeris siirast naiivsust teeselnud küsimusega: „Ega te ei tea juhatada, kus siin lähim McDonalds võib olla?"

Bernard Courtois labor oli alati rahvusvahelise seltskonnaga mehitatud. Suve algul korraldati igal aastal kolleegi **Hubert Delori** juures aiapidu, kus kulminatsiooniks oli rahvusvaheline köök. Eri maade esindajad püüdsid mingi rahvusliku hõrgutisega külalistele üllatust valmistada. Kolme eestlase hulgas polnud tookord kedagi, kes oleks köögikunstiga võinud hiilata. Aga me avasime selle eest „Valge Hobuse" baari, kus serveeriti kolme sorti haljast: kohalikust poest ostetud *Smirnoffi* ja üht valgevene viina ning originaalset Eestist kaasa toodud *Viru Valget*. Poole tunni pärast oli esimest pudelit vaid pisut puudutatud, teine jook oli poole peal, aga kolmas – Viru Valge – juba lõppenud.

Ühel suvisel aiapeol võtsin taskust suupilli ja andsin minikontserdi, mis kõigile üllatuse valmistas. Suupill on mul ikka reisidel kaasas olnud. Muul ajal ma teda enam ei mängi, vaid vahel harva mõne loo mingil koosviibimisel kusagil võõral maal. EEMCN-i projekti koosolekut ühes Saksamaa väikelinnas Holzhaus meenutatakse siiani, kus me pärast banketti ühe väikese seltskonnaga peaaegu terve öö laulsime nii eesti kui saksa tudengilaule kas suupilli saatel või ilma.

Grenoble'i külje all Belledonne'i nõlvadel matkates püüdsin mägedes oma õpilastega kõigest jõust sammu pidada. Ega see kerge ei olnud. Vahe kippus tõusudel ikka pikaks minema. Õnneks jäid poisid aeg-ajalt puhkama, mis võimaldas mul sisseveninud vahe jälle tasa teha. Aga alati siis, kui ma just olin lõpuks lõõtsutades poistele järele jõudnud ja koos nendega hinge tõmmata lootsin, ütles keegi: „Noh, hakkame siis nüüd jälle astuma…„ Mida ma oma üllatuseks aga märkasin, oli see, et õhtu saabudes suutsin üha paremini hakata teistega sammu pidama. Ja maha hakkas jääma hoopis mõni noorematest kaaslastest. Vastupidavus ja bravuur kuuluvad eri vanuserühmadele.

Kui oled väga väsinud, mõjub dopinguna juba see, kui loobud isegi pisikesest asjakest oma seljakotis. Kord Saksamaal Reini äärsetel küngastel matkates ostsin teeäärsest majast reinveinipudeli ja pistsin seljakotti. Kui õhtuks olime juba küllalt orge ja mägesid ülesalla trampinud ja ma üsna ära lõppenud olin, pakkus Kaido abi: „Kuule, anna õige oma seljakott!" Aga uhkus ei lubanud. Siis tuli mulle hea mõte. Avasin koti ja tirisin välja tülika reinveini ning ütlesin justkui muuseas: „Võta parem see pudel, hõõrub teine pisut selga ...„ Kui kergeks muutus nüüd aga seljakott!

Eesti tudengid rahvusvahelises seltskonnas Grenoble'is TIMA labori piknikul

Projektidel TEMPUS Euroopa liinil ja ESTPID Skandinaavia suunas oli väga oluline panus arvutitehnika instituudi arengule. Kõige vaevalisem aeg, kus vana ühiskonnakord lagunes ja ülikooli oli raske elus hoida, hakkas tasapisi mööduma. Nüüd 1992. a. sügissemestrit alustades olid meil instituudis ka esimesed rahvusvahelised projektid olemas ja koos sellega uks lahti Euroopasse. Veel kaks europrojekti EEMCN ja FUTEG olid järgmisest aastast käivitumas. Olime ainus instituut ülikoolis, kes sellist edu oli saavutanud.

Esimesed Euroopa teadusprojektid

Projekt EEMCN (1993-1995)

Projekti täisnimetuseks oli PECO JEP 7668 *„East European Microelectronics Cooperation Network of Support and Competence Centres (EEMCN)".*[58] Projekti koordinaatoriks oli prof. **Günter Elst**, kes oli direktoriks instituudis *Fraunhofer Gesellschaft Institute of ICs* (Dresden, Saksamaa). Projekt ühendas 12 partnerit, kellest Lääne-Euroopasse kuulusid prof. **Bernard Courtois** poolt juhitud Grenoble'i Rahvuslik Polütehniline Instituut Prantsusmaal ja koordineeriv instituut eesotsas Günter Elstiga. Sotsialismileeri esindasid **Dimiter Jossifov** (*Microelectronics IME Ltd*. Sofia, Bulgaaria), **Norbert Fristacky** (Slovak Technical University, Bratislava, Slovaki Vabariik), **Elena Gramatova** (*Institute of Computer Sciences*, Bratislava, Slovaki Vabariik), **Michail Servit** (Czech Technical University, Praha, Tšehhi Vabariik), **Andras Pataricza** (*Technical University of Budapest* (Budapest, Ungari), **Andzei Kobus** (*Institute of Electron Technology,* Varssavi, Poola), **Wieslaw Kuzmicz** (*Warsaw University of Tewchnology*, Varssavi, Poola). Balti riike esindasid **Guntis Fricnovich** (Riia Elektroonika- ja Arvutustehnika Instituut, Riia, Läti), **Rimantas Šeinauskas** (Kaunase Tehnoloogiaülikool, Kaunas, Leedu) ja **Raimund Ubar** (TTÜ). Projekti eesmärgiks oli spetsialiseeritud mikroelektroonika kompetentsuskeskuste võrgu väljaarendamine ja infrastruktuuri ettevalmistamine ühisprojektide läbiviimiseks.

[58] EEMCN – Ida-Euroopa spetsialiseeritud mikroelektroonika kompetentsuskeskuste koostöövõrk.

Põhitulemustena võiks märkida elektroonika kompetentsuskeskuse loomist TTÜ-s ja rea rahvusvaheliste konverentside korraldamine Tallinnas, Bratislavas, Budapestis, Viinis ja Dresdenis aastatel 1994-1996. Olulisematele tulemustele selle võrgu koostööst on viidatud ka mitmetes artiklites.[59,60,61,62]

Projektis läbiviidud uurimistöö tulemusi on kasutatud partnerite ühistes uuringutes ja võetud aluseks uue ühisprojekti 1997. a. ettepaneku väljatöötamisel (EL-i programmi INCO-COPERNICUS raames). Selleks sai ette rutates projekt SYTIC (1996-98), mis pälvis ka Euroopa rahastuse.

Projekti EEMCN partnerid. Vasakult Fristacky, Servit, Kobus, Ubar, Gramatova.

Projektide ESTPID ja EEMCN raames sai alustatud ka inglise keelse ajalehe *Estonian Electronics Letter* (Elektroonika Leht) väljaandmist saatesõnaga **Raimund Ubarilt**. Ajalehe eesmärgiks oli tutvustada elektroonika-alaseid tegemisi Eestis. Esimeses numbris kirjeldasid kaks artiklit projekti ESTPID raames toimuvaid tegevusi (autorid **Bengt Henoch** ja Raimund Ubar). Huvitavamatest artiklitest võiks veel mainida Rootsi Elektroonikatööstuse Assotsiatsiooni presidendi **Hasse Samuelssoni** artiklit „Estonian Scholars in Swedish Electronics Industries," **Toomas Rangi** artiklit projekti ESTPID raames plaanitava elektroonika kompetentsikeskuse struktuurist, **Harry Tani** ülevaadet Eesti elektroonikatööstuse ajaloost ja hetkeseisust, Eesti Inseneride Ühingu presidendi **Andres Keevalliku** artiklit Inseneride Ühingu tegemistest, **Mart Mini** artiklit elektroonikainstituudis teoksil olevast, Raimund Ubari ja Andres Keevalliku artikleid digitaalsüsteemide diagnostika ja disaini alasest uurimistööst jt. Mitmed elektroonikafirmad Eestist olid ajalehte poetanud ka oma reklaame (EKTA, Evikon Ltd., AS Diftechno, aktsiaselts DGT Ltd., KAMITRA Ltd., EMROS Ltd., Ericsson Rootsis jt.) Ajaleht müügil ei olnud, seda levitati tasuta käest kätte ja põhiliselt oligi tema eesmärgiks anda teada eesti elektroonikast välismaal. Peatselt ilmus veel üks ajalehenumber, see oli eestikeelne ja kirjeldas põhiliselt elektroonikaalaste projektide tegevust TTÜ-s, aga see number jäi ka viimaseks. Esilehel oli küll märge: „Ootame kaastööd aadressil Elektroonika kompetentsuskeskus – TTÜ", aga mida ei tulnud seda ei tulnud. Ajad olid kiired ja sõnade tegemise asemel oli tarvis tegusid teha.

Copernicuse projekt FUTEG (1993-1996)

Projekti täisnimetuseks oli COPERNICUS JEP 9624 *„Functional Test Generation and Diagnosis (FUTEG)"*.[63] Projekti koordinaatoriks oli prof. Bernd Straube, kes oli osakon-

59 R. Ubar, K. Vainomaa. Electronics Competence Centre at the Tallinn Technical University. Proc. 4th Biennial Baltic Electronics Conference. Tallinn, October 9-14, 1994.

60 R. Ubar. Electronics Competence Centre as a Result of European Projects at the Technical University of Tallinn. Baltic Electronics, Vol. 1, No. 2, Dec., 1995, pp.9-11.

61 M. Ajaots, M. Min, T. Rang, R. Ubar. Education Environment for Electronics and Microsystems. Microelectronics Education. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996, p.145-148.

62 M. Min, T. Rang, R. Ubar. Electronics as Infrastructure of the Innovation in Estonia. Congress of Estonian Scientists, Tallinn, 1996, p.265.

63 FUTEG – Funktsionaalsete testide genereerimine ja diagnostika.

najuhataja instituudis *Fraunhofer Gesellschaft Institute of ICs* (Dresden, Saksamaa). Projektis osales 6 partnerit, **Bernard Courtois** poolt juhitud Grenoble'i Rahvuslik Polütehniline Instituut Prantsusmaal, **Elena Gramatova** (*Institute of Computer Sciences*, Bratislava, Slovaki Vabariik), **Andras Pataricza** (*Technical University of Budapest* (Budapest, Ungari), **Rimantas Šeinauskas** (Kaunase Tehnoloogia Ülikool, Kaunas, Leedu) ja kaks partnerit Eestist: **Harry Tani** (EKTA, Tallinn) ning **Raimund Ubar** (TTÜ).

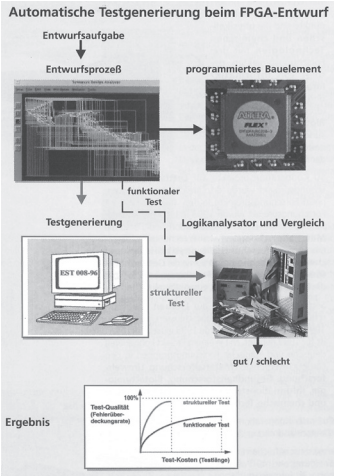
Projekti eesmärgiks on läbi viia ühisuuringuid digitaalsüsteemide diagnostika uute meetodite ja tarkvara väljatöötamiseks. TTÜ ülesanne oli luua algoritmid ja programmid diagnostikamudelite sünteesi ja kõrgtaseme funktsionaalsete testide genereerimiseks.

Projekti tulemusena loodigi algoritme ja tarkvara digitaalsüsteemide diagnostikamudelite sünteesiks kõrgtaseme spetsifikatsioonidest, lähtudes rahvusvaheliseks standardiks kujunenud VHDL-i projekteerimiskeelest. Lähtumine standardkeelest VHDL andis võimaluse integreerida TTÜ-s saadud tulemusi diagnostika valdkonnast üldlevinud disaini süsteemidega (näiteks SYNT, SYNOPSYS jt.), millega oli loodud baas vastavasisulisteks uuringuteks tulevikus.

Selles projektis osalemine tähendas akadeemilise vabaduse 100%-list kasutamist. Seadsime kõik projekti eesmärgid üksnes omaenda huvidest lähtuvalt. See võttis pealt stressi, vastutustunne oli minimaalne ja motivatsiooniks oli reputatsiooni tugevdamine sama valdkonna Euroopa uurijate seas.

Projekt süvendas kontakte Fraunhoferi Instituudiga Dresdenis (**Günter Elst**, **Bernd Straube**, **Karl-Heinz Diener**). Koostöö osutus kummalegi poolele väga kasulikuks. Kohe pärast projekti FUTEG lõppemist tegime ühise taotluse Saksamaa Teadusfondile BMBF[64] saamaks toetust bilateraalsele projektile, mille me ka saavutasime. Projektis *„WTZ mit Estland"* [65] (EST 008-96) saadud tulemusi sai Fraunhoferi Instituut edukalt kasutada ka oma teistes projektides ja lepingulistes rakendusuuringutes tööstusega.

Töötasime välja uudse FPGA-süsteemide loomiseks kasutatava disainivoo kontseptsiooni, kus disainisammud vaheldusid testprotseduuridega ja kus traditsiooniliselt kasutatav funktsionaalne test asendati spetsialiseeritud struktuurse testiga.[66,67] Uus meetod võimaldas mitme suurusjärgu võrra vähendada testi pikkust, tõstes samal ajal testi kvaliteeti rikete suurema avastamisprotsendi näol.



Das Institut für Integrierte Schaltungen der FhG-Dresden und die TU Tallinn arbeiten auf dem Gebiet der Informationstechnologien in einem Projekt zur automatischen **FPGA-Testgenerierung**. Es handelt sich hierbei um anwenderprogammierbare mikroelektronische Bausteine (FPGA) und deren Test mit dem Ziel, zu schnellen und kostenreduzierenden elektronischen Systemen beizutragen.

TTÜ ja Fraunhoferi Instituudi koostöö tulemused toodi välja BMBF 1998. aastaraamatus kui üks väljapaistvamaid BMBF projekte vaadeldaval aastal. Bilateraalne koostöö meie ja Fraunhoferi Instituudi vahel jätkus BMBF toetusel 3-aastaste jätkuprojektide näol veel järgnevad 10 aastat.

Mõlema projekti EEMCN ja FUTEG järelmiteks võib lugeda veel kahte COPERNICUS projekti SYTIC (1996-1998) ja VILAB (1008-2001) ning Raamprogrammi FP5 projekti REASON (2000-2003).

---

64 BMBF – *Internationales Büro des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.*

65 WTZ – *Wissenschaftliche Technische Zusammenarbeit.*

66 J. Raik, R. Ubar. Sequential Circuit Test Generation Using Decision Diagram Models. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe. Munich, March 9-12, 1999, pp. 736-740.

67 K.-H. Diener, G. Elst, E. Ivask, G. Jervan, Z. Peng, J. Raik, R. Ubar. Digital Design Flow with Test Activities. VILAB User Forum, Smolenice, April 8, 2000.

Oli ka tagasilööke

Mitte kõik meie europrojektide taotlused ei läinud muidugi kümnesse. Koos projektide FUTEG ja EEMCN taotlemisega kuulusime veel kahte konsortsiumi, kes raha taotlesid. Eriti tugev ja mahukas projekt tundus olevat see, mille pani kokku Euroopa üks juhtivamaid tippteadlasi diagnostika vallas **Hans-Joachim Wunderlich** Siegeni Ülikoolist. Projekti nimetus oli COST/PECO Proposal Re 08649 *„Synthesis of Dependable and Testable Microelectronic Systems"*. Konsortsiumisse kuulus 13 organisatsiooni, kus partneritena olid välja selekteeritud ristsoovituste alusel selle valdkonna juhtivad teadlased 12 riigist – Saksamaalt, Prantsusmaalt, Itaaliast, Hispaaniast, Portugalist, Ungarist, Poolast, Tšehhoslovakkiast, Bulgaariast, Lätist, Leedust ja Eestist. Taotluse summa suurus oli pisut üle 2 miljoni eküü. Iseloomulik oli koordinaatori kiri, mille ta peale taotluse tagasilükkamist partneritele laiali saatis:

> *Dear Colleagues, Unfortunately we were not successful with our proposal. /… / According to telephon conversation I had with Brussel, there were no funds for our Project in 1993. There were more than 12000 proposals (!), and our Project required more than 20% of the overall available fundings.*

Kuna kokku olid valitud „parimatest parimad" ja geograafiline kate oli muljetäratav, siis olime peaaegu kindlad, et saame rahastuse. Aga võib-olla olimegi liiga ahned?

Raamprogrammi tulek kateedrisse – ATSEC-i lugu

Meeskonda pääsemine

Esimene Euroopa Liidu Raamprogrammi projekt, mis tuli Eestisse, oli FP3 ESPRIT III BRA-6575 projekt ATSEC – *„Advanced Test Generation and Testable Design Methodology for Sequential Circuits"* [68] (1992-1995).

Theo Vierhaus

Eesti ei kuulunud veel Euroopa Liitu ja tal ei olnud õigust osaleda Raamprogrammi projektides. Küll oli aga võimalik nendest projektidest osa võtta alltöövõtulepingu põhiselt juhul, kui projekti konsortsium alltöövõtja oma kampa võtab ja talle töö teostamiseks eelarve avab. Tavaliselt seda ei tehta, küll aga mõnikord neil juhtudel, kui projekti partneritel endil mingi projekti käigus tekkinud uue probleemi lahendamiseks kompetents puudub ja nad otsustavad täiendava partneri oma konsortsiumisse võtta.

Niisugune võimalus meil avanes, kui Darmstadtis töötades tutvusin prof. **Theo Vierhausiga**, kellele TTÜ-s tehtavast uurimistööst ja senistest tulemustest rääkisin. Sain kutse sõita tema juhitava europrojekti ATSEC töökoosolekule, kus tegin ettekande meie tööst ja pakkumisest ühte projekti alamülesannet efektiivsemalt lahendada. ATSEC-i konsortsiumile imponeeris see ettepanek ja eriti meie uudne kõrgtasemeline alternatiivsete graafide mudel ning TTÜ võeti projekti ATSEC partneriks.

Meie uueks ülesandeks sai nüüd aga see, mida me parajasti just tegimegi, ehk teiste sõnadega, saime täiendava rahastuse. Meilt oodati, et töötame välja hierarhilise testide

[68] Testide genereerimise ja testitavuse parandamise metodoloogia järjestikskeemidele.

genereerimise meetodi digitaalsüsteemide jaoks. Need meetodid, mida projektis ATSEC parajasti uuriti, olid mõeldud kasutamiseks madalal loogikaskeemide tasandil, mis aga objektide keerukuse kasvades saavutasid kiiresti lae ega polnud enam kasutatavad. Meie formuleerisime selle ülesande aga kõrgemal registrite tasandil ja olime niiviisi võimelised ka väga keeruliste süsteemidega hakkama saama.

Projekti koordinaator oli **Theo Vierhaus** (GMD, St. Augustin, Saksamaa), konsortsiumi teisted liikmed olid **Walter Geisselhardt** (*Technische Universität Duisburg*, Saksamaa), **Paolo Prinetto** (*Politechnico di Torino*, Itaalia), **Christian Landrault** (*University of Montpellier*, Prantsusmaa) ja **Hans Kerkhoff** (*University of Twente*, Holland). Koos meiega võeti veel üks Ida-Euroopa partner juurde – **Elena Gramatova** (*Institute of Computer Sciences*, Bratislava, Slovaki Vabariik).

Meie jaoks oli äärmiselt oluline sündmus sellesse projekti „sisse tungida", sest partnerid olid Euroopa tipptegijad ehk eliit, mis tähendas, et meile oli kättesaadav nüüd kogu info, mida eliit valdas. Kuulusime nüüd ka ise eliidi hulka. Õige pea hakkasime projekti koosolekutel ja seminaridel suhtlema veel ühe teise sama tüüpi projekti ARCHIMEDES konsortsiumiga ja nendega koos töötama ning olime peagi „sina-sõbrad" veel ühe teise grupi tipptegijatega. Tuleb mainida, et mõlemad konsortsiumid, ATSEC ja ARCHIMEDES katsid peaaegu kogu selle valdkonna tugevaimad uurimisgrupid Euroopas.

Projekti ARCHIMEDES[69] konsortsiumisse kuulusid **Bernard Courtois**, **Michael Nicolaidis** ja Salvador Mir (TIMA, Grenoble), **Sybille Hellebrand** ja **Hans-Joachim Wunderlich** (University of Siegen, Saksamaa), **Joao Paolo Teixeira** (INESC, Lissabon, Portugal), **Michel Renovell** (LIRMM Montpellier), **Michele Favalli** (DEIS, Bologna), **Michael Ohletz** (*University of Hannover*, Saksamaa), **Joan Figueras** (UPC, Barcelona, Hispaania) jt.

Konkreetne projektiülesanne, mida täitma asusime, seisnes järgnevas: (1) uurida võimalusi hierarhilise testide generaatori loomiseks digitaalsüsteemidele, toetudes meie poolt välja arendatud alternatiivsete graafide kontseptsioonile ja (2) ehitada katseline testigeneraator ja viia läbi eksperimentaalsed uuringud.

Meil oli nüüd projekt, olid rahad ja töö oli peaaegu valmiski, sest **Sergei Storožev**, **Helena Krupnova**, **Julia Dušina** ning **Marina Brik** olid juba edusamme saavutanud ja tundus, et meie kõrgtaseme testide generaator terendas juba silmapiiril. Uurimisgrupi innustamiseks ja uute teadmiste saamiseks sai neid kõiki lähetatud ka Prantsusmaale täiendõppeks projekti Tempus raames.

Ja siis järgnes pauk.

Ajude äravoolu traagika

Olin just oma doktorantidest koosneva uurimisrühma Grenoble'ist 3-kuuliselt praktikalt tagasi toonud ja pidasime uue projekti raames esimesi töökoosolekuid. Siis äkki teatas **Sergei Storožev**, et sõidab järgmisel nädalal Eestist ära Prantsusmaale tööle. Ühel järgmisel koosolekul ütles **Julia Dušina**, et professor **Gabrielle Saucier** on Grenoble'is ta oma laborisse tööle võtnud. Nägin ees katastroofi. Oma uurimisrühma kahe juhtfiguuri kaotamine seadis ohtu kõik ülesseatud plaanid. Nüüd pöördusin vaikselt istuva **Helena Krupnova** poole ja küsisin: „Ega Sina ometigi kuhugi ei sõida?"

Helena langetas silmad ja ütles: „Sõidan vist küll, see selgub paari kuu pärast ..."

[69] ARCHIMEDES – *Architectural Methodologies for Advanced Testing of VLSI Systems.*

Olin paotanud oma uurimisrühmale ukse Euroopasse ja eks nad nüüd selle ukse siis pärani ka lükkasid. Kas oli 90. aastate alguse Eestis üldse mingeid stiimuleid või motivatsiooni noorte inimeste jaoks, et pühenduda teadusele? Sergei näiteks ütles mulle otse, et isegi siis, kui ta minu juhendamisel doktoriks saaks, poleks tal mingeid šansse hiljem Eestis insenerina korralikku tööd leida. Siin Eestis pole lihtsalt kellelegi vaja – ei insenere ega teadlasi.

Niisiis olin jäänud täiesti üksi, ilma uurimisrühmata.

Üheks võimaluseks oli teatada Theo Vierhausile, et ma pole võimeline nende projektis kaasa lööma. See oleks muidugi olnud blamaaž ja oleksin oma reputatsiooni täielikult rikkunud. Niisugune info levib Läänes kiiresti ja nagu õige pea veendusingi, oli kogu suur Lääs tegelikult üks väike *community.* Ehk nagu öeldakse – maailm on väike. Seepärast ma esialgu viivitasin äraütlemisega.

Informeerisin kateedri koosolekul kolleege tekkinud olukorrast. Mingit huvi kaasalöömiseks, et appi tõtata, keegi ei avaldanud. Tegin paar konkreetset etttepanekut, aga ülesande raskuse ja riski tajumise tõttu jooksid need liiva. Kõigil oli juba olemas garanteeritud õppejõu palk. Milleks siis endale veel lisamuresid kaela võtta?

Käisin rektor **Olav Aarnaga** nõu pidamas, sest projekt oli suure kõlapinnaga ja ülikooli prestiiž oli mängus. See oli ju esimesi kordi, kus üks Ida-poolne riik oli kaasa haaratud Lääne tipp-projekti. Kahtlemata olid pilgud huviga suunatud niisugust Ida-poolset riiki esindava uurimisrühma tegemistele. Väga pingelises majandusolukorras polnud rektoril kahjuks võimalust aidata.

Aga mida ma siis õigupoolest taotlesingi – ühteainust täiendavat palgalist kohta oma keskuses. Kuid kas sellestki tillukesest palgafondi suurendamisest oleks piisanud noorte inimeste motiveerimiseks teadusse tulla?

Uue alguse võlu

Ei tahtnud aga siiski veel alla vanduda. Läksin oma järjekordsele loengule ja ütlesin auditooriumile:

„Teate, sõbrad, täna räägime loengu asemel pisut teadusest."

Veetsin järgmised poolteist tundi kirjeldamaks populaarsel viisil meie projekti olemust ja uue teadmise lävel seismist, esimestena maailmas. See pani poistel kõrvad kikki tõusma. Teadsin samas küll, et ega ma ju kedagi sellest rühmast teaduslikku uurimistööd tegema panna ei saa – nad on ju veel liiga „rohelised". Aga enamus neist probleemidest oli meil juba uuritud ja ideed olid hüpoteesidena olemas. Teadsin ka seda, et osa nendest poistest oskas hästi programmeerida. Eks mul oligi kõigepealt vaja kedagi, kes selle uue ideega seotud algoritmid programmeeriks ja vajalikud eksperimendid teeks tõestamaks hüpoteeside õigsust.

Jutustasin õpperühmale veel ka prestiižist, mis oli europrojektiga seotud. Loengu lõpul ütlesin, et asutan diagnostikaringi. Teatasin ka ringi esimese koosoleku aja. Lisasin, et koosolekul räägin juba täpsemalt eesseisvatest ülesannetest ja et siis hakkame koos mõtlema, kuidas nende ülesannetega hakkama saada.

See oli nüüd juba teine diagnostikaring, mille ülikoolis käivitasin. Esimene hakkas tööle 6–7 aastat tagasi ja seejärel arenes aegamisi täisväärtuslikuks uurimisrühmaks, kus saadi töö eest ka väikest tasu. Samasugused plaanid olid mul selle uue ringiga nüüdki.

Esimesele koosolekule tuli kohale tervest õpperühmast peaaegu pool. See oli vast üllatus ja täitis südame rõõmu ning lootusega. Hiljem jäid järgi küll vaid mõned üksikud, nagu **Jaan Raik**, **Priidu Paomets**, **Andres Kaasik**, aga töö läks käima. Ringi lisandusid

veel eelmisest rühmast ainsana alles jäänud **Marina Brik**, uued liikmed **Eero Ivask** ja **Gert Jervan**, veelgi hiljem **Artur Jutman** ja mitmed teised. Tänaseks on **Jaan**, Marina, Artur, Gert ja Eero juba doktorid.

Projekti ülesande me täitsime. Me ei suutnud tol korral küll veel täiuslikku testigeneraatorit valmis ehitada, aga tegime minimaalsed vajalikud automatiseerimised, et katseid korraldada ja hüpoteese kontrollida. Tulemused vastasid ootustele ja me tugevdasime oma positsiooni Euroopas. Nüüdsest peeti meid paljudes ringkondades silmas kui häid potentsiaalseid partnereid uute europrojektide taotlemisel.

Eks säilisid edaspidigi ohud kaotada Lääne avarustele andekaid noori Eestist. Näiteks pakkusin kord **Gert Jervanile** võimalust sõita kolmeks kuuks Rootsi, mille tulemuseks oli see, et talle tehti ettepanek jäädagi sinna doktorantuuri. Kaotasime tol hetkel ühe oma rühma võtmefiguuri. Lõppkokkuvõttes oli aga sellest hoopis kasu, sest sisuliselt sai Gerdist *meie mees Havannas* ehk siis meie „resident" Rootsis, mis võimaldas hiljem rootslastega arendada tulemuslikku ühist uurimistööd. Praegu on Gert juba ammu tagasi koos Rootsis saadud doktorikraadiga ja täna on juba võtmeisikuks kogu ülikoolis – töötades meie teaduskonnas dekaanina.

Jaani sünnipäev. Margus õnnitleb Jaani.

Sellest instituudi „loodusõnnetusest" rääkimine ei tähendanud seda, et ajude äravool Eestist on halb ja seda peaks takistama. Probleem seisnes selles, et ka Eestis ju tuli elus hoida teadustegevust, olles ühtaegu osaline globaalses konkurentsis. Võtmetegijate lahkumine teaduskollektiividest peaks ikkagi toimuma roteerudes, nii et keegi ka alles jääb või et keegi tagasi tuleb, aga mitte nii, et katastroofi tulemusena peab seni edukas olnud rühm lakkama olemast. Looduskatastroofe vältida ei saa, aga alati minnakse neil juhtudel appi sinna, kus häda on.

Südantsoojendav oli teada saada, milliste sõnadega vastas kord mu õpilane **Jaan Raik** kutsele minna tööle USA-sse:

„Silicon Valley's võiksin tööd saada programmeerijana iga kell. Aga nii huvitavat tööd, kui me praegu siin laboris teeme, sealt ei leiaks."

Meie esimese Euroopa Raamprogrammi projekti ATSEC tulemusteks olid digitaalsüsteemide kõrg- ja madaltasandi diagnostikamudelid, testigenereerimise meetodid mõlema tasandi jaoks ja ideoloogia, kuidas neid teste integreerida.

TTÜ-s loodud meetodite uudsus seisnes universaalse diagnostikamudeli loomises, mis võimaldas püstitada ja lahendada mitmeid diagnostikaprobleeme, mida seni nende keerukuse tõttu pole üritatudki lahendada, näiteks rikete maskeerimise probleem.

Koostöö Skandinaavia liinil

Intervjuu soome ajakirjanikule

Ülikooli reformimise ajal olime aeg-ajalt ajakirjanike tähelepanu all, mitte ainult meie omasid siin Eestis silmas pidades, vaid ka üle lahe saabunud vaatlejate näol.

1992. kevadel tutvustasime ühele soome ajakirjanikule infotehnoloogia õpetamise olukorda TTÜ-s, lähtudes kateedri põhiliselt riistvarale orienteerituse spetsiifikast. Intervjuu ilmus soome ICL ajakirjas NET[70] ja selles sai rõhutatud meie teadustöö tihedat seotust õppetöö kõigi astmetega, kus õppetöö praktiline osa oli projektipõhine ja kus tudengid osalesid õppejõudude-teadlaste eksperimentaalses uurimistöös. Sellega oli uute õppevahendite ja materjalide kasutamisvõimaluse näol seotud ka tagasiside teadusest õppetöösse. Tutvustasime oma tarkvarasüsteeme Turbo Tester ja DILOS, koostööd EKTA-ga Eestis ja arvutitehastega Moskvas ning Minskis, mis tõsi küll oli juba minevikuks saanud.

Millest siis räägitud sai: meie aegunud aparatuur ei võimaldanud tudengipraktikat, õpetamine käis endiselt kriidi ja tahvli abil, puudus kopeerimismasin jne. Arvutustehnikas oli tudengitel kadumas huvi ülikooliharidus vastu, viis aastat tundus ajaraiskamisena, samas kui juba programmeerimise algteadmistega oli võimalik omaenda äri püsti panna. Sellistes tingimustes oleks olnud otstarbekas orienteeruda pidevõppele koostöös tööstusega, aga selline mudel meie haridussüsteemis puudus.

Viidatud sai ka süsteemitehnika arendustöö võimalustele, mida Eestis alahinnati ja kus pidasime silmas maailmas üha enam levivate sardsüsteemide projekteerimist FPGA-tehnoloogiate baasil, mis oli ju tegelikult programmeerimispõhine nagu traditsiooniline tarkvaratööstuski. Näiteks olid sellise tee valinud sakslased, kelle rahvuslikus koguproduktis haarasid komponendid kõigest 0,5%, seadmed ise 3%, aga seadmete rakendused tervelt 30%. Viitasime oma perspektiivile liikuda just selles suunas uute käivituvate projektide toel (TEMPUS, EEMCN, FUTEG).

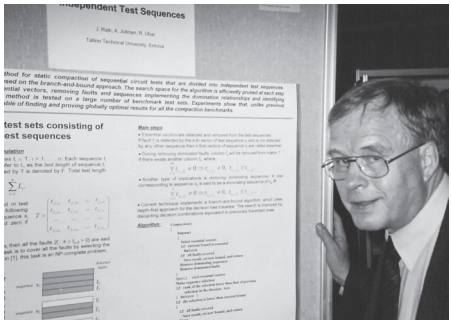
Meie kateedri ühendus Skandinaaviaga oli peaasjalikult toimunud seni Rootsi kaudu. Soomega olid kontaktid olnud vähesed. Tõsi, veel nõukogude ajal oli kolmel TTÜ õppejõul pärast oma kandidaaditööde kaitsmist õnnestunud stažeerida 10 kuud Helsingi Tehnoloogiainstituudis[71] Otaniemis – **Peeter Kitsnik** (1986), **Aleksander Sudnitsõn** (1987) ja **Teet Evartson** (1988). Kõik nad viibisid ühes ja samas kohas, Otaniemis – rakenduselektroonika laboris, mille juhatajaks oli **Iiro Hartimo**. Kõige viljakamaks osutus Teet Evartsoni visiit, kus teda peagi rakendati testi ja diagnostika loengukursuse läbiviimiseks, mida ta hiljemgi veel mitme aasta jooksul luges seal külalislektorina, sõites pidevalt edasi-tagasi Tallinna ja Helsingi vahet, neil päevil, kui loeng oli tunniplaanis.

1991. aastal tegi lühivisiidi Helsinki Rootsi Tehnoloogiainstituuti Peeter Kitsnik, kes kohtudes rektori **Henrik Wolffi** ning prof. **Göran Pulkkisega** tegi ettevalmistusi SITH-i ja TTÜ vahelise koostöölepingu raames õppejõudude ja tudengite vahetuseks. SITH oli tol ajal rakendusinsenere koolitav eraõppeasutus, mis töötas sama seadusandluse alusel kui Soome vastavad riiklikud õppeasutused. Tänaseks on sellest õppeasutusest, ühinedes kahe teise õppeasutusega, saanud *Arcada University of Applied Sciences*. Peetri Soome-suunaline aktiivsus on päädinud sellega, et ta töötabki nüüd juba aastaid Soomes.

Kontakte Otaniemi Tehnikaülikooliga arendasime hiljem edasi prof. **Veikko Porraga**, kes oli huvitatud diagnostika-alasest koostööst õppetöö raames. Nii näiteks viidigi seal kahel korral (1995 ja 1996) **Raimund Ubari** poolt läbi tema Veikko Porra laboris loengute tsükkel, mida assisteerisid laborite läbiviimisel **Jaan Raik** ja **Priidu Paomets**. Selle koostöö raames sai Raimund Ubar kutse NORCHIP-i konverentsile ülevaatelise

[70] Raimund Ubar. Idead ovad pääomamme. NET 4/92, Finland.
[71] SITH – *Swedish Institute of Technology in Helsinki.*

ettekande[72] tegemiseks arvutitehnika instituudi teadustööst. Raimund Ubar valiti selle Skandinaavia maades ringleva konverentsi programmikomiteesse ja tema ülesandeks sai seejärel laiendada konverentsi ampluaad Balti riikidele ning korraldada 1997. a. NORCHIP juba Tallinnas, kus ka ATI poolt esitati ettekanne.[73]



Helsinki Tehnikaülikooli professor Veikko Porra

NORCHIP konverents alustas oma tegevust 1983. aastal. 2014. aastal ühines NORCHIP-iga 1999. a. asutatud Põhjamaade SoC konverents ühiseks sündmuseks. Sellest ajast peale jätkavadki need kaks kogukonda uue nimetusega NORCAS ühise Põhjamaade konverentsina, kus ATI professor **Peeter Ellervee** dirigeerib selle kulgu juhtkomitee liikmena.

Ericssoni kingitud arvutiklass

1996-97. a. kevad-talvel toimus arvutustehnika instituudi suurkolimine Ehitajate tee 5 suure maja II korpusest Raja tänav 15 arvutuskeskusesse – oma labori hõlma alla, mis juba oli sealsamas 5 aastat metsatagust rahu nautinud. Algus oli kolijatele pisut ebameeldiv, olime ju kõik harjunud suures majas ringleva kommunikatsiooni keskmes asuma, aga õige pea saime aru, mida tähendab metsavaikus. „Koli" oli teise kohta tassida muidugi palju, seal hulgas meie aktiva – TEMPUS projekti käigus üles ehitatud PLD labori sisustus, eeskätt 10 PC ja 2 Sparc serveriga.

ESTPID projekt oli küll juba lõppenud, üsna suur hulk eesti elektroonikainsenere Rootsis hea täiendõppe saanud ja palju uusi kontakte loonud, aga sisuline koostöö Rootsi ülikoolidega, väljaspool paberlikku aruandmist, toimis endiselt.

Kahel Rootsi ülikoolil on olnud oma roll ATI teadlaskaadri, õigemini professuuri, väljaõppel. Prof. **Peeter Ellervee** sai väga hinnalise pedagoogilise ja teadustöö kogemuse Stockholmi Kuninglikus Tehnikakõrgkoolis aastatel 1993-2000, kaitstes 2000. aastal seal doktoriväitekirja.[74] Loodud sidemed ja teaduslik renomee on viinud teda paljude konverentside juhtkomiteedesse, nagu juba mainitud 2014. a. Taanis käivitatud NORCAS konverentsi korralduskomiteesse, rootslaste juhitavasse FPGAworld programmikomiteesse ja mujale.

Pikemat aega töötas Stockholmi Kuninglikus Tehnikakõrgkoolis nooremteadurina ka **Kalle Tammemäe** (1995-96) prof. **Hannu Tenhuneni** juures, uurides digitaalsüsteemide riist- ja tarkvara koosdisaini, s.h. VLSI kõrgtaseme sünteesi. Uurimistööd finantseeris Eriscsson Telecom AB. Selle töö raames arendas Kalle koostöös **Axel Jantschiga** kõrgtaseme sünteesi töövahendit AKKA (nimi tuleneb **Selma Lagerlöfi** romaanist „Nils Holgerssoni imelised seiklused", kus Nils lendas ja seikles koos Akka nimelise hanega). Uurimistöö hõlmas ATM sideprotokolli ühe komponendi (*OAM – Operation, Administ-*

[72] R. Ubar. Electronics Competence Centre and Research in Digital Test at Technical University of Tallinn. IEEE 14th NORCHIP Conference, Helsinki, November 4-5, 1996, pp.134-141. Invited paper.

[73] G. Jervan, A. Markus, J. Raik, R. Ubar. Assembling Low-Level Tests to High-Level Symbolic Test Frames. IEEE 15th NORCHIP Conference, Tallinn, November 10-11, 1997, pp. 275-280.

[74] Peeter Ellervee, doktorikraad, 2000, (juh) Ahmed Hemani, High-Level Synthesis of Control and Memory Intensive Applications, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

ration, and Maintenance) sügavamat analüüsi ja modelleerimist. Sellest kõigest sündis rida artikleid, mis said hiljem Kalle doktoritöö[75] (1997) kandvaks osaks.

Koostöö KTH-ga jätkus hiljem **Mattias O'Nilsiga** ja **Margus Kruusiga** ATI-st lõplike automaatide teemal, mille tulemuseks sai ajakirjaartikkel.[76]

Prof. **Gert Jervan** õppis ja töötas Linköpingi Ülikoolis aastatel 1998-2005, kaitstes seal litsentsiaaditöö[77] 2002. a. ja seejärel 2005. a. ka doktoriväitekirja.[78] Selle seitsme aasta vältel toimus väga viljakas koostöö ATI ja Linköpingi ülikooli vahel, mille jooksul publitseeriti ühistööna kokku üle 20 artikli.

Linköpingi Ülikool (**Zebo Peng**, **Erik Larsson**) on olnud mitmete ATI europrojektide partneriks, nagu VILAB (1998-01), eVikings (2002-05), VERTIGO (2006-08), bilateraalne projekt ATI-ga DTDES „Design and Test of Dependable Electronic Systems" (1999-2000), kus finantseerijaks oli Rootsi Teaduste Akadeemia jpt. Osalesime Linköpingi Ülikooli europrojektis IST-2001-35100 SYDIC-Training, mille raames viisime 2003. a. läbi kursuse *„Digital Systems Testing and Design for Testability"*, firma Ericsson Telecom AB inseneridele.

Ericsson Telecom AB (**Gunnar Carlsson**) on olnud meie partneriks projektides VILAB (1998-01), eVikings (2002-2005), DIAMOND (2010-2012). Päris mitmel korral sai Ericssonis käidud seminare pidamas. Selle koostöö üheks „praktilisemaks" osaks oli rootslaste toetus meie arvutipargi arendamisel.

1998. aastal kinkis Ericsson Telecom AB elektronarvutite instituudile 30 (!) Sun SparcStation 2+ tööjaama, vägev sõna meie jaoks – 256 MB mälu, 21-tollised kuvarid, värvigraafika. Selle arvutipargi järel käisid Stockholmis **Marek Mandre** ja **Harri Lensen**, laadisid Ericssoni väravas veoautole, mille riskisid saata isevooluteed laevaga Paldiski kaubasadamasse, kuhu see ka pärale jõudis ja edasi ülikooli. Ise tulid poisid reisilaevaga Stockholmist otse Tallinna. Marekiga eesotsas rajati nüüd TTÜ arvutuskeskuse kõrval 20 tööjaamaga arvutiklass.

Järgmisel aastal ostis ülikool veel juurde 15 Ultra Sparc 5 arvutit, mis olid tööjaamadega võrreldes võimsuselt veelgi vägevamad. Nendes klassides viidi läbi nii arvutite üldkursuse laboreid (**Teet Evartson**) kui ka Turbo Testri ja DixiCAD kasutamisel disaini ja diagnostika laboreid (**Jaan Raik**).

Konkureerimine Stockholmis

Ühel päeval tuli **Raimund Ubari** nimele Rootsist kiri ettepanekuga kandideerida õppetoolile Stockholmi Kuninglikus Tehnikaülikoolis.

Ega ma polekski üldse tahtnud Eestist ära minna: meie instituudi aktivas oli kolm europrojekti ja üks skandinaavia projekt, instituudi juurde kuulus keskus, mida juhatasin, mul olid loengukursused, millele olin pühendunud. Ometi saatsin „sportlikust huvist" oma avalduse ja dokumendid Rootsi.

Meid oli kolm kandidaati. Esimene, **Jerzy Kirrander** Sundsvalli Kõrgkoolist, oli tööstuskogemusega elektroonikadisainer, tuumafüüsika haridusega ja õpetanud laias valdkonnas, nii analoog- kui digitaalelektroonikat. Teine kandidaat, **Gunnar Wahlstein**, oli

[75] Kalle Tammemäe *Kontrollintensiivsete digitaalsüsteemide süntees.*

[76] Oelmann, B.; Tammemae, K.; Kruus, M.; O'Nils, M (2001). Automatic FSM synthesis for low-power mixed synchronous/asynchronous implementation. VLSI Design, 12 (2).

[77] Gert Jervan, 2002, High-Level Test Generation and Built-In-Self-Test Techniques for Digital Systems.

[78] Gert Jervan, doktorikraad, 2005, (juh) Zebo Peng, Hybrid Built-In Self-Test and Test Generation Techniques for Digital Systems, Linköping University, Sweden.

samast ülikoolist, kuhu konkureeris, ja tal oli ridamisi patente. Need olid just minu nõrgemad küljed – tööstuskogemuse ja patentide puudumine (olid küll veneaegsed autoritunnistused), aga mu teadustulemuste portfell tunnistati tugevamaks.

Konkureerimine Stockholmis oli midagi muud kui meie professorite isekeskis valimine TTÜ-s. Rootsis kasutati objektiivsuse tõstmiseks välisretsensente. Kõigil kandidaatidel tuli käia kohapeal teaduskonna komisjoni ees. Istusime kõik kolm ukse taga koridoris nagu hambaarsti ootejärjekorras, oodates oma korda. Esitati väga palju küsimusi. Üheks niisuguseks oli näiteks: „Kui kaua teil võtaks aega rootsi keele äraõppimine?“ Vastasin, et aasta. Olin veendunud, et sellega hakkama saan. Sest olingi juba alustanud õpinguid ja osates nii saksa kui inglise, pisut ka prantsuse keelt, oleks rootsi keel tulnud kergesti.

Konkursi võitjaks osutusin mina. Nüüd oli palju mõtlemist, kuidas viia läbi kõige valutumalt ärakolimist. Hakkasin tasapisi ka juba harjuma mõttega peatselt algavast uuest elust. Mis pooleli olevatesse projektidesse puutus, siis ei kavatsenud ma neid „kaasa võtta“. Olin peaaegu kindel, et mul õnnestub vähemalt esimesed paar aastat olla nii seal kui siin, säilitades pool kohta ka TTÜ-s. Nägin ka hoopis uut võimalust – koostöö parandamise võimalust kahe ülikooli vahel.

Sügisel aga saabus dekaanilt **Göran Anderssonilt** pisut imelik kiri. Selles vabandati väga viisakalt, et kahjuks jääb uus õppetool majanduslikel põhjustel avamata. Teaduskonnas olevat toimunud teatav reorganiseerimine ja sellesse instituuti, kuhu olin kandideerinud, oli kokku toodud teistest instituutidest neli professorit **Henoch**, **Tenhunen**, **Petersson** ja **Thylen**, mis juba katvat vajamineva kompetentsi. Vabandati, et uus õppetool olevat välja kuulutatud enne teaduskonna reorganiseerimist... Hiljem tulid detailid: uus peaminister oli otsustanud redutseerida ülikoolide rahasid. Ja nüüd, selle asemel, et mõnda õppejõudu „tänavale saata“, otsustati mitte avada uued plaanis olnud õppetoolid.

Ma ei olnudki eriliselt kurb. Pigem olin rõõmus, sest oli niigi palju huvitavat tegemist Eestis. Tuli hoopis tänulik olla peaministrile, kelle poliitika tõttu „pandi seisma“ järjekordne „ajude äravool“ arvutitehnika instituudist. Pealegi professorite Henochi ja Tenhuneniga jätkus meie instituudi koostöö niigi päris pikka aega.

Norras ja Rootsis ning Balti Tehnikateaduste Akadeemia

Norra Trondheimi ülikooliga tekkis meil ühistel teadushuvidel põhinev kontakt prof. **Einar Aasi** kaudu, kellega tutvusin juba 1992. aastal koos Grenoble'is töötades. Einar oli üks tuntuimaid asjatundjaid digitaalskeemide statistilise ja dünaamilise testimise alal Euroopas, olles sel alal töötanud mõnda aega ka USA-s. Nüüd viibis ta aastasel lähetusel Grenoble'is ja pidas seal loenguid, milliseid ka mina külastasin. Teiselt poolt huvitus aga Einar meie AG-uuringutest. Me koostöö jätkus järgnevatel aastatel põhiliselt korrespondentsi tasemel, kus vahetasime oma teadustöid ja aeg-ajalt diskuteerisime dünaamilise testimise teemal. Olen oponeerinud kolme Einar Aasi doktoranti: **Linda Kristoffersoni** testimise teemal[79] (1992), **Nhon Van Vo**'d digitaalsüsteemide sünteesi teemal[80] (1992) ja **Oystein Gjermundnesi** isetestivate süsteemide teemal[81] (2006). Einar Aas aga oponeeris omakorda Tallinnas meie doktorante **Elmet Orassoni** (2007) ja **Vineeth Govindi** (2009).

[79] Linda Kristoffersen „Exact and approximate testability analysis of combinational networks“.
[80] Nhon Van Vo „A contribution to high level synthesis of VLSI Systems“.
[81] Oystein Gjermundnes „Exploiting Arithmetic Built-In Self-Test Techniques for Path Delay Fault Testing“.

Teatud kontaktid tekkisid meil ka Taanis. TTÜ vastuvõtmise assotsiatsiooni EUROCHIP üheks soovitajaks koos **Bernard Courtois**'ga oli **Ole Olesen Lyngby** Tehnikaülikoolist Kopenhaagenis. Olesen oli ise üks organisatsiooni asutajatest. Kõigepealt loodi 1981. a. Ole Oleseni ja **Christer Svenssoni** (Linköpingi Ülikool) initsiatiivil Põhjamaade organisatsioon NORCHIP toetamaks ülikoole mikroelektroonika multiprojekt-kiipide disainimisel ja tootmise korraldamisel. Esimene põhjamaade kiip valmiski selle organisatsiooni raames, milles oli realiseeritud korraga 10 disaini Rootsi, Soome, Norra ja Taani ülikoolidest. Järgmise seitsme aasta jooksul valmis NORCHIP vahendamisel kokku üle 2000 disaini Põhjamaadest. 1988. aastal ühines NORCHIP koos samalaadsete organisatsioonidega – CMP Prantsusmaalt, GMD Saksamaalt, IMEC Belgiast ja RAL (*Rutherford Appleton Laboratory*) Ühendriikidest – assotsiatsiooniks EUROCHIP, mis 1995. aastal nimetati ümber EUROPRACTICE organisatsiooniks.

Tore oli liikuda Ole Oleseni laboratooriumi koridorides Lyngby ülikoolis, kus kõik seinad olid täis kleebitud A0 formaadis postreid kiipidest, mis olid projekteeritud labori diplomandide poolt. Labor oli spetsialiseerunud disainile, testimise valdkond oli neile uus ja seetõttu pakkus seal minu ülevaateline seminar suurt huvi. Tutvusin seal dotsent **Flemming Stasseniga**, kes oli laboris ainus, kes pisut valdas diagnostika teemat. Edaspidi hakkasime vahetama õppematerjale. Mulle väga imponeeris tema originaalne õppekogumik. See kujutas endast kokkuköidetud artiklite sarja, mis olid spetsiaalselt välja valitud tudengite jaoks iseseisvaks tööks ja lugemiseks ning katsid suurepäraselt ära kogu tähtsama teaduse sellest valdkonnast. Plaanisin ka ise Tallinnas hakata koostama samalaadseid õppematerjale, mis aga jäi teostamata väga lihtsal põhjusel – neil aastail (1992) maksis iga valge paberileht hingehinda ja polnud mõeldud „raiskamiseks". Selleks ajaks, kui paberist oli kujunenud juba argipäevane tarbeese, oli see tore Stasseni idee mul juba unustuse hõlma vajunud.

1992. aasta veebruaris loodi rahvusvaheline Balti Tehnoloogiateaduste Akadeemia, mille presidendiks sai Läti TA akadeemik **Eduard Jakubaitis**, endine Riia Arvutustehnika Instituudi direktor. Balti riigid polnud küll Skandinaavia, aga Akadeemial olid ambitsioonikad plaanid haarata oma tegevuses kaasa ka tuntumaid professoreid Skandinaavia maadest.

Akadeemia asutajaliikmete hulka kutsuti ka Eestist kaks teadlast, Eesti TA akadeemik **Ülo Jaaksoo** ning **Raimund Ubar**, kes Eesti Teaduste Akadeemiasse valiti aasta hiljem. Balti Akadeemia eesmärgiks oli koordineerida Ida ja Lääne tehnikateadlaste ning -organisatsioonide vahelisi sidemeid eeskätt infotehnoloogias ning luua selle valdkonna teadus- ja kompetentsuskeskusi. Nii näiteks oligi minu kui ühe Akadeemia liikme initsiatiivina plaanis luua TTÜ juurde elektroonika kompetentsuskeskus, mis realiseeruski aasta hiljem. Kahjuks lõpetas Balti Tehnoloogiateaduste Akadeemia finantsraskuste tõttu ise õige pea oma tegevuse.

Akadeemia katuse alla oli aga jõutud juba luua sisulisi koostöösidemeid, mis edaspidigi jätkusid. Nii näiteks sidus mind Akadeemia liikmete **Bengt Henochiga** Rootsist ja **Einar Aasiga** Norrast veel palju aastaid tihe koostöö. Prof. Henochi initsiatiivil ja Rootsi Tööstuskoja NUTEK toetusel käivitasime 3-aastase Rootsi-Eesti elektroonika ühisprojekti ESTPID, mille raames said paljud Eesti elektroonikud Rootsis täiendava väljaõppe ning avasid seejärel Eestis mitu elektroonika väikeettevõtet. Rootsiga sidemete loomisel oli palju abi Rootsi Elektroonikatööstuse Assotsiatsiooni presidendist Hasse Samuelssonist.

1993–1996
Instituut ja keskus

Akadeemiline reform ülikoolis

Instituudid kateedrite asemel

Esimestel iseseisvusaastatel toimus Tehnikaülikooli reformimine, mille tulemusena loodi õppetoolid ja kateedrite asemel instituudid, kaotati senised dekanaadid ja moodustati maatrikstüüpi uus ülikooli struktuur, kus õppesuunad, mida mujal nimetati koolideks, vastutasid õppekavade eest ja millised siis „ostsid" instituutidelt õppetööd (loenguid ja laboreid) õppekavade täitmiseks.

Reformi eesmärgiks oli läheneda Euroopas levinud haridusstruktuuridele. Suurepärase kirjelduse ülikooli reformimise protsessist on andnud **Rein Jürgenson** oma raamatutes[1,2], kus ta kirjeldab üksikasjaliselt TTÜ ja informaatikainstituudi arengukäiku taasiseseisvumise pöördelistel aegadel.

29. jaanuaril 1991. aastal valiti salajasel hääletusel TTÜ rektoriks peaaegu üksmeelselt 119 „poolt" ja ühe „vastu" häälega **Olav Aarna**, kes nüüd asuski juhtima TTÜ akadeemilist reformi, mis läks käima sügisest 1991. Reformi peaeesmärgiks sai õppe- ja teadustöö ühendamine. Ülikooli alustalaks pidi saama professor oma õppetooliga. Seetõttu kujuneski esimeseks reformi struktuurseks lahenduseks õppetoolide võrgu loomine ja nii „pandigi paika" kõigepealt õppetoolide nimistu.

Kateedrid kaotati, neist said instituudid, aga õppetoolide nimistu koostamisel neid veel ei seotud instituutidega. Õppetool pidi kuuluma instituudi koosseisu kui teadus- ja õppetöö esmane struktuuriüksus, millel oli lisaks põhiõppele veel magistri- ja doktoriõppe kohustus.

Õppetoolide nimekirjad tekkisid pikkade arutelude tulemusena, kus otsuseid võeti vastu kõigepealt teaduskondade nõukogudes ja siis rektoraadis. 21. aprillil 1992. aastal kinnitati 85 õppetooli, millele lisandus hiljem veel pärast pikki vaidlusi 16. Õppetoolide nimistu fikseerimisega oli kiire, kuna selle alusel hakkas kohe toimuma ka professorite valimine.

Professorite valimiseks moodustas TTÜ Nõukogu 5. mail 1992 18-liikmelise konkursikomisjoni, mille esimeheks oli **Raimund Ubar**. Professorite valimisprotsessi läbiviimisel tekkis veel üks õppetooli juhataja kategooria – aseprofessor – nendeks juhtumiteks, kui õppetooli juhatajaks ei leita „vajalike parameetritega" professorit. Selleks vajalikuks parameetriks oli „juhendamise eeldus ja kogemus doktoriõppes". Kuna sellist kriteeriumit kusagil fikseeritud ei olnud, kuidas määrata, kes on professor ja kes aseprofessor, siis tegi R. Ubar ettepaneku moodustada teaduskondades vastavad ekspertkomisjonid, kes pidid tegema kompetentseid ettepanekuid.

1992. a. maikuu jooksul kinnitas TTÜ nõukogu automaatikateaduskonnas 8 professorit: **Ilmar Arro**, **Hiie Hinrikus**, **Andres Keevallik**, **Vello Kukk**, **Mart Min**, **Jaak Te-**

[1] Rein Jürgenson. Informaatikainstituut I. TTÜ kirjastus, 2009.
[2] Rein Jürgenson. Tallinna Tehnikaülikool uue iseseisvusaja muutustes. TTÜ kirjastus, 2011.

Kolm arvutitehnika instituudi õppetoolijuhatajat. Vasakult Paul Leis, Andres Keevallik (direktor) ja Raimund Ubar.

pandi, **Raimund Ubar**, ja **Leo Võhandu**. Valitud professoritega seoti õppetoolid, millele nad olid kandideerinud. Aseprofessoriteks valiti automaatikateaduskonnas veel 7 õppejõudu: **Rein Jõers**, **Rein Jürgenson**, **Ants Laansoo**, **Paul Leis**, **Toomas Mikli**, **Vello Männama** ja **Ennu Rüstern**. Nemad said samuti õppetoolide juhatajateks.

TTÜ Nõukogu otsusega 9.06.1992 kinnitati teaduskonna ettepanekul arvutitehnika instituudi akadeemiline struktuur kolme professuurina: arvutitehnika ja -diagnostika (**Raimund Ubar**), digitaaltehnika (**Andres Keevallik**) ja süsteemitarkvara (**Paul Leis**). Automaatikateaduskonnas korraldati instituutide direktorite valimised 11.06.1992. Direktoriteks said: arvutitehnika instituut – Andres Keevallik, informaatikainstituut – Rein Jürgenson, automaatika ja süsteemitehnika instituut – Ennu Rüstern, raadio- ja sidetehnika instituut – **Ilmar Arro** ning elektroonika instituut – **Mart Min**.

Ka teaduskondade struktuur muutus: senise 7 teaduskonna asemel tekkis nüüd 8 (senine *üldteoreetiline teaduskond* sai konkreetsema nimetuse *matemaatika-füüsika* teaduskond, juurde tuli *humanitaarteaduskond*.) *Automaatikateaduskond* muutis oma nime *arvuti- ja süsteemitehnika* teaduskonnaks. Teaduskonnaga liitusid ka *biomeditsiinitehnika keskus* ja *elektroonika kompetentsuskeskus*.

Uus vahetab välja vana

26. novembril 1992 tähistas oma esimest juubelit TTÜ arvutuskeskus piduliku õhtuga Glehni lossis. Kohal olid asutajaliikmetest **L. Võhandu**, **E. Saareste**, **P. Piirikivi** jt. Rektor **O. Aarna** jagas tänukirju. Aastate jooksul oli keskuses töötanud üle 200 inimese, hetkel oli töötajaid 32. Veel meenutusi keskuse ajaloost: AK sündis koos arvuti Minsk-22 tulekuga 1967 sügisel; 1968 tuli esimene rakendus – stipi ja palgalehtede koostamine arvutil; 1973 hakkas tööle üliõpilaste arvutussaal; 1974 tuli esimene ühtsusseeria arvuti EC-1020; 1981 – esimesed miniarvutid SM-4; 1985 valmis AK uus hoone; 1987 hakkas tööle esimene 16-bitiste personaalarvutite (IDM) klass: 1990 algas koostöö Helsinki TÜ AK-ga; 1991 loovutati dekanaadi sekretäri töökoht personaalarvutile; 1992 algas ülikooli arvutivõrgu rajamine, Helsinki TÜ kinkis keskusele IBM 4341; 1992 detsembris toimus IBM kingitud suurarvuti IBM 4381 installeerimine.

Ent traditsiooniliste arvutuskeskuste aeg oli ümber.

1994. aasta alguspoolel töötati välja professorite Rein Jürgensoni ja Andres Keevalliku poolt TTÜ arvutuskeskuse reorganiseerimise kava, mille järgi pidid keskuse funktsioonideks saama mitte enam tehnika tsentraliseeritud koondamine, mis sobis suurarvutite ajastule, vaid eeskätt arvutiklasside hooldus ja klienditeenindus ning üleülikoolilise arvutivõrgu loomine ja hooldus. Seejärel viidi läbi keskuse arvutipargi ümberjagamine teaduskondadele.

20.detsembril 1994. võttis Nõukogu vastu otsuse „Ressursside jaotamise põhimõtted“, mille järgi hakati tulevikus rahastama struktuuriüksuste arendustegevust üksnes „vastavate projektide alusel“ konkursi korras.

Konkursipõhisus oli saanud teaduspoliitika aluseks, mis vastas peavoolu ideedele, aga mis kaotas senise akadeemilise vabaduse ja teaduse poeesia. Turukonkurents ja pragmatism pugesid teadusse…

Meie poliitikud olid kujundanud seisukoha, et Eesti on vaene maa ja kuna teadus nõuab suuri kulutusi, siis ootab ühiskond ka teaduselt suuremat tulu. Nokk kinni, saba lahti. Mis peab enne olema, kas rikkus maa peal, et teadust toetada või tulu tootev teadus, et maa rikkaks teha?

Doktoritest ja professoritest

Vasakul: ülikooli koridori seinu katvad seinamaalingud kujutavad ajalukku läinud professoreid ja doktoreid. Paremal: doktoriks „küpsetamine“ Oulu Ülikoolis. Kolm professorit vasakult Raimund Ubar, Juha Häkkinen ja Erik Larsson (4) ning uus doktor Jari Hannu (3).

Üheks ülikooli reformi põhiaktsiooniks oli professorite valimine. Nõukogude perioodist oli ülikoolis umbes 40 professorit, kellel olid VAK-i diplomid ja seega professori nimetus ei tähendanud mitte ametikohta, vaid eluaegset tiitlit. See oli põhjuseks, miks ülikooli teaduskraadide ja -tiitlite reform põhjustas teatavat hämmingut ja mõnikord ka solvumisi.

Senised doktori ja teadustekandidaadi kraadid võrdsustati, kehtima jäi nende mõlema asemel üksainus ühtne teaduskraad – *doktor.* Kui seni oli ülikoolis olnud vaid 40-50 teaduste doktorit, siis nüüd kasvas nende arv üheainsa sulepea liigutusega sadadesse. Kui *professor* oli seni tähendanud teaduslikku nimetust, mis jäi tiitlina kehtima eluks ajaks, siis nüüd tähendas *professor* – ametinimetust, mille võisid ühel päeval saada ja teisel päeval kaotada. Nüüd tähendas *professor* ametipõhist, aga mitte enam persoonipõhist mõistet.

Oli üsnagi arusaadav, et 40-50 TTÜ endisele doktorile võis seniste teaduste kandidaatide lihtviisiline doktoriteks ümber nimetamine tähendada oma elutöölt sära kustutamist. Ja ka see oli arusaadav, kui senine professor-kateedrijuhataja võis hingepõhjani solvuda, kui ülikooli reform kustutas tema tiitli ning degradeeris ta professorist aseprofessoriks.

Niisuguses olukorras ei olnud eriti meeldiv olla TTÜ konkursikomisjoni esimees, kelleks oli valitud **Raimund Ubar**, ja kelle ülesandeks oli korraldada TTÜ konkurss õppetoolide juhatajate (ehk siis *uusprofessorite*) kohtadele.

Kinnitati nõuded, mille täitmine osutus vajalikuks professori ametikoha saamisel. Nõuded olid kirjas, aga elu on alati midagi muud ja lati ületamine professoriks saamisel polnudki alati vajalik. Õige pea selgus, et „uues süsteemis“ professorite lati liiga kõrgel hoidmine olekski olnud rumalavõitu üldises Eesti kontekstis, kus riigi ja eraülikoole oli varsti kokku üle 50 ja professoreid hakkas tekkima nagu seeni pärast vihma.

Kokku valiti umbes sadakond professorit. 100 uut professorit endise 40 asemele tähendas devalvatsiooni ja seetõttu „vanad" professorid olid uuest süsteemist üsna häiritud.

Sellest „ebaõiglusest" tuli lihtsalt üle olla ja igalühel oli nüüdsest võimalus oma edaspidise tegevusega näidata seda, et senisesse „teadusnomenklatuuri" ei kuulutud mitte tänu tiitlite (doktor, professor) omamisele, vaid et see oli ära teenitud. Kerge ei olnud see võib-olla teatud vanuseikka jõudnute jaoks, sest uues ühiskonnas oli jalge alt kadunud idapoolsete kontaktide võrk, aga läänepoolsesse võrku oli juba hilja konkureerima minna.

Soovides pingeid ülikoolis siluda, kirjutasin TTÜ ajalehes mõned artiklid.[3,4] viidates uue olukorra paratamatusele ja innustades „endisi" doktoreid ja professoreid „mehiselt taluma" oma saatust. Samuti pikkisin oma TTÜ 75. aastapäeva kõnesse[5] järgmise lõigu:

Ülikoolide reformi tulemusena on Eestis kujunenud delikaatne situatsioon. Alma mater'i koridorides käivad kõrvuti uued ja vanad doktorid, uued ja vanad professorid. Vanasid on haaranud suurem või väiksem armukadedus, sest doktorite lati kõrgus on langenud ja doktorikraad kui niisugune ei räägi enam sellest, kui kõrgelt keegi kunagi üle hüppas.

Ma arvan, et „murupügamist" peab mehiselt taluma. Tugeva juurega kõrs viibutab peagi latva nähtavalt kui ennemuiste. Tiitlite endist tähendust tuleks võtta kui meeldivat mälestust kunagisest „kõrgushüppest". Ega olümpiamedalgi aegade tagant tähenda muud kui meenutust ühest suurhetkest. Kraad ei ole eluaegne tuluallikas. Kraad on diplom, auhind saavutuse eest. Saavutus on märgiks tasemele jõudmisest, kuid tasemel püsimise kinnituseks on vaja juba uusi märke. Doktorikraadi tuleks võtta vekslina, mis on õlgadel kui koorem. Ka meistritiitli omanik spordis läheb järgmisele võistlusele kohustuste koormaga – kaitsta oma tiitlit.

Arvutitehnika instituut käivitub

Põhimäärus ja asutamise akt

Instituudi suur pere. Vasakult: seisavad Paul, Teet Eero, Jelena, Aleksander, Margus (direktor), Arvo, Harri, Järvi, Ahto, Tarmo, Ain, Toomas ja Ksenja ning istuvad: Jelena, Marina ja Vaike.

19. jaanuaril 1993 kinnitas TTÜ nõukogu oma otsusega nr. 15 TTÜ arvutitehnika instituudi (ATI) põhimääruse ja asutamisakti. Asutamise aluseks oli TTÜ nõukogu 9. juuni 1992 otsus nr. 45, mille järgi arvutitehnika instituut moodustati elektronarvutite kateedri ning digitaaltehnika laboratooriumi baasil automaatikateaduskonnas. Instituudi asutamisaeg: 31.08.1992.

3 Kes on teaduste doktor? „Tehnikaülikool", Nr.2 (1378), 28. jaan. 1993.

4 Doktoritest ja professoritest. „Tehnikaülikool", Nr.4 (1380), 17. märts 1993.

5 Ülikooli aknad on õhtul pimedad, sest kõik ei suuda olla Diogenesed. Tehnikaülikool, Nr.12 (1388), 19.okt. 1993.

Aktis on määratletud instituudi struktuur koosnevana kolmest õppetoolist:

1. **Arvutitehnika ja -diagnostika õppetool**. Õppe- ja teadustöö valdkond: arvutiõpetus, arvutite teooria ja projekteerimine, mikroskeemitehnika ja mäluseadmed; arvutiarhitektuurid; arvutite perifeerseadmed; arvutivõrkude arhitektuur; arvutihooldus; digitaalseadmete diagnostika ja testide projekteerimine.
2. **Süsteemitarkvara õppetool**. Õppe- ja teadustöö valdkond: objektorienteeritud programmeerimine; programmeerimine assemblerikeeltes; operatsioonisüsteemid; objektorienteeritud andmebaasi süsteemid; mikrokontrollerite programmeerimine; ülesannete keerukus ja algoritmid graafidel; paralleelalgoritmid; intellektitehnika; ekspertsüsteemid.
3. **Digitaaltehnika õppetool**. Õppe- ja teadustöö valdkond: digitaalsüsteemide projekteerimine ja modelleerimine; kõrgtaseme keeled digitaalsüsteemide kirjeldamiseks ja sünteesiks; loogiline süntees; ASIC projekteerimine; CAD-süsteemid digitaalsüsteemide projekteerimiseks; mikroprotsessorsüsteemide projekteerimine.

Instituudi nõukogu: prof. **Andres Keevallik**, prof. **Raimund Ubar**, aseprof. **Paul Leis**, dots. **Margus Kruus**, dots. **Harry Tani**, dots. **Ustus Agur**, prof. **Leo Mõtus**.

Instituudi koosseis asutamisel 31.08.1992:

Arvutitehnika ja diagnostika õppetool		Süsteemi tarkvara õppetool		Digitaaltehnika õppetool	
Prof.	Raimund Ubar	Aseprof.	Paul Leis	Prof.	Andres Keevallik
Dotsent	Harri Mägi	Dotsent	Vladimir Viies	Dotsent	Margus Kruus
Dotsent	Teet Evartson	Dotsent	Viktor Leppikson	Dotsent	2,0 vakantne
Lektor	Leonhard Siem	Lektor	Toomas Kont	Lektor	Arvo Toomsalu
Lektor	Ülo Liivamägi	Lektor	Ksenja Grigorjeva	Lektor	Matti Kurm
Lektor	Toomas Plaks				
Assistent	Vakantne	V.teadur	0,5 Kullo Raiend	Assistent	0,5 vakantne
N. teadur	Viljar Tulit	V. teadur	0,5 Peeter Lorents	V. teadur	Aleksander Sudnitsõn
Administratsioon		Abipersonal		Abipersonal	
Direktor	Andres Keevallik	Insener	Heljo Saar	Laborant	Galina Kuznetsova
Dir. abi	Nigul Piht	Insener	Dmitri Kuraksa	Laborant	Ulvi Võsu
Sekretär	Kaie Elevant	Insener	Marina Brik	Laborant	Natalja Tseberjak
		Insener	Toivo Valk	Laborant	Indrek Lelumees

ATI tutvustamiseks kirjeldati instituudi õppe- ja teadussuundi asutamise hetkel järgmiselt. Õppetööd viiakse läbi arvutustehnika alastes õppeainetes, kusjuures pearõhk on riistvara alastel õppeainetel ja programmeerimisainetel, milliseid võib iseloomustada „riistvara lähedusega“.

Põhiliste õppeainetena rõhutati järgmisi aineid: arvutite teooria ja projekteerimine, arvutiarhitektuurid, digitaalsüsteemide diagnostika, digitaalsüsteemide sünteesi meetodid, mikroprotsessorsüsteemid, ülisuurte integraalskseemide projekteerimine, rekursiivne programmeerimine, tarkvaratehnika.

ATI peamisteks teadustöö suundadeks olid: *digitaalsüsteemide diagnostika* (prof. Raimund Ubar) ja *digitaalsüsteemide sünteesi meetodid* (prof. Andres Keevallik).

Nimetatud suundades oli instituudi asutamise hetkeks kaitstud üle 20 teaduskraadi ja hetkel olid juhendamisel 8 doktoranti ning 9 magistranti.

Arvutitehnika ja -diagnostika õppetooli (R. Ubar) teadusteemadeks olid:

(1) hierarhiliste digitaalsüsteemide testide süntees;

(2) meetodid ja tarkvara digitaalsüsteemide diagnostikaks;

(3) elektroonikasüsteemide disaini õppeprogrammide väljatöötamine.

Digitaaltehnika õppetooli (A. Keevallik) teadusteemaks oli: *digitaalsüsteemide sünteesi meetodid* ja süsteemitarkvara õppetooli (P. Leis) teadusteemaks oli: *kreatiivsete intellektuaalsete süsteemide* väljatöötamine.

Õppetooli koosolekuprotokollid

Alljärgnevalt on instituudi tegevusnäitena toodud välja ülevaade ühe õppetooli – arvutitehnika ja diagnostika õppetooli koosolekute protokollidest.

Esimese kahe koosoleku (september – oktoober) põhiteemaks oli õppetöö kontseptsiooni väljatöötamine õppetoolis. Rõhutati vajadust tiheda koostöö järele kahe õppetooli – diagnostika ja digitaaltehnika – vahel, mis olid omavahel küllalt sarnased. Hea võimalusena nähti siin koostegutsemist peatselt käivituva europrojekti TEMPUS raames, mille eesmärgiks oli rajada instituudis PLD-labor. Kõigile õppejõududele tehti ülesandeks kavandada oma õppetööd uute võimaluste taustal, mille avab nimetatud labor. Rõhutati vajadust intensiivistada teadustööd.

16. novembril 1992 toimunud koosoleku päevakorras olid õppetooli kontseptsioon, õppeainete programmide analüüs ja PLD labori ülesehitamise küsimused.

Õppetooli kontseptsiooni ja strateegiliste ülesannete arutelul nenditi, et põhiprobleemiks on arvutieriala saatus Eestis väljakujunenud majandusolukorras. Musta stsenaariumi järgi võib Eestis kaduda vajadus *arvutitehnika ja mikroelektroonika* projekteerijate järele ning vajalikuks võivad tulevikus osutuda vaid *süsteemide kokkupanijad ja arvutite hooldusega* tegelevad insenerid. Meie ülesandeks oleks vaja muuta olukorda ja teha uuesti atraktiivseks projekteerimise temaatika, toetudes uue *PLD tehnoloogia* populaarsuse kasvule mujal Euroopas, mis ei vaja kallist tööstust ja kus *süsteemide loomine* oleks jõukohane ka väikefirmadele. Sellesse suunda oli ju ka planeeritud TEMPUSe projekt ja kavandatav PLD laboratoorium.

Koos rootslastega käsil oleva projekti ESTPID raames, mis oli suunatud just väike-ettevõtluse arendamisele, oli plaanis rajada ka veel teine PLD labor (firma), millel oleks õigus osaleda kommertsprojektide väljatöötlustes. Nende laborite baasil tekkiks võimalus koolitada spetsialiste, kes oleksid võimelised astuma edukalt elektroonikaproduktide turule, aga samuti ka arendada ettevõtlust. Siin nägime ka vajadust õppetööd siduda tihedalt PLD laboriga ja teadustööga.

19. veebruari 1993 koosoleku protokoll algas mõningate kriitiliste märkustega selle kohta, et pole toimunud juba mõnda aega ei õppetooli koosolekuid ega ka instituudi tasemel arutelusid ning ära olid jäänud planeeritud teadusseminarid. Põhjuseks oli suur töökoormuse kasv viimastel kuudel seoses alanud TEMPUS projektiga.

Raimund Ubar andis ülevaate doktoritöö eeskirjade väljatöötamisest ülikooli vastavas komisjonis, mida ta juhib. Samuti andis ta ülevaate tööst ülikooli teaduskomisjonis, kus analüüsiti rootsi teadlaste poolt läbiviidud eesti teaduse ekspertiisi tulemusi.

Positiivne info oli see, et arvutitehnika instituudi teadustöö tase oli saanud selles ekspertiisiprotsessis väga soodsa hinnangu, eriti digitaalseadmete diagnostika alal, mis tähendas seda, et selle suuna finantseerimine on edaspidi tagatud. Samal ajal pole Eesti Teadusfondi tasemel veel otsusele jõutud, kuidas hakkab ülikoolide baasfinantseerimine tulevikus toimuma: kas hakatakse finantseerima uurimisgruppe (õppetoole) või institutsioone (instituute). Praegu kalduvat vaekauss institutsioonide kasuks.

Projektiga ESTPID seotud info oli järgmine: ESTPID raames töötas Rootsis hetkel koguni 15 inimest 3-6 kuuliste lähetustena, neist 10 mitmesugustes rootsi elektroonikafirmades. ESTPID raames oli loota ka lisavahendeid loodava PLD labori jaoks.

Leo Siem andis ülevaate ühest oma Soome projekteerimisalasest tööst – multiprotsessorsüsteemi väljatöötamisest ühe navigatsioonisüsteemi jaoks. Selles töös osales veel mitu inimest peale Siemi nii meie instituudist kui ka mujalt.

Toomas Plaks andis ülevaate oma väljatöötatud kolmest uuest loengukursusest, millele lisandub ka kursuseprojekt, mis seob uue aine arvutiehituse teemal PLD laboriga. Arvutite arhitektuuri kursuses tuleks üle minna seminaride ja ettekannete süsteemile. Hajussüsteemide kursus peab kujunema ASIC projekteerimise kursuseks. Sügiseks saab valmis kursus projekteerimissüsteemi SOLO tutvustamiseks, mis oleks üheks TEMPUS projekti temaatikaks. On saavutatud kontakt paralleeltöötlusega tegelevate

Keevalliku saunas toimub projekti TEMPUS koosolek. Vasakult Jaan, Manfred, Paul, Bernard, Raimund ja Paul. Bernard Courtois' saab esmakordse elamuse sellest, kuidas saunas viheldakse.

uurimiskollektiividega Saksamaal: Passaus ja Erlangenis. Mõlemast on saadud nõusolek küllakutseks

Info veel selle kohta, et projekti EEMCN taotlus on saanud Brüsselist kinnituse. Märge ka selle kohta, et **R. Ubar** võttis osa Eesti TA liikmeks kandideerimisest. Esimene voor läks hästi – kuuest kandidaadist TA osakonnas osutus ta edukaimaks. Teine voor toimub Akadeemia Üldkogus.

5. mai 1993 koosoleku protokoll sisaldab ülevaate olukorrast õppetoolist. PLD labor on saanud 5 tööjaama (PC), tulemas on SUN. Õppetoolile kuuluvad masinad on plaanis ühendada võrku. PLD labori baasil hakkab toimuma täiendõpe. Õppetoolist on lahkunud **Viljar Tulit**, kes läks tööle Küberneetika Instituuti. Lahkunud on samuti **Märt Saarepera** – aspirantuuri. Esialgne plaan saata Märt **Janusz Rajski** juurde USA-sse jäi õhku rippuma, nüüd aga pakuti TTÜ poolt meile aspirantuuri Jaapanisse.

Rootsist (**Magnhagenilt**) on saadud SUN-idele DIXI-cad tarkvara (litsentside kommertsväärtusega 2 milj. krooni). Sellesse süsteemi kuulub nüüd ka meie laboris väljatöötatud Turbo Tester. See bartertehing (tarkvarade vastastikkune vahetus) on üks vähene erand, kus me ka oma tööst oleme „tasu" saanud – õigemini küll ülikooli jaoks teeninud.

Saime Darmstadtist disainitarkvara ORCAD. Süsteemi rakendamise ideoloogiks on **Teet Evartson**. Grenoble'ist on tulemas SOLO SUN-idele. Selle käima panemise ideoloogiks on **Toomas Plaks**.

Tulemas on ALLIANCE VLSI disaini õpetamiseks. Seda süsteemi jagatakse ülikoolidele ning ta toetab SPARC-station'it. Siin on ideoloogiks **Jüri Põldre**.

Õppetoolile kuulutati välja üks dotsendi koht, sellele kohale soovitatakse Teet Evartsoni.

17.-21. mail on õppetoolil TEMPUS projekti raames külas **Paul Amblard** ja **Alain Guyot** Grenoble'ist. Nende vastuvõtu korraldab Toomas Plaks, teda abistab Teet Evartson. Raha on selleks eraldatud 1500 EEK.[6] Üritust toetab ka instituudi direktor. Külalisprofessorid viivad läbi lühikursuse PLD-põhisest projekteerimisest.

Rahvusvahelisest koostööst

ATI-s toimuv teadustegevus oli seotud põhiliselt digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika valdkonnaga. Sellesse valdkonda keskuse teaduride poolt eelnevatel aastatel toodud uus struktuursetel otsustusdiagrammidel põhinev diagnostikamudeli kontseptsioon pakkus hulgaliselt veel lõpuni uurimata võimalusi ning üldistamise perspektiive nii horisontaalses kui ka vertikaalses mõttes (nii ülesannete klassi laiendamise mõttes kui ka ülesannete lahendamisel hierarhia loomisel eri tasanditel). Keskuse juures väljatöötatud tarkvara Turbo Tester oli kasutusel Rootsis inseneride täiendõppes ja oli Manchesteri ülikooli poolt soovitatud kasutusele võtta õppevahendina Inglismaa ülikoolides.

ATI tegevuse edasiseks arendamiseks oli suund võetud koostöösidemete tihendamisele arenenud kõrgtehnoloogia-alase tööstuskeskkonnaga lähinaabrite juures (Soomes, Rootsis ja Norras). Selle plaani raames viidi näiteks 1995. a. sügisperioodil keskuse teadurite poolt läbi külalisloenguid (**Raimund Ubar**) ja praktilist õpet (**Jaan Raik** ja **Priidu Pao-**

[6] *Ca* 100 eurot – kui odav oli neil aastatel elu.

mets) Helsinki Tehnoloogiaülikoolis, kohtumisi Helsinki Tehnoloogiaülikooli elektronahelate disaini laboris, Nokia Uurimiskeskuses (Nokia Research Centre), mikroelektroonika projekteerimisele orienteeritud firmas Fincitec ning riiklikus uurimiskeskuses VTT.

Kohtumiste üldise tulemusena selgus, et Soomes oli puudus kvalifitseeritud mikroelektroonika disaini inseneridest, suurfirmad lõid filiaale välismaal, määrates filiaalide asukohti põhiliselt kvalifitseeritud tööjõu olemasolu järgi. Firmad ja kõrgkool olid väga huvitatud Eestis mikroelektroonikadisaini spetsialistide ettevalmistamisele kaasa aitamisest.

Soome firmades (projekti ESTPID raames) juba stažeerinud eesti elektroonikaspetsialistidele toetudes oli Eestis juba käivitatud kaks mikroelektroonikadisainiga tegelevate firmade esindust.

Teadustegevus elektroonika kompetentsuskeskuses toimus aastatel 1993-1996 tervelt 10 projekti raames, millest 6 olid europrojektid (TEMPUS JEP 4772, PECO JEP 7668 EEMCN, COPERNICUS JEP 9624 FUTEG, ESPRIT III BRA-6575 ATSEC, ESPRIT Action EUROCHIP ja ESPRIT Action EUROPRACTICE).

Projekti PECO JEP 7668 EEMCN[7] (1994-1996) eesmärgiks oli spetsialiseeritud mikroelektroonika kompetentsuskeskuste võrgu välja arendamine valitud Ida-Euroopa uurimisasutuste ja ülikoolide vahel ning infrastruktuuri ettevalmistamine tulevaste ühisprojektide läbiviimiseks.

Projekti raames korraldati kolm rahvusvahelist *workshop*'pi Dresdenis, Budapestis ja Kaunases. Elektroonika kompetentsuskeskuses läbi viidud uurimistöö tulemusi kasutasime koos projekti partneritega ühisuuringutes, mis võeti seejärel aluseks uute ühisprojektide ettepanekute väljatöötamisel (programmi COPERNICUS raames) ja millised osutusid hiljem väga edukaks. Käivitasime mitmeid ühisaktsioone õppeprogrammide täiustamiseks partner-ülikoolides. Projekti tulemustest[8,9] on pikemalt juttu 1995. aastal asutatud Baltimaade elektroonika ajakirjas *„Baltic Electronics"*, mille toimetuskolleegiumisse kuulusid Eestist **Mart Min** (peatoimetaja), **Avo Ots**, **Toomas Rang**, **Harry Tani**, ja **Raimund Ubar**.

Projekti **COPERNICUS JEP 9624 FUTEG**[10] (1994-1997) eesmärgiks oli viia läbi ühisuuringuid digitaalsüsteemide diagnostika uute meetodite ja tarkvara väljatöötamiseks. TTÜ ülesandeks selles projektis oli luua algoritmid ja programmid diagnostikamudelite sünteesi ja kõrgtaseme funktsionaalsete testide genereerimiseks.

---

7 EEMCN – *East European Microelectronics Cooperation Network of Support and Competence Centres.*

8 R. Ubar. Electronics Competence Centre as a Result of European Projects at the Technical University of Tallin. Baltic Electronics, Vol. 1, No. 2, Dec., 1995, pp.9-11.

9 R. Ubar, P. Paomets, J. Raik. Low-Cost CAD Software for Teaching Digital Test. Proc. of the First European Workshop on Microelectronics Education. Villard de Lans, France, February 5-6, 1996, p.48.

10 FUTEG – *Functional Test Generation and Diagnosis.*

Projekti tulemustena[11,12,13] loodi uut tüüpi katseskeemide perekond (*benchmark circuits family*), mis olid vajalikud eksperimentaaluuringute läbiviimiseks, töötati välja uusi meetodeid, algoritme ja tarkvara digitaalsüsteemide diagnostikamudelite sünteesiks kõrgtaseme spetsifikatsioonidest, lähtudes rahvusvaheliseks standardiks kujunenud VHDL projekteerimiskeelest. Ulatuslike eksperimentide abil, tõestasime ka oma uute algoritmide ja meetodite efektiivsust võrreldes seni tuntud meetoditega.

Projektid **EUROCHIP** ja **EUROPRACTICE** tähendasid meile palju. Assotsiatsiooni EUROCHIP liikmena õnnestus meil hankida ja installeerida keskuse laborites terve rida Euroopa tipptööstuses kasutatavaid tarkvarasüsteeme nagu SYNOPSYS, CADENCE, SOLO, HILO, XILINX. Sellega sai loodud võimalus kasutada ka õppetöös kaasaegset professionaalset disaini tarkvara, mille väärtust tol hetkel võis hinnata suuremaks kui 10-15 miljonit krooni (seejuures ei olnud selle tarkvara hankimisel kasutatud ei Eesti riigi ega ka TTÜ rahalisi vahendeid). Projekt EUROCHIP lõppes 1995. aastal. Aga tänu aktiivsetele projektijuhtidele, kelle süda valutas Euroopa elektroonikatööstuse ja ülikoolides antava elektroonikadisaini kõrghariduse taseme pärast, õnnestus projekti pikendada nüüd küll juba uue nime EUROPRACTICE all, kus juba nime muutus ise väljendab seda, et projekti haare ja suunitlus muutusid nüüd palju laiemaks kui ainult elektroonika kiipidele orienteeritus.

Lisaks mainitud europrojektidele toimus ATI uurimistöö ka mitmete bilateraalsete koostöövormide raames:

1. ESTPID. Stockholmi Kuninglik Tehnoloogiainstituut, Rootsi. (Prof. **Bengt Henoch**) Eesti-Rootsi ühisprojekt (1992-1994).
2. Jonköpingi Ülikool ja firma DIGSIM DATA A.B., Rootsi (Prof. **Bengt Magnhagen**). Koostööleping: tarkvaravahetus, tehnoloogiasiire. Tulemus: koostöö raames saadud 15 litsentsi tarkvara DIXI CAD SUN tööjaamadele 1,1 milj kr. Väärtuses; meie poolt vastu antud TURBO TESTRI tarkvara (1993-1995).
3. Manchesteri Ülikool, Inglismaa (Dr. **David Brittle**), Newcastle University (Dr. **Gordon Russell**). Eesmärk: diagnostikatarkvara Turbo Tester kasutamisvõimaluste uurimine Inglismaa ülikoolides ja edasiarendamine. (1994).
4. Michigani Ülikool, USA (Prof. **Aleksander Tetelbaum**). Koostööleping: üliõpilaste ja õppejõuduде vahetus (1994-1996).
5. Joseph Fourier Ülikool, Grenoble, Prantsusmaa (Prof. **Dominique Borionne**). Koostööleping: doktorantuuri kaasjuhendamine: juhendatavaks oli TTÜ/JFÜ doktorant Julia Dušina (1995-1999).
6. Helsinki Tehnoloogiaülikool (Prof. **Veikko Porra**) – kahe õppekursuse läbiviimine (1995-1996)
7. Dresdeni (Prof. **Rainer Spallek**) ja Darmstadti (Prof. **Manfred Glesner**) Tehnikaülikoolid, Saksamaa - doktoritööde oponeerimine (1995-1997)
8. Trondheimi Norra Teaduse ja Tehnoloogia Ülikool (Prof. **Einar Aas**) – doktoritööde oponeerimine (1995-1997)
9. Fraunhofer Gesellschaft, Institute of Integrated Circuits, Dresden, Saksamaa (Dr. **Günter Elst**). Projekt EST-008-96 „Automated Test Generation for FPGA based Designs“ (1996-1999).
10. Jonköping University, Rootsi (Prof. Bengt Magnhagen). Koostööprojekt: „Generic VHDL Descriptions for Synthesizing Embedded Test Processors“ (1996-1997).
11. Fincitec OY Finland, Soome. Koostööprojekt (Mr. **Paavo Takalo**): „Digital Encryption Standard Macroblock“ (1996).

---

[11] R. Ubar. Test Generation for Digital Systems Based on Alternative Graphs Theory. Lecture Notes in Computer Science No 852. Dependable Computing – EDCC-1. Springer-Verlag, 1994, pp.151-164.

[12] R. Ubar, A. Buldas, P. Paomets, J. Raik, V. Tulit. A PC-based CAD System for Training Digital Test. Proc. 5th EUROCHIP Workshop on VLSI Design Training. Dresden, October 17-19, 1994, pp.152-157.

[13] R. Ubar, J. Dushina, H. Krupnova, S. Storozhev, V. Zaugarov. Functional Test Program Generation for Digital Systems. Proc. of the 6. Workshop „Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen“, Vaals (Niederlande), March 6-8, pp. 14-18, 1994.

Koostöö Michigani Ülikooliga USAs algas ammuste N Liidu aegsete kontaktide elustamisest **Raimund Ubari** ja USA-sse emigreerunud ukraina teadlase **Aleksander Tetelbaumi** vahel. Tetelbaum tegutses väga aktiivselt Michigani Ülikooli tudengitele välispraktikaid organiseerides, kus praktikakohtadeks otsis eeskätt ülikoole Venemaalt ja Ukrainast. Nii jõudis ta ka Eestini, lootes, et see väike maa võiks osutuda eksootiliseks eesmärgiks USA tudengitele ja ega ta ei eksinudki. 1995. a. juunis külastaski TTÜ-d kahe nädala vältel Tetelbaumi juhtimisel umbes 20-liikmeline tudengite ja õppejõudude grupp, kelle vastuvõttu TTÜ-s organiseeris Raimund Ubar. Viimane viis läbi ka USA tudengitele ühe diagnostika-alase kursuse, mis suure huviga selle originaalsuse tõttu vastu võeti (arvutite diagnostika alaseid kursusi viidi tol ajal läbi vaid vähestes ülikoolides maailmas).

1996. aastal organiseeris Tetelbaum samalaadse vastuvõtu TTÜ delegatsioonile USA-s, võttes enda peale kohapealsed ülalpidamiskulud. USA-sse sõitis aprillis väike 6-liikmeline grupp TTÜ-st, kuhu kuulusid õppejõududest professorid Raimund Ubar (grupijuht), **Andres Öpik** ja **Karl Õiger**, elektroonika kompetentsuskeskuse juhataja asetäitja **Uno Kuuskor** ning tudengitest keskuse tublid teadurid **Jaan Raik** ja **Priidu Paomets**. Öpik ja Õiger olid oma struktuuriüksusi Tallinnas samuti ameeriklastele tutvustanud. Pärast põhjalikku terve nädala kestnud tutvumist Michigani Ülikooliga ning kahte Ubari ettekannet ülikooli kahes instituudis kasutasime võimalust ringi sõita terves reas USA idapoolsetes osariikides, mille tarvis meile laenutati ka üks 6-kohaline furgoon. Sõiduga USA-sse kaasnes veel VHDL guru prof. **Jim Armstrongi** kutsel Raimund Ubari visiit Virginia Tehnoloogia Instituuti külalisloengutele.

Aleksander Tetelbaum oli asutanud USA-s era-akadeemia, nimetusega *„Rahvusvaheline Teaduste ja Kunstide Akadeemia."* Nüüd kasutades juhust sujuvalt käima läinud koostöö ära märkimiseks, kutsus ta sellesse Akadeemiasse uute liikmetena ka kolm eesti professorit – Andres Öpiku, Karl Õigeri ja Raimund Ubari.

Kodumaised grandid ja lepingud

Euroopa projektide mõju arvutitehnika instituudi ja elektroonika kompetentsuskeskuse kui instituudi satelliit-struktuuriüksusele oli äärmiselt suur. Samal ajal konkureerisime ka „kodumaisele" toetusele, kus aastatel 1993 – 1997 võib välja tuua järgmisi riigieelarvelise finantseerimisega projekte:

1. Meetodid ja tarkvara digitaalsüsteemide diagnostikas (G-103/G-1433 Eesti Teadusfondi grant, 1993-1995.
2. TTÜ elektroonika kompetentsuskeskuse infrastruktuur (G-1434, Eesti Teadusfondi grant, 1994).
3. Andmeturve riistvara projekteerimise ja valmistamise keskkonna välja- arendamine (Leping nr.227, Informaatikafondi grant, 1994).
4. Kaasaegse elektroonika, arvutustehnika ja informatsioonitehnika vahendite disaini käivitamine Eestis (Innovatsioonifondi grant, 1994-1995).
5. Elektroonika kompetentsuskeskuse infrastruktuur elektroonika sihtprogrammi käivitamiseks (Eesti Valitsuse grant, 1994).
6. Digitaalsüsteemide diagnostilise analüüsi hierarhiliste meetodite uurimine ja väljatöötamine. (G-1778). Eesti Teadusfondi grant, 1996-1999.
7. Digitaalelektroonika nüüdisaegse projekteerimise ja teadusuuringute eksperimentaalkeskkond. (G-1779). Eesti Teadusfondi grant, 1996-1998.

Ülikoolisisesel finantseerimisel toimus uurimistöö järgmiste ülikooli grantide alusel:

1. Riigieelarveline uurimistöö LIF 1112 „Digitaalsüsteemide diagnostikameetodite väljatöötamine“ (1991-1993)
2. Riigieelarveline uurimistöö CE4062 „Elektroonikasüsteemide disaini õppeprogrammide väljatöötamine ja moderniseerimine“ (1994-1996).
3. Riigieelarveline uurimistöö LIF4061 „Hierarhiliste digitaalsüsteemide testide süntees“ (1994-1996).
4. TTÜ grant G-422 „Funktsionaalsete testide süntees digitaalsetele juhtsüsteemidele“ (1994)

Instituudi raudvara. Vasakult Sergei, Artur, Jaan, Margus (direktor) ja Maksim.

Õppetooli teadustulemustega olid otseselt seotud arendustööd diagnostikatarkvara Turbo Tester juures, kus lisati pidevalt juurde uusi funktsioone, kaasa arvatud liideste laiendamise aktsioonid rahvusvaheliste standardformaatidega (VHDL, EDIF) töötamiseks.

Tarkvara uudsuseks oli universaalne diagnostikamudel, mis võimaldas kergesti täiendada süsteemi uute tööriistadega. Nimetatud asjaolu sai määravaks ka seniste europrojektide lõppemisel uue projekti INCO-COPERNICUS JEP 9601/70 SYTIC (1996-1998) *„Promotion of System Design Training and Information Centers in CCE/NIS“* toomisel Tehnikaülikooli, mille üheks põhieesmärgiks oli õppetarkvara Turbo Tester evitamine Euroopas.

Seni oli seda tarkvara juba kasutatud edukalt nii Soomes Helsingi Tehnikaülikooli juures läbiviidud kursustel, Rootsis elektroonikainseneride täiendõppes, aga ka USA Michigani Ülikoolis.

Oma rakendustulemusi, eeskätt väljatöötatud diagnostika tarkvara osas, oleme demonstreerinud mitmetel näitustel:

1. Turbo Tester (R. Ubar, J. Raik, P. Paomets). Teadus- ja haridusmess „Innovaatika 95“, Tartu, 23.-25. märts, 1995.
2. Electronics Competence Centre (R. Ubar, K. Vainomaa), CeBIT’95, Hannover.
3. A CAD System for ASIC Test and Design (R. Ubar, J. Raik, P. Paomets). Exhibition „Search for Partners“ at the Special Session „European Cooperation in Science, technology and Education“. 1995 Workshop on „Sampling Theory and Applications“, Riga, September 19-22, 1995.
4. A CAD System for ASIC Test and Design (R. Ubar, J. Raik, P. Paomets, G.Jervan, A. Markus). CeBIT’96, Hannover.
5. Turbo Tester (R. Ubar, J. Raik, P. Paomets, G. Jervan, A.Markus). TTÜ elektroonikapäeval korraldatud näitus, 17. mai 1996.

Kui Minerva ei soosinud eesti teadust

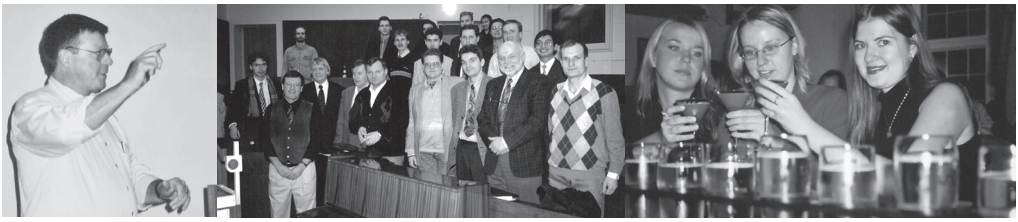
Piiride avamine Ida ja Lääne vahel avas lääne ülikoolides aktiivsete professorite silmad ja kõrvad, et ka ise nendest muutustest kasu saada. Euroopa Komisjon kuulutas piiride avanemise järgselt välja rida teaduskoostöö programme nagu PHARE, TEMPUS, COPERNICUS, PECO, INTAS ja mitmed teised, milliste raames oli lääne ülikoolidel võimalus luua projektide konsortsiume, valides endale partnereid tugevamatest Ida- ja Kesk-Euroopa ülikoolidest.

Aastad 1992-1993 olid arvutitehnika instituudile edukad ja „tõid" europrogrammide raames instituuti neli projekti. Niisuguse edu tiibadel loodi ka elektroonika kompetentsuskeskus ja algas eesti elektroonika ning arvutitehnika õppe- ja teadustöö integreerimine Euroopasse. Saime korraga väga tuntuks Läänes.

Lääne professorid hakkasid meid üksteise järel oma projektitaotlustesse partneriteks kutsuma. Läksime muidugi heal meelel selle Läänt ja Ida haaranud kullapalavikuga kaasa. Kahjuks oli edu jõudnud meile juba selja keerata. Üks põhjus oli selles, et kui nende esimeste edukate projektide puhul valmistasime taotlusi ette suure pühendumisega, hoolsalt ja projekti kogu jõudu ja hinge sisse pannes, siis nüüd selles teises ringis olime pigem „kaasajooksikud" lääne koordinaatorite amokijooksuga, kes aga ei viitsinud eriti nendesse taotlustesse pühenduda ja tegutsesid rohkem kui pühapäevakalamehed, heites õngesid huupi vette lootuses, et ehk näkkab.

Aasta 1994. Eriti drastiline oli just see aasta meie jaoks, kus osalesime tervelt kuues taotluses, aga mitte ühtegi neist ei aktsepteeritud:

1. Taotleja: Universität Gesamthochschule Siegen **(H.-J. Wunderlich**). Projekt „Multi-design of high quality testable digital systems".
2. Taotleja: Leeds Metropolitan University (**R. Marsh**). Projekt „Affordable PC based tools for the design for Manufacture of Integrated Circuits".
3. Taotleja: Politecnico di Torino (**P. Prinetto**). See oli süsteemide veakindluse alane projekt. Taotluse hinne oli 4 (väga hea), aga kogu rahasummat oli COPERNICUS programmile vähendatud ja nii meie jaoks toetust enam ei jätkunud. Osa finantse oli sellest programmist antud üle uuele programmile PECO, mille jaoks algselt polnud raha planeeritud. Kõigist projektitaotlustest sai COPERNICUS-es ainult 10% finantseeritud.
4. Taotleja: INESC Portugal (**J.M. Ferreira**). Projekt HILTON. Sellesse projekti püüdsime haarata ülemaailmselt väga tuntud ja mainekat teadlast-konsultanti **Ben Bennetts**'it, kes aga oma suures ajapuuduses siiski meiega kaasa ei tulnud. Küll tuli ta hiljem koguni kolmel korral Eestisse oma diagnostikakursust läbi viima (aastatel 1999, 2003, 2006), mis olid muidugi väga kallid – kolmepäevane loengutesari nõudis meie rahakotist *ca* 3000 eurot.



Ben Bennetsi külalisloengud Tallinna Tehnikaülikoolis. Auditoorium oli rahvusvaheline: oli eestlasi, venelasi, poolakaid, tshehhe, slovakke... Õhtul pärast loengut Olde Hansas tellisid meie kolm magistranti Julia, Natasha ja Tanja külalisele „ühe meetri" õlut.

5. Taotleja: Impetus International S. A. (**Y. Gierahn**). Projekt *„KORIN – Knowledge based Object Oriented Tool kit for CIM in SME-s"*. Taotlejaks oli vahendusfirama, kes vahendas teadlasi ja Brüsseli „kontorit", korraldades ja aidates kaasa projektitaotluste kirjutamisel. Neil oli seekord olnud tules koguni 7 taotlust, millistest aga vaid 1 oli saanud rohelise tule. Tegelikult 1/7 ei olnudki halb tulemus, arvestades, et 1/10 projekte finantseeriti. Teisest küljest aga 7 taotluse esitamine võis tähendada üksnes masinlikku konveierit, aga mitte kogu hinge ja südamevalu projekti panemist.
6. Taotleja: German National Center for Computer Science – GMD (**K. Grosspietsch**). Kaotus olevat olnud napp, ei pääsenud üle noa tera selle 10% hulka.

Samal ajal säilis selle viimase projektijuhi soov leida siiski mingeid muid võimalusi projekti finantseerimiseks, arvestades ka seda, et Ida-Euroopa maid oli lubatud juba ka osaleda IV Raamprogrammis, küll ilma finantstoetuseta. Peeti silmas kahte võimalust finantside saamiseks: (1) leida vahendeid (nt kaasfinantseerimist) rahvuslikest fondidest

(Eestis aga niisugust mehanismi ei tuntud) või (2) loota mingile Brüsseli lubadusele nihutada osa programmi PHARE rahasid CEE maade toetamiseks IV Raamprogrammis. Kuid ka see variant ei läinud tööle.

Nii leiti selle taotluse juhtide poolt täiesti uus, päris „erandlik" meetod – alltöövõtulepingu võimalus. See aga tähendas, et lääne partnerid pidid osa omaenda jooksva projekti rahadest välja valitud ida partnerile lihtsalt ära loovutama. Niisugune tegu võis sündida väga läbimõeldult ja eeldas muidugi ida-partneri teadustaseme tunnustamist ja suurt usaldust.

Mõned kuud hiljem kutsus GMD (prof. **Heinrich Theodor Vierhaus**) **Raimund Ubarit** Eestist ja **Elena Gramatovat** Slovakkiast oma parajasti alanud uude Lääne-Euroopa Raamprogrammi projekti ESPRIT III BRA-6575 ATSEC. Olgu märgitud, et sellised Ida-Euroopa maade osalemised Raamprogrammis olid õige harvad.

Aasta 1995.

- TEMPUS SJEP taotlus: *„Education Environment for Dependable Microsystem Design"*. Koordinaatoriks oli **Toomas Rang**, partneriteks aga Saarlandi Ülikool (**A. Blum**), Kieli Polütehnikum (**H. G. Heuck**), Firenze Ülikool (**A. Liberatore**), Delfi Tehnoloogiaülikool (**S. Midelhoeck**), Newcastle'i Ülikool (**G. Russell**), Porto Ülikool (**J. Ferreira**). Kahe viimasega olime proovinud edutult õnne eelmisel aastal. TTÜ poolt oli selles taotluses kaks partnerit: elektroonika instituut (**T. Rang**) ja elektroonika kompetentsuskeskus (**R. Ubar**).

Projekt lükati Brüsselist vahepeal Torinosse kolinud TEMPUSE keskuse poolt tagasi. Eesti partnerluses aktsepteeriti sel aastal vaid kolme projekti ja kõik need olid vaid humanitaaria ja sotsiaalteaduste valdkondadest. Hiljem selgus, et taotluse tagasi lükkamise initsiaatoriks oli siin olnud Eesti Haridusministeerium (!), kes oli Torinole andnud prioriteetsete valdkondade näol selged juhised. Nendeks kolmeks eelisvaldkonnaks olid: (1) õppevahendite komputeriseerimine ja rahvusvahelise koostöö võrgud, (2) õpetamismeetodid ja õppekavade väljatöötamine ning (3) koostöö tugevdamine ülikooli ja tööstuse vahel. Samuti anti eelistused projektidele, mis taotlesid koostööd eesti ülikoolide vahel.

See oli 90-ndate esimese poole Eesti riigi poliitika – toetada rahvuslikke pehmeid valdkondi, aga mitte inseneeriat. Lisaks sellele, et elektroonika ei olnud Eesti prioriteet, siis ei olnud meil ka mingit võimalust arendada koostööd teiste eesti ülikoolidega (ühistaotluse esitamiseks), sest elektroonikat õpetati ju ainult TTÜ-s ja ka koostöö tööstusega polnud võimalik, sest kõrgtehnoloogiline tööstus meil hoopiski puudus. Inetu oli loomulikult see, et me ei teadnud nendest Eesti prioriteetide sõnastustest mitte midagi. Sest kahjuks määrab projektikonkurssidel edu mitte sisu, vaid vorm, ehk siis see, kuidas taotluse sõnastus ühtib prioriteetide sõnastusega.

Võrdluseks oleks markantne esile tuua Läti Valitsuse poolt seatud TEMPUS-e prioriteedid: (1) siduda õppetöö teadusuuringutega, (2) arendada õppekavasid, mis oleksid orienteeritud kaasaegsele tööturule ja (3) toetada tehnilisi valdkondi. Kõik need kolm prioriteeti oleksid tabanud kui silmaauku arvutitehnika instituudi õppe- ja teadustegevust. Aga ATI ei asunud Lätis.

Ka Leedu pidas oma prioriteetidega silmas eelkõige kaasaegsete tööturgude vajadusi, aga ka täiendõpet, tudengite mobiilsust ja teaduslikele infobaasidele ligipääsu toetamist. Ei kumbki riik pidanud vajalikuks rõhutada eriliselt humanitaaria ja sotsiaalteaduste prioriteetset toetamist. Tähtsamaks peeti kõrghariduse parandamist majanduse arengu nõudeid silmas pidades.

- TEMPUS-JEP „Distance Education“. Initsiaator: Heriot-Watt University **(I. Grant)**. Eesmärk oli küllaltki ambitsioonikas, laia haardega ja väga huvitav meile: moderniseerida inseneriõpetust Balti riikide ülikoolides vastavuses kohaliku tööstusega, juurutades kaasaegseid multimeedia õppevahendeid virtuaalse õppekeskkonna loomise näol. See oli paralleelne ettevõtmine meie oma taotlusega, see pidas silmas Balti riikidele toetuvat rahvusvahelist koostöövõrku, samuti just kohalikku tööstust, olgu peale, et tagasihoidlikku alltöövõtule põhinevat. Pealegi olid meil head eeldused selles projektis edukalt osalemiseks, meil olid kogemused arvutipõhisel õppetööl **Vello Kuke** poolt väljatöötatud õpitarkvara ja meie oma Turbo Testri tarkvaratööriistade näol.
  Projektitaotluse ettevalmistamist koordineeris meie poolt **Kaido Vainomaa** ja selles osalesid aktiivselt nii Vello Kukk automaatika instituudist kui ka **Mart Min** ja **Toomas Rang** elektroonika instituudist. Kahjuks oli ka see ettevõtmine läbikukkumisele määratud, kuna siin tahtsid koordinaatoriteks olla teised, mis viis fookuse ähmastumisele ja eesmärgiks oli taas insenerivaldkond ning mitte humanitaaria või sotsiaalteadused, mis olid Eesti riigi prioriteedid.

Aasta 1996.

EUROEAST. Koordinaatoriks oli taas GMD (**A. W. Kaesser**). Plaaniti laiendada eksisteerivat EUROEAST projekti uute CEE partneritega, et toetada kiipide disaini, disainitarkvara hooldust, treeningukursuste läbiviimist ja iga-aastaseid konverentse, nii nagu neid EUROCHIP oli aastatel 1992 – 1995 pidevalt läbi viinud. Vaagiti mitut võimalust: *network of excellences*, *uue tehnoloogia demonstreerimine* või (regionaalsele ehk regioonidevahelisele) *koostööle panustamine*. Meie olime atraktiivsed selle konsortsiumi jaoks kahe aspektiga: meil oli olemas elektroonika kompetentsikeskus kui eesmärkidele täpselt vastav institutsionaalne üksus ja meil oli olemas originaalne Turbo Testri keskkond treeningkursuste läbiviimiseks, mille taoline Euroopas puudus.

Ehkki sellest projektist algsel kujul asja ei saanud, tuli selle taotluse väljatöötamine kasuks taotluse edasisel arendamisel ning lihvimisel – projekti SYTIC ettevalmistamisel, mida järgmisel aastal saatis edu.

Elektroonika kompetentsuskeskus

Uued tendentsid Euroopas

Samal ajal kui Eestis toimus kõrghariduse üldine terviklik reform, toimus ka Euroopas rida murrangulisi muutusi ülikooliõppe parandamise suunas, eeskätt elektroonika valdkonnas. Otsiti teid, kuidas ülikoolid suudaksid paremini rahuldada tööstuse vajadusi. Üheks Läänes levima hakanud trendiks oli elektroonika kompetentsuskeskuste loomine. Kui Tehnikaülikoolis toimus arvutuskeskuse reorganiseerimine *detsentraliseerimise* suunas, siis elektroonikadisaini õpetamisel hakati Euroopas ülikoolide juurde looma just vastupidi, spetsialiseeritud disainikeskusi. Neisse koondati väga kallid professionaalsed disaini riist- ja tarkvaralised vahendid, mida üksikud õppetoolid või instituudid ülikoolides poleks endale eraldi suutnud hankida.

Elektroonika tähendas kitsas mõttes seda, mida ta kogu aeg oli tähendanud, aga laias mõttes hõivas „oma tiiva alla“ nii analoog- kui digitaaltehnika, nii arvutite riist- kui tarkvara. Ühe tänapäevase *elektroonikasüsteemi* loomine eeldas seega komplekseid teadmisi paljudest valdkondadest. Niisuguste uute *elektroonikakeskuste* tekkimine Euroopas kandiski endas missioonilaadset eesmärki – ühendada kompetentsust eri valdkondadest, kallihinnalisi projekteerimisvahendeid, ühendada ühest küljest ülikoolides eri instituute ja erialasid ning teisest küljest, ülikooli ja tööstust.

Keskuse termin oli kujunemas Euroopas mitte ainult moesõnaks, vaid ka sisulise tähenduse kandjaks, millel oli kaalu näiteks eurotoetuste hankimisel nii teadustöö kui õppetöö edendamiseks ülikoolides.

Taolise institutsiooni loomise vajadust Eestis dikteeris, ühest küljest, elektroonika kui infotehnoloogia baasi muutumine üheks prioriteetsemaks valdkonnaks maailmas (elektroonikatoodete rahaline käive moodustas juba 90-ndatel rohkem kui 10% maailma koguproduktist) ja teisest küljest, Eestis tekkinud siseriiklik majandusolukord. Konkurentsivõimelise elektroonikapõhise ettevõtluse ja vastava väljaõppe käivitamine vajab tänapäeval väga kalleid vahendeid (eeskätt projekteerimise riist- ja tarkvara), mille hankimiseks ei väike-ettevõtted ega ka ülikooli õppetoolid pole üksikult võimelised. Väljapääsuks oli keskuste loomine, kuhu koonduksid kõrge maksumusega riist- ja tarkvara ühiskasutuse eesmärgil.

Keskus TTÜ juurde

Niisuguse keskuse loomist TTÜ-s soodustasid arvutitehnika ja -diagnostika õppetooli rahvusvahelised teaduskontaktid ja osalemine EL koostööprogrammides TEMPUS, COPERNICUS, PECO, ESPRIT, EUROCHIP ja EUROPRACTICE.

1993. aasta alguseks oli arvutitehnika instituuti õnnestunud saada kolm europrojekti, mis osutusid üldse esimesteks taolisteks TTÜ automaatikateaduskonnas. Nendeks olid *„PLD[14] laboratoorium“* (TEMPUS), *„EEMCN[15] – Ida-Euroopa Spetsialiseeritud Mikroelektroonika Kompetentsuskeskuste Koostöövõrk“* (COPERNICUS/PECO) ja *„FUTEG – Funktsionaalsete Testide Genereerimine ja Diagnostika“* (COPERNICUS).

Projektide Eesti-poolseks koordinaatoriks oli arvutitehnika instituut ja **Raimund Ubar**. Eurokonkursside võitmise teel instituuti toodud grandid ja projektide rahalised vahendid võimaldasid hakata mõtlema laiemas kontekstis, kui ainult ühe õppetooli spetsiifilise teaduslabori sisustamine.

Euroopa programmidega koordineeritud ühisprojektides võrdse partnerina osalemise tingimuseks oli professionaalse elektroonika-alase arvutiprojekteerimise töövahendite keskkonna välja arendamine.

> Arvestades infotehnoloogia prioriteetsust Eesti majandusarengule tekkiski idee luua ülikoolis uus allüksus – *elektroonika kompetentsuskeskus* (EKK), mis ühendaks, ühest küljest, moodsaid elektroonika disainisüsteeme („sisseehitatud“ tehiskompetentsust riist- ja tarkvarana realiseeritud algoritmide näol) ja teisest küljest oskajaid ja teadjaid inimesi – infotehnoloogia riistvara õpetavate õppejõudude näol (ehk siis *kompetentsust traditsioonilises mõttes*).

Lisaks öeldule oli oluliseks faktoriks ka kahes europrojektis TEMPUS ja EEMCN selgelt formuleeritud eesmärk luua TTÜ juurde kompetentsuskeskus, mille profiiliks oleks digitaalelektroonika projekteerimine (disain) ja diagnostika. Ka hiljuti käivitunud Rootsi-Eesti ühisprojekti ESTPID üheks eesmärgiks oli taolise virtuaalse kompetentsuskeskuse ülesehitamine TTÜ kampusesse.

Nii idaneski aeglaselt sellise keskuse kui institutsiooni loomise idee ja 1993. aasta lõpupäevadel asutatigi TTÜ automaatikateaduskonda rektori alluvusse uus struktuuriüksus – *elektroonika kompetentsuskeskus*.

---

[14] PLD – *Programmable Logic Devices* (Programmeeritavad loogikaseadmed).

[15] EEMCN – *Eeast European Microelectronics Cooperation Network of Support and Competence Centres.*

Elektroonika Kompetentsuskeskuse avamine. Paremal: elektroonika kompetentsuskeskuse (EKK) tuumikgrupp. Vasakult: Marge, Enn, Katti, Uno, Kaido, Raimund ja Triinu.

Keskus loodi 16.11.93. TTÜ nõukogu otsusega nr.11 endise arvutussaali baasil. Nõukogu otsus kinnitati rektori 25.11.93. käskkirjaga nr. 1607/k, mille alusel keskus alustas oma põhikirjajärgset tegevust alates 01.12.93. Tulenevalt oma ülesannetest kujunes keskuse isikkoosseis asutamishetkel järgmiseks: juhataja (mittekoosseisuline ametikoht), juhataja asetäitja, sekretär, vanemteadur, 4 inseneri ja 2 tehnikut. Kõigile nimetatud ametikohtadele oli tagatud riigieelarveline finantseerimine. Keskuse varadeks said asutamise hetkel endise arvutisaali varad, mis kokku moodustasid 533 946 kr. suuruse summa.

Isikukoosseisu kuulusid: **Raimund Ubar** – juhataja; **Uno Kuuskor** – juhataja asetäitja; **Triinu Jürves** – sekretär; **Kaido Vainomaa** – teadur, projektijuht; **Enn Rebane** – insener, laborijuhataja; kaks inseneri **Marge Vahtra** ja **Marek Mandre**; kaks tehnikut **Irja Tobias** ja **Katti Ljashevitsh** ning lepingulised teadurid **Gert Jervan**, **Antti Markus**, **Härmo Tellas** ja **Viljar Tulit**.

Struktuurilt kujunes keskus esialgu ühetasemeliseks, koosnedes juhtkonnast ja õppeklasside kompleksi juurde kuuluvast tehnilisest teenistusest. Sellist ülesehitust sai vaadelda vaid esialgsena, kuna põhikirjajärgse tegevuse täiemahuline alustamine oli inimressursside vähesuse tõttu raskendatud. Probleemi aitas lahendada ülikoolisisene assotsieerumine teiste struktuuriüksustega.

Ilus poisslapse nimi

Miks aga siiski selline nimetus – „elektroonika kompetentsuskeskus“? Kui „elektroonika“, kas siis poleks piisanud juba olemasolevast elektroonikainstituudist? Ja kas sõna „kompetentsus“ rõhutamine nimes ei tähendanud liigset arrogantsust? Pealegi, miks üldse keskus, aga mitte lihtsalt labor?

Keskuse idee tekkimisel lähtusime terminist *elektroonika* selle laiemas tähenduses – kui tähtsaim *materjal*, millele rajaneb tänapäevane innovatsioon. Ühelt poolt võis elektroonika tähendada mingit vidinat, teiselt poolt aga võis elektroonika peituda mingisse vahendisse, mida kasutasid inimesed, kellel aimugi pole sellest, mis asi üldse on elektroonika. Kogu elu liikus suunas, kus vältimatuks „elujõuallikaks“ oli elektroonika.

Elektroonikast „elujõuallikana“ teel tehisintelligentsi valdkonda on saanud erinevate kompetentside ühendaja. Kui elektroonikainsenerid loovad elektroonika komponente, siis arvutite riistvarainsenerid loovad komponentidest struktuure ja arhitektuure, millest omakorda tarkvarainsenerid loovad tehisintelligentsi, mida omakorda kõik ülejäänud inimesed kasutavad oma võimekuse suurendamiseks ükskõik mis eluvaldkonnas. Inimese võimekuse lahutamatuks osaks on tänapäeval niisiis elektroonika.

Diagnostik Priidu Paomets (vasakul) ja disainer Jüri Põldre (paremal)

Elektroonikast alustame ja tehisintelligentsusesse jõuame, aga mõjud selles ahelas on kahesuunalised. Elektroonikutele öeldakse arvutiinseneride poolt, milliseid komponente oleks kasulik omada ja teiselt poolt, tarkvarainsenerid soovitavad riistvarainseneridele, milliseid arhitektuure oleks sobivam luua. Selline kahesuunaline soovide ja tegude ahel toimib hästi siis, kui selles ahelas üksteisega rääkijad kasutavad keeli, millest mõlemad pooled hästi aru saavad.

Uue keskuse missiooniks ja „suureks ideeks" saigi luua niisugune keskkond, kus selline erinevatel kompetentsidel põhinev soovide ja tegude ahel oleks saanud toimida. Ühendavaks niidiks selles ahelas tundus olevat just elektroonika disain.[16] Disainitakse nii skeeme (komponentidest koosnevat riistvara) kui ka süsteeme (riist- ja tarkvara ühtse tervikuna).

Kui traditsiooniliselt on arvutiga suhtlemise oskust nimetatud „teiseks kirjaoskuseks", siis kasutas kord prof. **Vello Kukk** automaatikainstituudist mõistet „kolmas kirjaoskus" – võimet arvuti abil tehismaailma luua. Disainimise oskus olekski niisugune **kolmas kirjaoskus**.

Mõistsime, et elektroonika disain võiks olla Eesti majanduse šanss. Just disain, head haridust ja palju teadmisi nõudev intellektuaalne töö on kallis – töö, mis loob lisandväärtust, mitte masstootmine. Spetsialistid on kallid, mitte töölised. Tee Aasia industriaalriikide majandustasemele Eesti tingimustes võikski käia läbi disaini, mitte aga investeerimismahukate tootmisliinide. Oskus disainida tähendab aga kompetentsust – kompetentsus toob investeeringuid, loob uue tööstuse, uued töökohad ja ekspordivõimelise produktsiooni. Niiviisi unistasime, luues elektroonika kompetentsuskeskust.

Meil oli viie instituudiga automaatikateaduskond, mis koondas ühiseks pereks just sellist kompetentsust, millest oli jutt. Tegusa innovatsiooni tingimuseks on kõrgharidus. Haridus tänapäeva elektroonikas on aga kallis, tema vältimatuks komponendiks elektroonikas on sinasõprus professionaalsete disainivahenditega. Ülikooli allüksustele (õppetoolidele, laboritele, instituutidele) eraldi poleks võimalik eraldada piisavalt eelarvet ülikalli disainiga seotud riist- ja tarkvara soetamiseks.

Lahenduseks oleks vahendite koondamine vastavasse interdistsiplinaarsesse „keskusesse", vältimaks dubleerimist ja võimaldamaks kallite vahendite optimaalset kasutamist ning hooldamist. Selline keskus tähendaks ka vaheseinte kadumist omavahel konkureerivate instituutide vahel, stimuleerides interdistsiplinaarseid teadusuuringuid, tihedamat kommunikatsiooni ja ühist õppetööd eraldi seisvate struktuuriüksuste vahel.

16 *Disain* tähendab otsetõlget inglise keelsest sõnale *design*, mida elektroonika valdkonnas mõistetakse ka kui *projekteerimine* (ehk projekt lõpptulemusena).

Ülikooli ülesanne ei ole ainult tegelda üliõpilaste ja õppejõududega. Sama oluline oleks lähtuda õpetamise eesmärgist – niisuguse keskkonna olemasolust, kuhu satuvad tööle värsked diplomiomanikud ja oskusest selles keskkonnas töötada. Eesti tingimustes tuleks niisuguse keskkonnana vaadelda elektroonika-alast väikeettevõtlust.

Konkurentsivõime üks tingimusi on professionaalse varustuse olemasolu, mille hankimiseks ja hooldamiseks väikestel ettevõtetel pole sageli kõrge hinna tõttu jõudu. Ettevõtlust elektroonika valdkonnas võimaldaksid edendada keskused – vahendajad ülikoolide ja ettevõtete vahel, kes korraldaksid täiendõpet, teabe- ja tehnoloogiasiiret ning kes toetaksid oma vahenditega projekteerimistegevust ettevõtetes. Täiendõppe tähtsus kasvab kiirete muutuste tõttu tehnoloogias ja teabes.

Analoogsed keskused – ülikoolide ja tööstuse vahelülid – olid saanud tavapraktikaks Lääne Euroopa riikides. Prantsusmaal oli 90-ndate algul 11 ülikoolide-vahelist elektroonikakeskust, mida toetati ja varustati moodsaimate vahenditega. EKK asutamine TTÜ juures tähendas progressiivset sammu Lääne mallide mõistes. See tähendas ka süvenevat koostööd Läänega, abi ja toetuse saamist tulevikus.

Aga miks „kompetentsuskeskus" ja mitte lihtsalt keskus?

Kompetentsus tuleb läbi hariduse. Haridus elektroonikas on aga kallis, eeskätt vajaduse tõttu õppida *„elektroonilist kolmandat kirjaoskust"*, mille omandamise eelduseks nagu iga muugi keele puhul on suhtlemine vastavas keskkonnas. „Kompetentsus" keskuse nimes ei vihja pretensioonikusele, tal on tähendus, mis hõlmab kahte aspekti – teadjaid ja oskajaid inimesi ühelt poolt, ja nn. „tehiskompetentsust" arvutitarkvara näol keerulise inseneritöö automatiseerimiseks teiselt poolt. Keskus oli see, kes koondas endasse eeskätt tehiskompetentsuse, kusjuures kompetentsuse teine pool pidi välja kujunema keskust kasutavate õppejõudude, üliõpilaste ja teaduride kaudu, mitte üksnes ülikooli ulatuses, vaid ka tootvast tööstusest insenere kaasates.

Kompetentsuse **rekursiivseks definitsiooniks** võiks olla: oskajad inimesed pluss nende kasutada olev oskustarkvara (tehiskompetentsus), mille on samuti loonud oskajad inimesed. Seega kompetentsus on rekursiivselt generatiivne – loov ja ennast taastootev.

Nii nagu teise kirjaoskuse tekkimine oli kunagi viinud arvutuskeskuste levimisele, nii nõudis vähemalt esialgu kolmanda kirjaoskuse vajadus taoliste kompetentsuskeskuste tekkimist.

Ülikool on see keskkond, kus koonduvad teaduslikkus ja interdistsiplinaarsus. Aga elektroonika disain, ongi ühelt poolt oma keerukuse tõttu enamasti teaduslik uurimistöö ja, teiselt poolt oma pideva laieneva levi tõttu eri valdkondadesse ka interdistsiplinaarne.

Keskuse kujunemise ajaloost

Elektroonika kompetentsuskeskuse rajamise mõtet oli veeretatud juba ligemale kaks aastat. Seda mõtet teenis ka Rootsi-Eesti ühisprogramm ESTPID, mille initsiaatoriteks olid prof. **Mart Min**, EKTA teadusjuht **Harry Tani** ja **Raimund Ubar**. Programmi raames õnnestus küll Eestisse tuua teatavat elektroonika-alast kompetentsust 15 Rootsis käinud TTÜ ja väikeettevõtete stipendiaadi näol, aga ressursside puudumisel planeeritud keskust ennast struktuuriüksusena veel luua ei õnnestunud. Tõsi küll, õhulisena ja kehatuna (*virtuaalsena*) see keskus isegi eksisteeris: saatis stipendiaate Eestist Rootsi õppima, koostas ülevaate Eesti

elektroonikatööstuse hetkeseisust ning arenguvõimekusest, *rajas teabebaasi eksisteerivast erialasest kompetentsusest*, andis välja kaks elektroonika ajalehe numbrit, esimese strateegilistel eesmärkidel inglise keeles, millel olid juba Lääne-Euroopast ka tellijad olemas jne. Seejuures mahutas Rootsi riik projekti tohkem kui pool miljonit rootsi krooni.

Väga optimistlikult ja tegevusrohkelt alanud programm jäi kahjuks finantsraskuste tõttu pooleli. Programmi eesmärgid ei olnud ka väga selgelt määratletud ja nendeni jõudmise võimalused piisavalt läbi mõeldud. Tegevus kujunes pigem stiihiliselt ja suurel määral rootslaste dirigeerimisel.

Rootsi poole üks eesmärk oli arvatavasti teha luuret elektroonika taseme kindlaksmääramiseks Eestis ja *välja selgitada spetsialistid ning ettevõtted, kellega tasuks koostööd alustada*. Selle koostöö vahendamise oleks võinud võtta enda kanda loomisel olev virtuaalne *ESTPID programmi kompetentsikeskus*. Oli aga selge, et ressursside puudumise tõttu polekski see keskus suutnud esialgu enesele võtta muid funktsioone kui rootsi ettevõtete ja eesti tööjõu vahendamise. Sellest oleks kindlasti väheks jäänud ja seetõttu tõsiste plaanidega keskuse institutsiooni loomise eesmärgil tegelema ei hakatudki. Kahe Tallinnas korraldatud seminar-konverentsi põhjal tundus, et ka eesti insenerkond ei looda eriti taolise keskuse loomise edusse.

Probleemiga tegeldi *„ülalt alla"* soovmeetodil, kuid tegevusi planeeriti, omamata seejuures reaalset materiaalset baasi. Ilmselt oleks pidanud lähtuma vastupidisest – alustama *„tehiskompetentsuse"* kujundamisest (minimaalse baasi loomisest) *„alt üles"* ja sellele toetumisest ning alles seejärel nn. *„jo-jo"* (*„kohtume keskel"*) meetodil jätkama ühtaegu nii baasi loomist kui ka sellele toetuva kontseptsiooni ja tegevusplaani kujundamist. Hetk ei olnud selleks aga veel küps – baasi ei olnud, finantse samuti mitte.

Aastatel 1992-1993 oli arvutitehnika instituudis viljeldav elektroonika alane uurimistöö saavutanud märkimisväärse rahvusvahelise prestiiži ja sel alusel ka finantseerimise kolme rahvusvahelise osalusega Euroopa ühisprojekti (TEMPUS, PECO ja COPERNICUS) baasil.

Lisaks sellele valiti TTÜ 1993. aastal ühena vähestest Ida- ja Kesk-Euroopa riikide ülikoolidest assotsiatsiooni **EUROCHIP**. See andis meie ülikoolile suuri privileege Lääne-Euroopa uusimast tehnoloogiast osasaamiseks. Näitena võib tuua kasvõi seda, et EUROCHIP'i litsents võimaldab sadu tuhandeid dollareid maksvat professionaalset tarkvara muretseda 10 korda odavamalt, rääkimata soodustustest ligipääsuks L.-Euroopa tehnoloogiale Eestis disainitud mikroskeemide valmistamise puhul.

Elektroonika kompetentsuskeskuses realiseerus kahe projekti sünergia: TEMPUS ja EUROCHIP. Keskuse initsiaatorid Manfred Glesner (Darmstadt) ja Raimund Ubar.

ATI-s on tehtud ettevalmistusi ühinemiseks ESPRIT, ERASMUS ja COMETT programmidega. Otsekontaktid EÜ Komisjoni Direktoraadi tasemel on andnud lootust Eesti elektroonika-alasele tegevusele saada täiendavat toetust.

Raimund Ubari juhtimisel välja töötatud diagnostikatarkvara kasutatakse Rootsis inseneride täiendõppekursustel, on avaldatud soovi juurutada seda ka Inglismaa ülikoolides (**David Brittle** Manchesteri Ülikoolist, **Gordon Russell** Newcastle'ist). Koostöös Rootsi

firmaga DIGSIM (**Bengt Magnhagen**) on vastastikku vahetatud oma tööprodukte, mille tulemusena on ATI-s juurutatud digitaalskeemide masinprojekteerimissüsteem DIXIcad maksumusega üle miljoni krooni.

Loetletud projektide toel muretseti ainuüksi 1993. aastal ülikoolile riist- ja tarkvara 3,5 miljoni krooni väärtuses ja võimaldati 13-le õppejõule ning teadurile väljaõpet Lääne-Euroopa riikides.

Elektroonika instituut on teinud perspektiivset ühistööd Müncheni Tehnikaülikooliga ja Müncheni Bundeswehri Ülikooliga elektronmõõtetehnika ja automatiseerimise valdkonnas (**Mart Min**). Uppsala Tehnikaülikooliga on alustatud koostööd pooljuhtelektroonika alal (**Enn Velmre**). Analoogdisainis oldi koostöös firmadega Fincitec OY, Intergraph Finland OY, Aspocomp OY Soomes (**Vello Kukk**).

Eespool mainitu oli vaid osa TTÜ automaatikateaduskonnas olemasolevast reaalsest potentsiaalist ja võimalustest, millele võis rajada aktiivselt tegutseva elektroonika kompetentsuskeskuse.

Lähtehetkel tugines keskuse töö järgmistele struktuuriüksustele: TEMPUS-programmi vahenditega hiljuti rajatud programmeeritava loogika disaini (PLD) laboratoorium ATI juures (1994. a. alguse seisuga 5 arvutit IBM 486 võrgus ja SUN IPX nii tööjaama kui serverina) ning arvutuskeskuse juurde kuulunud väikearvutite klass (15 tööjaama SUN 3/50). Lisaks teabeüksus, mis koondas andmepanga Eesti väikeettevõtete kohta, raamatud, ajakirjad, manuaalid ning mis korraldaks õppematerjalide tootmist.

Väikearvutite klassi lülitamist keskusesse mõjutasid konkreetne **keskuse arengukontseptsioon** ja strateegia. Nimelt võimaldavad EUROCHIP'i liikmeksolek ja sellest tulenevad fantastilised soodustused juba käesoleval aastal ainuüksi projekti TEMPUS JEP 4772 vahendite abil moderniseerida seda klassi SPARC tööjaamade tasemele ja varustada teda professionaalsete raalprojekteerimissüsteemidega SOLO, CADENCE, SYNOPSYS, HILO jt. Nende vahendite abil õnnestuks nii ülikooliõpe kui ka tegevinseneride täiendõpe käivitada vähemalt 10 töökoha tasemel, mis teeks meie elektroonikud-disainerid konkurentsivõimeliseks maailmaturul. See oleks ka väärtuslik vastus humanitaarabile mida TTÜ sai Lundi Ülikooli tudengitelt nimetatud klassi senise arvutipargi täielikul väljavahetamisel SUN-1 ja SUN-2 tööjaamadega 1991. aastal.

Keskuse strateegia mõte seisnes Euroopast saadud **finantside 20-kordistamises**, suunates neid eeskätt tarkvaraostuks koos EUROCHIP soodustustega. Ilma arvutiklassi võimalusi kasutamata poleks Euroopa vahenditest jätkunud 10-kohalise disainiklassi loomiseks. Alternatiiviks oleks sel juhul jäänud varustada ainult ühte väikest uurimisgruppi esmaklassiliste töövahenditega, mis arengupoliitilises mõttes õppetööd ja täiendõpet silmas pidades oleks olnud muidugi äärmiselt vale samm.

TEMPUS-e PLD laborit arvutitehnika instituudi juures oli samuti plaanis laiendada 10 tööjaamani, et käivitada õpet ja projekteerimistegevust tarbija poolt programmeeritavate mikroskeemide (FPGA, FPLD, PLD) baasil. Esialgu orienteeruti tarkvarale firmadest XILINX (programmeeritava loogika disain), SYNOPSYS (kõrgtaseme digitaaldisain) ja elementbaaside vahelist migratsiooni toetavale tarkvarale ASYL. Viimane õnnestus saada tänu puhtisiklikele kontaktidele Grenoble'i teaduslaboris TIMA (**Bernard Courtois**) ja Grenoble'i Polütehnilises Instituudis (**Gabrielle Saucier**).

Programmeeritava loogika kasutamine oli Eesti elektroonikatööstuse hetkeseisu juures eriti perspektiivne. Selle eelised olid: sõltumatus kallist kiipide valmistamise tehnoloo-

giast, madal projekteerimise hind, idee kiire realiseerimise võimalus reaalseks tooteks, väike investeerimisrisk, kerge modifitseerimise võimalus ja loomulikult ka idee salajas hoidmise võimalus (mikroskeemi sisu õnnestub salastada paremini kui arvutiprogrammide sisu).

Tegevuskava ja infrastruktuur

Keskuse tegevus oli planeeritud katma niisugusi tegevusvaldkondi nagu elektroonikavahendite disain, mõõte-elektroonikaseadmed ja -süsteemid, telekommunikatsiooni riist- ja tarkvara ning pooljuhtmaterjalid ja –tehnoloogia. Siia kuulusid samuti mehatroonika, tarkvaradisain, eriti aga moodne riist- ning tarkvara koosdisain (*co-design*).

Neis valdkondades oli ette nähtud koolitus ja täiendkoolitus, uute kursuste väljatöötamine, kirjanduse ja õppematerjalide hankimine, õppematerjalide tootmine, andmebaasi (tööstus + teadus) loomine ja haldamine, side ettevõtetega (tehnoloogia ja teabesiire väikeettevõtlusse), turukonjunktuuri uurimine riigisiseste ja rahvusvaheliste uurimus ja koolitusprojektide käivitamine ning nendes osalemine, täitjate leidmine projektide elliviimiseks, konsultatsioonid, kontseptuaalsed uuringud, professionaalse ajalehe „Elektroonikaleht“ kirjastamine, väliskontaktide arendamine jms.

EKK juhataja Raimund Ubar keskuse tegevuskava tutvustamas. Paremal: Jaan Raik EKK infrastruktuurist ülevaadet andmas.

Keskuse töö hakkas realiseeruma assotsieerumislepingute põhiselt ja vastavate projektide kaudu. Vastastikkuse huvi korral võisid õppetoolid või instituudid assotsieeruda keskusega, ühendades oma erialase kompetentsuse keskuse „tehiskompetentsusega“, kusjuures lepingus fikseeriti vastastikkused kohustused. Keskuse vahendite kasutamise õigusega kaasnes assotsieerunud liikme (õppetooli) kohustus välja töötada või arendada mingit ajakohastatud õppeprogrammi, laborikursust või produtseerida uut õppematerjali, viia läbi ülikooli- või täiendõppekursusi. Nimetatud kohustus vormistati projektina.

Assotsieerumislepingute kaudu keskus sisuliselt laienes ja üldjuhul kujutas endast dünaamiliselt muutuvat struktuuri. Esimestena assotsieerusid: analoogdisaini labor (**Vello Kukk**), digitaaldisaini labor (**Andres Keevallik**), mõõtelabor (**Mart Min**), diagnostikalabor (**Raimund Ubar**). Nendes laborites toimus teadus- ja arendustöö ning uute õppeprogrammide katsetamine ja väljatöötamine. Ühisprojektide täitmiseks oli võimalik luua ka interdistsiplinaarseid ajutisi töögruppe, kus osalejad kuulusid eri struktuuriüksustesse.

EKK struktuur kujunes järgmiseks. Vahetult kuulusid keskuse juurde: arendus-ja teabesiirdeosakond, ning õppeklassid. Teaduslaboreid oli kaks: PLD labor, mis kuulus EKK juurde ja elektroonika labor, mis asus elektroonika instituudi juures. Arendusgrupid asusid EKK-s ning assotsieerunud üksustes: arvutitehnika, elektroonika- ning automaatika ja süsteemitehnika instituutides.

EKK arvutiklasside varustatus arenes aastatel 1994-1995 väga kiiresti ja sai kahe aasta jooksul täielikult uuendatud. Arvutiklassidesse loodi SPARC tehnoloogial põhinev server-tööjaamade keskkond (2 tk. SparcServer 20, 45 tk. SparcStation 1+ ning SparcStation IPC, kasutusele võeti kaasaegne opsüsteem SOLARIS 2.4, arvutivõrgu väljaehitamisel toimus üleminek uudsele „swiched ethernet“ tehnoloogiale, võrgu ruuteriks oli Sun 3/280 server.

Kasutusel olid VAX6410 ja VAX6340 tüüpi arvutid, kus ühes oli tarvitusel opsüsteem ULTRIX ja teises VMS, samuti 20 töökohaga X-terminalide klass SUN3 tööjaamade baasil (serveriteks Sparc 1 - 2 tk. ja Sun 3/80 - 1 tk).

PLD laboris olid serveriteks Sparc IPX ja SparcServer 20/712, projekteerija töökohtadena kasutati SparcStation 5 kahte tööjaama, personaalarvutit Pentium 90 ja 14 personaalarvutit PC 486 DX 2 66. Personaalarvutid töötasid universaalsete SUN/PC töökohtadena (nii iseseisva PC-tööjaamana, UNIX-tööjaamana või SUN-i X-terminalina), kasutades Public Domain UNIX-LINUX operatsioonisüsteemi. SUN IPX platvormi kasutati CAD programmide õppimiseks ning ruuterina ülikooli võrgu ja PLD võrgu vahel, aga samuti e-maili ja www serverina.

Disaini tarkvarast oli kasutada XILINX ning ALTERA kiipide projekteerimissüsteem, CADENCE ASIC disainisüsteem, SYNOPSYS loogikasünteesi pakett, disainitarkvara SOLO-1400, migratsiooni ja optimiseerimise pakett ASYL, simulaatorid HILO, VHDL ja VIEWLOGIC ning skeemiredaktorid ORCAD ja DIXI-CAD. Õppetöös kasutati väga intensiivselt arvutitehnika ja -diagnostika õppetoolis välja töötatud digitaalsüsteemide diagnostika tarkvara Turbo Tester.

Assotseerunud liikmete juures asusid järgmised teaduslaborid: elektroonikainstituudis (**Mart Min**) – PC 486 DX 2 66 – 4 tk.; automaatika ja süsteemitehnika instituudis (**Vello Kukk**) – personaalarvutid Pentium 90 – 2tk.; arvutitehnika instituudis (**Andres Keevallik**) – PC 486 DX 2 66. Keskuse avatud keskkonna juurde kuulusid WWW-server ja ülikooli NEWS-server SPARK-1 baasil.

Õppe- ja teadustöö

Üheks huvitavamaks tegevusvaldkonnaks keskuses oli moodsate pedagoogiliste meetodite juurutamine õppetöösse:

- „kliiniku meetod“ , mida oli hakatud hiljuti kasutama California Ülikoolis, kus sarnaselt haiglas läbiviidava operatsiooni juures õpetamisega (samal ajal operatsiooni jälgides) õpitakse ka elektroonikadisaini reaalset töötegemist disaineri tegevusvõtete jälgimise teel;
- *learning by doing* ehk siis kursuse- või diplomiprojekteerimine, mis seisnes disaini loomises ja selle simuleerimises kuni võimaluseni tellida tööstusest (EUROCHIP vahendusel mingist L-Euroopa firmast) reaalne kiip ning selle reaalses katsetamises stendil;
- ühisprojekteerimine (*concurrent engineering*), kus ühte disaini loob tudengite grupp kollektiivse tööna ja inseneritöö kogemusele liitub veel projektijuhtimise kogemus (areneb kollektiivne vastutustunne).

Niisuguste meetodite tähtsus seisnes garantii andmises, et tudengite saadud kogemused oleksid piisavad, et üliõpilane oleks diplomit saades võimeline rajama omaenda disainifirmat, mis ühtlasi oleks tähendanud *spin-off* firmade tekkimise perspektiivi ja reaalset nõudlust TTÜ juures tehnoloogiaküla asutamiseks.

Ehkki laiemas ulatuses neid ideesid ei õnnestunud teostada, toimis see ettevõtmine ometi. Seda toetasid töötingimused, kus vanemad tudengid või magistrandid töötasid ühes ja samas ruumis ning noorematel oli võimalik jälgida vanemate kolleegide tööd ja esitada küsimusi („*kliiniku meetod*") ning osalemine ise lepingupõhises töös andis võimalusi reaalseid töökogemusi saada („*learning by doing*").

Elektroonika Kompetentsuskeskuses asus ülikooli kõige intensiivsema kasutusega ja üliõpilastele kõige avatum arvutikompleks. Näiteks 1995 aasta sügissemestril, oli keskuse õppekoormus järgmine:

Klass (töökohti)	Õppeaine	Nädalakoormus
A II 215 (29)	Matemaatilised meetodid keemiatehnikas	4 tundi
	Informaatika I ja Informaatika II	46 tundi
A II 214 (12)	Plaanilist õppetööd ei ole. Kasutatakse täiendavate töökohtaadena suurte õpperühmade puhul	Pidev
	Teoreetiline informaatika	4 tundi
A II 217 (20)	Keemiateaduskonna informaatika kursus	1 tund
	Elektroonika disaini kursus DIXI CAD baasil	8 tundi
A II 28 (8)	Elektroonika disaini kursus Cadence'i baasil	12 tundi
	Magistriõpe (elektroonika disain)	Pidev

Kogu tunniplaaniline õppekoormus oli 75 tundi nädalas. EKK klassid olid avatud tööpäevadel kell 8.00-20.15, aga kui õppetöö vajadus nõudis, siis kauem. Arvutite kasutajaid oli umbes 2500 inimest, neist vähemalt 98% üliõpilased, ülejäänud olid ülikooli töötajad (õppejõud). Reeglina väljapoolt ülikooli kasutajaid ei olnud. Õppejõudude juhendamisel (plaanilised laborid) töötas umbes 1300 üliõpilast, kellest 1100 olid hõivatud informaatika kursustega.

Kogu laboritest üle jäävat vaba aega oli üliõpilastel võimalik kasutada iseseisvaks tööks, kusjuures prioriteet oli õppetööl (kursuse- ja diplomiprojektidel).

Teaduslik uurimistöö keskuses ühtis arvutitehnika instituudis toimuvaga ja oli seotud põhiliselt digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika valdkonnaga. Sellesse valdkonda ATI ja keskuse teadurite poolt eelnevatel aastatel toodud uus struktuursetel otsustusdiagrammidel põhinev diagnostikamudeli kontseptsioon pakkus hulgaliselt veel lõpuni uurimata võimalusi ning üldistamise perspektiive nii horisontaalses kui ka vertikaalses mõttes (nii ülesannete klassi laiendamise mõttes kui ka ülesannete hierarhilisel lahendamisel eri tasanditel).

Euroopa projektide mõju ATI-le ja EKK-le kui instituudi satelliit-struktuuriüksusele oli äärmiselt suur. Kuid samal ajal konkureerisime ka „kodumaisele" toetusele, kus aastatel 1993 – 1997 saadi 4 granti Eesti Teadusfondilt, 2 granti Informaatika ja Innovatsiooni fondidelt ning Eesti Valitsuse grant (1994) „Elektroonika kompetentsuskeskuse infrastruktuur elektroonika sihtprogrammi käivitamiseks".

Ettevõtetega sõlmitud lepingute raames toimunud koostöö kõige märkimisväärseks tulemuseks oli Jüri Põldre projekteeritud mikrokiip. Lisarahastus saadi selleks lepingutega:

1. Lepinguline töö nr. 6412 „Krüptokiibi prototüübi tehnoloogilise faili projekteerimine" (1996). Partner: Küberneetika Instituut.
2. Lepinguline töö „Krüptokiibi prototüübi testimine ja dokumentatsiooni väljatöötamine" (1996-1997). Partner: Küberneetika Instituut.

Näitena keskuse teadustöö organiseerimisest ja ülesannete jaotusest tudengitele ja doktorantidele keskuse esimesel tööaastal olgu siinkohal esitatud järgmine nimekiri:

Ametikoht	Nimi	Ülesanne
Bakalaureus	Jaan Raik	Interfeis EDIF ja Turbo-Testi vahel
		Ventiiltaseme AG-mudeli süntees EDIF netlistist
		Kumulatiivse testigeneraatori projekteerimine
	Priidu Paomets	Turbo-Testri uue keskkonna loomine
	Andres Kaasik	Viiterikete simulaatori projekteerimine
		Kumulatiivse testigeneraatori projekteerimine
	Tauno Siitam	Viitemudelite süntees AG-keskkonda
Doktorand	Marina Brik	FSM testide generaator
		Eksperimendid generaatoriga
	Viktor Zaugarov	AG-kirjelduse rikkemudeli väljatöötamine
		Testitavuse analüüs funktsionaalsel tasandil
	Julia Dušina	Funktsionaalse testigeneraatori üldalgoritm
		Rikete transport operatsioonautomaadis
		Asetusülesannete lahendamine operatsioonautomaadis
	Leena Krupnova	AG-mudeli süntees VHDL-kirjaldusest
		Operandide genereerimine VHDL-simulaatori abil
	Sergei Storožev	Kõrgtaseme testigeneraatori väljatöötamine
Teadurid	Viljar Tulit	Viiterikete testide analüsaator ja generaator
		Lühisrikete analüsaator ja testigeneraator

Loomulikult see ülesannete komplekt pidevalt täienes ja vaheldus, vastavalt vajadusele, näiteks vajadusele uusi ja mõnikord ootamatuidki teoreetilisi probleeme püstitada ja lahendada, aga ka vastavalt sellele, kuidas hakkama saadi ja kuidas vaheldus uurimisgrupi koosseis. Aga juba kaks aastat hiljem võis keskus raporteerida juba järgmiste tarkvarapakettidega, mis said programmeeritud peaaegu nende samade tudengite poolt:

- Digitaalskeemide mitme-väärtuseline simulaator (**Jaan Raik**).
- Järjestikskeemide veasimulaator (Jaan Raik).
- Testide generaator ventiiltaseme kombinatsioonskeemidele (Jaan Raik).
- Hierarhiline testide generaator digitaalskeemidele (Jaan Raik).
- Digitaalsüsteemide VHDL -keele parser diagnostilise analüüsi teostamiseks (**Gert Jervan**).
- Alternatiivsete graafide süntesaator (Gert Jervan).
- Digitaalsüsteemide juhtosade testigeneraator (Gert Jervan).
- Testprogrammide optimisaator (Gert Jervan).
- Lõplike automaatide hierarhiline testjadade süsntesaator (**Marina Brik**)
- Interneti raamatukogu andmebaasisüsteem (**Eero Ivask**).
- Geneetilistel algoritmidel põhinev programm optimeerimiseks/planeerimiseks (Eero Ivask).
- Geneetilistel algoritmidel põhinev lõplike automaatide testide süntesaator (Eero Ivask).
- Kinopiletite müügi infosüsteem (**Priidu Paomets**).
- Filmitiitrite redaktor (Priidu Paomets).
- Turbo Tester 3.0 kasutajaliides (Priidu Paomets).

Sellest töötulemuste loetelust puuduvad **Julia Dušina**, **Leena Krupnova** ja **Sergei Storožev**, kes olid vahepeal lahkunud Eestist Prantsusmaale. Seega ei jätnud neil aastail Eestis väga moodi läinud „ajude äravool“ puudutamata ka TTÜ elektroonika kompetentsuskeskust – kaotasime suure osa oma kompetentsusest, mis enam kunagi tagasi Eestisse ei tulnud.

EKK-l oli mitmeid koostööprojekte Eestis paiknevate firmadega. Koostöö keskuse ja SUN Microsystems Eesti esindajaga Mikrolink viis ühisarenduse lepinguni tööjaamade klassi loomiseks. Käivitatud projekti raames soetas keskus moodsa servertehnoloogia, kusjuures firma SUN varustas ülikooli arvutiklassi tööjaamadega, mitte küll päris uutega, kuid luues suure arvu töökohti ja nende kaudu ligipääsu kaasaegsele tehnoloogiale üliõpilaste jaoks. Tööjaamade klass sai täie koormusega rakendatud õppetöösse, millega

oli tagatud tudengitele ligipääs moodsale tehnoloogiale. Keskuse ja programmeeritavaid loogikaseadmeid tootva firma XILINX Eesti esindaja Arrowfield'iga käivitati koostööprojekt, milles ülikoolile anti üle täispakett XILINX projekteerimistarkvara õigusega kasutada seda nii tudengite õpetamisel kui ka väikefirmadega projektide läbiviimisel.

Keskuses toimus intensiivne koostöö assotsieerunud struktuuriüksustega TTÜ-s. Nii oli keskuse finantsvahendite abil toetatud arvutitehnika, elektroonika ning automaatika ja süsteemitehnika instituute 7 arvuti hankimisel erikursuste väljatöötamiseks. Kolme keskuse eksisteerimise aasta jooksul võimaldati väliskomandeeringuid ja pikaajalist väljaõpet üle 50-le arvuti- ja süsteemitehnika teaduskonna õppejõule ning tudengile Lääne-Euroopa ülikoolides

Keskuse laboratoorse baasi toetusel loodi uusi loengukursusi, nagu näiteks *„Digitaalsüsteemide diagnostika"* ja *„Programmeeritavate loogikaskeemide disain"*, loodi uus laboratoorsete tööde tsükkel aines *„Digitaalsüsteemide diagnostika"*. Keskuses kasutada olnud disainitarkvara, aga samuti ka diagnostikatarkvara Turbo Tester olid loonud soodsa pinna rahvusvahelise huvi tekkimiseks keskuses läbiviidavate kursuste suhtes

EKK oli loodud küll formaalselt iseseisva struktuuriüksusena, kuid tema arengumootoriks ja sisulise töö kandjaks oli põhiliselt arvutitehnika ja -diagnostika õppetool. Keskuse missiooniks kujunes küll mikroelektroonika disaini käivitamine teaduskonnas, kuid keskuse rajamine oli saanud võimalikuks tänu õppetooli „läbimurdele" Euroopas – teaduse ekspordi abil hangitud väliste finantsvahendite kaasamisele. Just teadustegevust luges keskus oma tugevaimaks ning seetõttu ka keskuse missiooni toetavaks küljeks.

Rahvusvaheline koostöö oli keskuses intensiivne, töiseid sidemeid oli umbes 30 ülikooli ja teadusasutusega, seda tänu tervele reale europrojektidele, mis kulgesid kõik paralleelselt, nõudes rohkesti organiseerimist ja korraldamist, mis aga andsid tagasi vastastikkuseid visiite nii Eestisse kui mujale partnerite juurde.

Eesti Valitsuselt 1995. aasta viimastel päevadel saadud vahenditest ligi pool s.o. üle 400 tuh. kr. eraldati ülal loetletud struktuuriüksustele eesmärgil toetada professionaalsete uurijate töötingimusi ning tugevdada nende riist- ja tarkvarabaasi. Europrojekti TEMPUS JEP 4772 raames eraldati aastatel 1994-1995 14 granti välisstažeerimisteks 415 tuh. kr. ulatuses. Koos sellega võtsid ka vastavad struktuuriüksused endale kohustusi välja töötada uusi õppekursusi, õppevahendeid ja praktikume.

Üldiselt aga andis ikkagi tunda õppejõudude passiivsus selle modernse infrastruktuuri rakendamisel õppetöösse.

Millega veel keskuses üldisemalt tegeldi:

- analüüsiti olemasolevate elektroonika disaini ressursside kasutamist ja uusi vajadusi ning võimalusel hangiti juurde uusi ressursse;
- tutvustati olemasolevaid elektroonika masinprojekteerimispakette teistele instituutidele, kaasamaks olemasolevat professionaalset tarkvara mikroelektroonika õpetamisse;
- arendati edasi serverkeskkonda eesmärgil võimaldada analoogilist UNIX-arvutikeskkonna laiemat kasutamist;
- arendati edasi SUN tööjaamade klassi sisustades neid uute piisava võimsusega tööjaamadega klassitöö eesmärgil;
- arendati välja UNIX-süsteemi baasil stabiilselt toimuv informaatikaõpetus eesmärgiga anda tudengitele juba stuudiumi algusest peale teadmisi avatud arvutisüsteemide keskkonnast, mis soodustaks edasist süvenemist arvutitehnika, automaatika ja elektroonika erialadesse;

- arendati koostöösidemeid arenenud kõrgtehnoloogia-alase tööstuskeskkonnaga eeskätt Soomes, Rootsis ja Norras; selleks tutvuda sealse elektroonikatööstusega, tehnoloogiaalase kõrgharidusega, riiklike programmidega ja tööstuse ning teaduse koostööga, otsiti koopereerumisvõimalusi ja töötati välja oma arendusstrateegiaid edaspidiseks;
- toetada arvuti ja arvutivõrgusüsteemi arendamist kogu ülikooli ulatuses.

Keskus töötas pingelise finantseelarve tingimustes. EUROCHIP ja hiljem EUROPRACTICE vahendusel saadud disainitarkvara litsentsid eeldasid iga-aastase hooldustasu maksmist. Näiteks tüüpiline aastane tarkvarasüsteemide hoolduskulu koosnes järgmistest osadest: ALTERA – 100 ECU, CADENCE IC PACKAGE – 925 ECU, SYNOPSYS SECP &/OR COSSAP DSP – 595 ECU ja XILINX- 350 ECU, kokku 1970 ECU.

Seda tarkvara kasutati nii õppe- kui teadustöös. Samas tasuti see kulu üksnes keskuse teadusprojektide eelarvetest, ülikooli oma osalus nende kulude katmisel puudus täielikult. Iseenesest võis ju tunduda, et mis selles siis väär on, kui väljastpoolt ülikooli saadud teadusrahadega soetatud väärtusi rakendatakse mõlema, nii teadus- kui ka õppetöö hüvanguks.

Kuid keskuses oli tekkinud ekstreemne olukord, kus oldi sunnitud kasutama projektide abil hangitud teadusrahasid mittesihipäraselt. Rahapuuduse tõttu tuli teha valikuid teaduse kahjuks ja õppetöö kasuks, loobudes näiteks tarkvarast, mis oli oluline teadustöö jaoks, aga millist ei vajatud otseselt õppetöös. Nii juhtus näiteks teadusuuringutele väga vajaliku tarkvaraga HILO, millest tuli loobuda et hoida kokku raha õppetöö eesmärgil. Ülikool ei toetanud keskuse ja ATI koostöö tulemust – õppe- ja teadustöö ühisuses välja kujunenud sünergiat. Ja seda vaatamata sellele, et hoidsime kokku ülikooli õppekulusid koguni 20-kordselt (hankides eritarkvara Euroopast oma kanalite kaudu 95% hinnaalandusega).

Selles valguses oli paradoksaalne, et ülikoolisisesel infotehnoloogia projektide võistlusel jäeti rahuldamata keskuse taotlus serverressursi laiendamiseks ja töökohtade arvu suurendamiseks, mis tulenes tudengitest kasutajate arvu kasvamisest. Ka täiendav taotlus otse rektoraadile ei leidnud heakskiitu.

Tulemustele tagasi vaadates

Jüri Põldre projekteeris meie keskuses Eesti esimese ülisuure integraalskeemi, milleks oli krüptoprotsessor PLD001

Digitaliseeruva ühiskonna üha suurenev sõltuvus infotehnoloogiast on muutnud digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika strateegiliseks teadus- ja arendustöö valdkonnaks. Süsteemide keerukuse pidev kasv nõuab teooria ning meetodite pidevat täiustamist. Tehisintellekti tungimisel ellu muutub inimene üha sõltuvamaks arvutite töökindlusest. Seetõttu peab arvutitehnika projekteerimine käima käsikäes testimise ja rikete diagnostika probleemide lahendamisega.

TTÜ arvutitehnika instituudis ja elektroonika kompetentsuskeskuses oli loodud tipptasemel tehnoloogiline keskkond uurimistööks ja rajatud tugev potentsiaal nii riist- ja tarkvara koosdisaini kui ka diagnostika metodoloogia arendamiseks ja teoreetiliste probleemide lahendamiseks. Parima rakendusnäidisena oli siin esimese ülisuure integraalskeemi projekteerimine **Jüri Põldre** poolt Eestis.

EKK ja ATI ühistööna realiseerunud teadustegevus oli seotud põhiliselt digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika valdkonnaga. Loodi eri klassidesse kuuluvate süsteemide kõrg- ja madala taseme diagnostikamudeleid, testide sünteesi meetodeid ja uudne testide integreerimise kontseptsioon.

Loodud meetodite uudsus ning originaalsus seisnes struktuursetel otsustusdiagrammidel (alternatiivsetel graafidel[17]) põhineva ühtse teoreetilise käsitluse edasiarenduses digitaalse diagnostika valdkonnas ja selle rakendamises keerukate hierarhiliselt (nii kõrgtasandil funktsionaalselt kui ka madalal tasandil loogikaelementide võrguna) kirjeldatud süsteemide diagnostikaülesannete lahendamisel.

Traditsiooniliselt oli eri tasanditel kasutatud (ja kasutatakse tänagi) erinevaid mudeleid ning matemaatilisi vahendeid nagu Boole'i algebra, Boole'i diferentsiaalarvutus, lõplike automaatide olekutabelid, andmevoo-diagrammid, binaarsed otsustusdiagrammid, register-edastus-taseme keeled ja mudelid, Petri võrgud jne. Ühtne teooria, nagu see eksisteeris Boole'i algebra näol ühetasemeliste loogikaskeemide puhul, hierarhiliste süsteemide diagnostika jaoks puudus. Struktuursete otsustusdiagrammide (alternatiivsete graafide) kasutuselevõtt uurimisgrupi poolt ja edasiarendus oli märkimisväärseks sammuks sellise teooria loomisel.

Diagnostika-alastest uurinutest, mis keskuses neil aastail läbi viidi võiks tulemuslikkuse poolest välja tuua neli valdkonda: loogikaskeemide diagnostika, digitaalsüsteemide disain, veakindlad süsteemid, lõplike automaatide diagnostika, hierarhiliste süsteemide diagnostika ja signaalide dünaamiline analüüs loogikaskeemides. Alljärgnevalt on toodud mõningad näited keskuse ja arvutitehnika instituudi koostöös saavutatud tulemutest.

Loogikaskeemide diagnostika alased uurimused olid pühendatud mudeli universaalsuse ärakasutamisele, mis võimaldas üheainsa komponentmudelite teegi baasil terve komplekti tarkvaralisi tööriistu luua, kus iga tööriist nõudis endale traditsiooniliselt eri teeki. Nimetatud tööriistad komplekteeriti universaalseks diagnostikatarkvaraks Turbo Tester[18], mis oma laiahaardelisuse ja lihtsuse tõttu oli sobiv kasutamiseks ülikoolides arvutiala tudengite õpetamisel.

Digitaaldisaini valdkonda kuuluv uurimus[19] koos realisatsiooniga käsitleb teadaolevalt Eesti esimese ülikeeruka integraalskeemi krüptoprotsessori arhitektuurset lahendust. Protsessori projekteeris kollektiivi liige magistrant **Jüri Põldre**. Üle 200 tuhande loogikaelemendi sisaldav mikroskeem kristalli pindalaga 107 mm^2 vastas keerukuselt tolleaegsetes personaalarvutites kasutatud Intel 386 protsessorile. Seade valmistati Lääne-Euroopa tehases ES2 assotsiatsiooni EUROPRACTICE vahendusel ja Küberneetika Instituudi toetusel. Katsetused läbiti edukalt. Seade võimaldas salastatud sidepidamist läbi avalike infokanalite.

Veakindlate digitaalsüsteemide valdkonnas töötati välja koostöös Torino Tehnikaülikooliga uus meetod[20] digitaalsüsteemide usaldatavuse hindamiseks. Traditsioonilised meetodid põhinesid siin enamasti stohhastilistel lähenemisviisidel, mis tulenes uuritavate süsteemide keerukusest ja rikete deterministliku analüüsi suurest töömahukusest. Uus **Jaan Raiki** ja **Raimund Ubari** poolt väljatöötatud ja realiseeritud efektiivne rikete simuleerimismeetod võimaldas sisse tuua rikete deterministliku eelanalüüsi, suurendamaks stohhastiliste hindamismeetodite täpsust ja usaldatavust. Võrreldes seniste analoogidega sai uus meetod palju kiirem.

Hierarhiliste süsteemide diagnostikas uuriti kahte süsteemide tüüpi lõplike automaatide mudelil põhinevaid juhtimissüsteeme ja operatsioone teostavaid register-taseme süsteeme. Loodi mõlemat süsteemide klassi ühendav matemaatiline mudel ja töötati välja uutel põhimõtetel hierarhiline testide generaator[21,22], mis sünteesib ja lihtsustab kõrgtasemel defineeritavaid kitsendusi, kompileerib

17 R. Ubar. Test Synthesis with Alternative Graphs. IEEE Design and Test of Computers. Spring, 1996, pp.48-59.

18 R. Ubar, J. Raik, P. Paomets,E. Ivask, G. Jervan, A. Markus. Low-Cost CAD System for Teaching Digital Test. Microelectronics Education. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996, p.185-188.

19 A. Buldas, J. Põldre. A VLSI implementation of RSA and IDEA encryption engine. IEEE 15th NORCHIP Conference, Tallinn, Nov. 10-11, 1997, pp.281-288.

20 A. Benso, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza, R. Ubar. A New Approach to Build a Low-Level Malicious Fault List Starting from High-Level Description and Alternative Graphs. Proc. IEEE European Design & Test Conference, Paris, March 17-20, 1997, pp.560-565.

21 R. Ubar, M. Brik. Multi-Level Test Generation and Fault Diagnosis for Finite State Machines. Lecture Notes in Computer Science No 1150. Dependable Computing – EDCC-2. Springer-Verlag, 1996, pp.264-281.

22 R. Ubar. Combining Functional and Structural Approaches in Test Generation for Digital Systems. Journal of Microelectronics and Reliability, Elsevier Science Ltd. Vol. 38:3, pp.317-329, 1998.

Keskuse esitlusel ettekandeid kuulamas. Vasakult esireas: Rein Laaneots, Ilmar Kleis, Maido Ajaots ja Raimund Ubar.

seejärel nende kitsenduste baasil testvektorid ning analüüsib ventiiltasemel viimaste kvaliteeti. Meetod lubab efektiivsemalt realiseerida hierarhilist testide sünteesi ja analüüsi. Head tulemused saadi näiteks RISC-tüüpi protsessorite testprogrammide sünteesil.[23] Oluliseks tulemuseks kollektiivi töös oli diagnostikamudeli täiustamine funktsioonide ja transparentsustingimuste ühtseks esitamiseks mudelis. Uuendus võimaldas lihtsustada testide sünteesi algoritme ja suurendada nende produktiivsust. Generaatoris oli originaalselt ühitatud deterministlik ja stohhastiline lähenemisviis, mis katsete käigus andis ootamatult häid tulemusi.[24]

ATI-s ja EKK-s läbiviidud uurimistöö põhiline teaduslik tähtsus seisnes uue teoreetilise lähenemisviisi toomises tehnikateaduste valdkonda, mida nimetatakse tehniliseks diagnostikaks. Uus lähenemisviis on teinud võimalikuks mitmete seni lahendamata teadusprobleemide korrektse formuleerimise, uurimise ja lahendusteede leidmise. Uurimuse raames väljatöötatud tarkvara on leidnud kasutust mitmel pool Euroopas, mille tulemusena (arvutiprogrammide vahetuse kaudu) installeeriti TTÜ-s hinnaline eritarkvara, mida kasutas arvutite baasõppes *ca* 300 üliõpilast aastas.

Lähtumine rahvusvahelisest VHDL standardist andis võimaluse integreerida TTÜ diagnostika tulemusi üldlevinud disainisüsteemidega (SYNT SYNOPSYS, CADENCE jt).

Oli loodud perspektiivne baas vastavasisuliste uuringute läbiviimiseks rahvusvahelises kontekstis ka tulevikus. Keskuse laboratoorses keskkonnas tekkis nüüd esmakordselt võimalus viia läbi teaduseksperimente rahvusvahelisel tasemel, mis lõi kohe oluliselt paremad eeldused publitseerimisturul läbilöömiseks.

Keskuse esitlusel ettekandeid kuulamas: Paremalt esireas: Rein Küttner, Manfred Glesner, Jüri Tanner ja külaline Saksamaalt.

Uus diagnostikamudeli kontseptsioon oli perspektiivne, „jättes“ edasiseks teadustööks palju uusi potentsiaalseid võimalusi ning üldistusi nii horisontaalses kui vertikaalses mõttes (nii ülesannete klassi laiendamise kui ülesannete lahendamise hierarhiate mõttes).

Disaini alases arendustöös tuli kahtlematult lugeda kõige märkimisväärsemaks tulemuseks magistrant **Jüri Põldre** projekteeritud krüptoprotsessorit – ECPD 1,0 micron CMOS tehnoloogias, kristalli pindalaga – 107 mm^2 ja transistoride arvuga – 202 000. See oli üldse esmakordselt Eestis loodud ülisuur integraalskeem. Kiip valmistati Lääne-Euroopa tehases ES2 assotsiatsiooni EUROPRACTICE vahendusel. Mikroskeemi ideoloogia oli väljatöötatud koostöös Küberneetika Instituudiga (**Ülo Jaaksoo**).

[23] M. Brik, G. Jervan, A. Markus, P. Paomets, J. Raik, R. Ubar. Mixed-Level Test Generator for Digital Systems. Proceedings of the Estonian Acad. of Sci. Engng, 1997, Vol. 3, No 4, pp. 271-282.

[24] G. Jervan, A. Markus, J. Raik, R. Ubar). Assembling Low-Level Tests to High-Level Symbolic Test Frames. IEEE 15th NORCHIP Conference, Tallinn, November 10-11, 1997, pp. 275-280.

Kogu teadus- ja arendustöö oli koordineeritud kolme aasta jooksul kokku 14 projektiga, neist 5 rahvusvaheliste programmide ESPRIT, PECO, COPERNICUS ja INCO-COPERNICUS raames, 4 projekti Eesti, Soome, Rootsi ja Saksamaa ettevõtete või instituutidega ning 2 Teadusfondi granti.

Projektides osales väga aktiivselt ja tulemuslikult 10-15 doktoranti, magistranti ja üliõpilast. Üliõpilasi **Marina Brik**, **Eero Ivask**, **Gert Jervan**, **Antti Markus**, **Priidu Paomets** ja **Jaan Raik** autasustati uurimistöö *„Rahvusvahelised publikatsioonid TTÜ disaini ja testi keskuse diagnostikagrupilt aastatel 1996-97“* eest esimese kohaga Eesti üliõpilaste riiklikul konkursil 1997. a.

TTÜ elektroonika kompetentsuskeskust ei loodud „ülalt“ kehtestatud direktiividega, see poleks ka võimalik olnud ülikooli krooniliselt piiratud finantsressursside tõttu. Keskus loodi alt-üles initsiatiivil, mis osutus võimalikuks tänu arvutitehnika instituudi teadlaste edule Euroopa Liidu programmide TEMPUS, COPERNICUS, PECO, EUROCHIP ja ESPRIT raames toimunud projektikonkurssidel. Saadud projektide kaudu tulid ressursid, millega loodi keskuse arvuti- ja tarkvara baas.

Läänest hangitud rahalised vahendid tegid võimalikuks rajada kaasaegse varustusega elektroonikadisaini laboratoorium ja õppeklassid. Installeeritud tarkvara oli võimalik kasutada programmeeritavate mikroskeemide ja ülisuurte integraalskeemide projekteerimiseks, mis tegi keskuse disainikeskkonna samaväärseks nii Lääne ülikoolides kui ka tööstusettevõtetes kasutatavate keskkondadega.

Ühesainsas keskuse tööjaamas oli võimalik (tolle aja kohta lausa imena) käivitada piltlikult niisugusi automaatselt toimuvaid protsesse nagu elektronskeemi loogiline süntees, komponentide paigutuse kujundamine skeemis, ühenduste trasseerimine ja montaazh, saadud skeemi katsetamine, testide koostamine, skeemi kontroll ja rikete ning vigade diagnostika. Iga niisuguse ülesande lahendamisega sellest loetelust tegeles veel kümmekond aastat tagasi terve laboratoorium mitmesaja töötajaga konstrueerimisbüroos.

Keskuse eksisteerimise kolme aasta jooksul osutus võimalikuks saata Lääne-Euroopasse stažeerima üle 50 õppejõu ja üliõpilase arvuti, elektroonika, raadiotehnika ja automaatika erialadelt. Tänu nendele lähetustele oli Tehnikaülikoolis tekkinud vastav kaader nii õppetöö läbi viimiseks kui ka uurimistööde teostamiseks rahvusvahelisel tasemel. Selle kinnituseks on mitmed hea hinnangu pälvinud õppekursused, mida on läbi viidud Soome, Rootsi, Saksamaa ja USA üliõpilastele, on väljatöötatud õpitarkvara, mida kasutati Rootsis ja Slovakkias, oli soovitatud kasutusele võtta Inglismaa ülikoolides ja kasutati inseneride väljaõppel firma DIGSIM poolt Rootsis. Oli saadud terve rida rahvusvahelistel konkurssidel võidetud stipendiume ja teadusuuringute toetusi ning jätkus rahvusvaheline koostöö rohkem kui 30 Euroopa ülikooli ja teadusasutusega kokku 15 riigist.

Rahvusvaheline koostöö ülikoolide vahel tähendab mitte ainult ühisprojekte vaid ka üliõpilasvahetust. See aga eeldab, et meie ülikool peaks ka ise olema atraktiivne muu maailmale nii loetavate õppeainete osas kui ka laboratoorse varustatuse osas. Võimalus vastastikku vahetada üliõpilasi tähendab eesti tudengile ukse avamist Euroopa kultuuri ja eluviisidega tutvumiseks.

Lääne ülikoolide juures aastate 1993 - 1995 jooksul ettevalmistuse saanud üliõpilastest sai nüüd teatud mõttes seemnevili, millest võis välja kasvada eesti kaasaegne mikroelektroonika, eeldusel muidugi, et stardiks vajalik kriitiline mass oleks olemas.

Veel seda kriitilist massi siiski ei olnud. Et saavutatud potentsiaal kasutamata ei jääks oleks tulnud vähemalt esialgu ka riiklikke vahendeid kaasa haarata, mida aga ei toimunud. Senised tulemused olid saavutatud põhiliselt vaid väheste inimeste väga suure töö ja entusiasmi rakendamise hinnaga europrojektide Eestisse toomisel ja nende täitmisel.

Rahvusvaheline presentatsioon

EKK presentatsioon. Etlevad kolm projektijuhti Manfred Glesner ja Raimund Ubar reaalselt, Bernard Courtois telesilla kaudu.

1995. a. lõpul toimus TTÜ uue struktuuriüksuse elektroonika kompetentsuskeskuse presentatsioon rahvusvahelisel seminaril, mis võttis kokku projekti TEMPUS JEP 4772 kolmeaastase arendustöö ja tähistas (küll juba eksisteeriva) keskuse ametlikku avamist selle projekti ühe olulise tulemusena.

Keskuse pidulik avamine. Vasakult keskuse juhataja Raimund Ubar, keskuse patroon Manfred Glesner (Darmstadt) ja PLD labori ühed aktiivsemad tudengid Andres Kaasik, Härmo Tellas, Eero Ivask ning väga palju külalisi.

See sündmus tähistas ühtlasi esimest olulist etappi keskuse töös – professionaalsete töövahenditega elektroonika projekteerimise keskkonna käivitamist. Selle etapi kvalitatiivne tulemus seisnes moodsa inseneritehnoloogia masinprojekteerimisvahenditel põhinevate projekteerimissüsteemide (CAD) toomises Eestisse ja käiku rakendamises Tallinna Tehnikaülikoolis. See oli põhimõtteline tehnoloogiline uuendus, mis tähistas TTÜ poolset väikest sammu liitumisel Euroopa ja maailma eesrindlikuma kõrgtehnoloogilise projekteerimise ja tootmise keskkonnaga.

Rahvusvahelist EKK presentatsiooni – TEMPUS projekti tähtsündmust – külastas ka Euroopa TEMPUS keskuse ametlik esindus. Saatsime välja pressiteate:

27. oktoobril kell 14 avatakse Tallinna Tehnikaülikoolis ELEKTROONIKA KOMPETENTSUSKESKUS

Kavas:

14.00 Avasõnad — auditooriumis A - I - 202

- keskuse juhataja prof. Raimund Ubar
- TTÜ rektor Olav Aarna
- Darmstadti Tehnikaülikooli esindaja prof. Manfred Glesner
- Haridusministeeriumi esindaja
- Euroopa TEMPUS keskuse koordinaator ms. Claudia Oehl
- Tudengite esindaja Jaan Raik

15.00 Tutvumine keskuse elektroonikadisaini laborite ja arvutikiassidega A - II - 208, 210, 214, 217

Elektroonika kompetentsuskeskuse (EKK) avamisega tähistame Euroopa Liidu PHARE programmi TEMPUS-projekti „Digitaalsüsteemide disain PLD-tehnoloogia baasil" lõpetamist ning kaasaegse elektroonikadisaini töökeskkonna valmimist. EKK tehnoloogilise keskkonna väljaarendamist on toetanud Eesti Valitsus, mitmed Eesti fondid ja kaasatud on rahvusvaheliste uurimisprojektide sidemed ning toetus.

EKK on välja arendatud uue struktuuriüksusena TTÜ-s, mis koostöös arvuti- ja süsteemitehnika teaduskonna instituutidega pakub kaasaegset elektroonika- ja infotehnoloogiaalaste vahendite keskkonda ja õppekursusi.

EKK töökeskkond koosneb 12 kohaga mikroelektroonika disaini laborist, mis on varustatud uusimate elektroonika-alaste arvutiprojekteerimise (CAD) tarkvara süsteemidega CADENCE, SYNOPSYS, XILINX jt. ning 45 kohaga SUN-tööjaamade UNIX-klassist elektroonika ja informaatika baasõppeks.

EKK kannab üldist elektroonika-alase kõrgtehnoloogia arendustegevust, omab kontakte juhtivate tehnoloogia- ja projekteerimistarkvara firmadega ning seab eesmärgiks aidata kaasa Eesti elektroonikaettevõtete tehnoloogilise taseme tõusule ning uute kõrgtehnoloogial baseeruvate ettevõtete tekkele.

Keskuse aktiivse eksisteerimise viimast aastat kroonis tõelise disainiprojektiga maha saamine – valmis Eesti esimene ülisuur mikroskeem – krüptoprotsessori. See sündmus tähistas teise etapi lõppemist keskuse lühikeses ajaloos, mis seisnes uue keskkonna kasutusvõimaluste tundmaõppimises, nende omandamises ja uute oskuste rakendamises.

Struktuursed vastuolud

Eriarvamused keskuse kontseptsiooni osas

Üheks tähtsamaks teadus- ja arendustöö tulemuseks arvutitehnika instituudis oli PLD labori rajamine arvutitehnika ja -diagnostika õppetooli kõrvale ning selle baasil ehk selle peale elektroonika kompetentsuskeskuse (EKK) loomine.

1993. a. lõpul ülikooli alluvuses loodud EKK missiooniks oli interdistsiplinaarse koostöö toetamine infotehnoloogia valdkonnas – arvutitarkvarast kuni elektroonika disainini.

Missiooniks oli rajada kaasaegne infotehnoloogia projekteerimise keskkond. Ehkki strateegiliseks lipukirjaks sai elektroonikadisaini edendamine TTÜs, kujunes keskuse tegevus juba põhikirjast tulenevalt palju laiahaardelisemaks, hõlmates nii arvutite riist- ja tarkvarakursuste õpetamist kui ka interneti kasutamise võimaldamist kõigile üliõpilastele. Põhikiri nägi nimelt ette keskusega ühinenud seni ülikooli alluvuses olnud arvutiklasside funktsioonide järjepidevuse jätkamist ja kohustust tagada infotehnoloogia ressursside kasutamist tervele ülikoolile.

EKK arendustöös avas niisugune eri- ja üldfunktsioonide sümbioos võimaluse tagada keskkonna maksimaalset koormatust. Elektroonikadisain vajas suuri arvutiressursse, mida aga objektiivsetel põhjustel poleks saanud pidevalt täiskoormusel kasutada. Seetõttu tarkvara üldõppe funktsioon kujunes omamoodi puhvriks ressursikasutuse optimeerimisel.

Kolme aasta jooksul oli keskuse juurde loodud laboribaas, mis oma disainitarkvara poolest oli unikaalne Eestis ja vastas Lääne-Euroopa professionaalsele tasemele. Keskuse kaks arvutiklassi ja disainilabor olid baasiks peaaegu kõigile arvutitehnika riistvara käsitlevatele õppeainetele ja paljudele informaatika alastele õppeainetele. Kogu infrastruktuur kujutas endast tervikut nii serverressursi kasutamise kui ka õppetöö mobiilsuse poolest. Samu laboritöid oli võimalik läbi viia nii klassides kui ka disainilaboris, kusjuures klasse kasutati nooremate kursuste ja suuremate õpperühmade korral.

EKK disainilabor SUN tööjaamade baasil

Optimaalse ressursikasutuse motiivi silmas pidades arenesid keskuses spetsialiseeritud ja üldotstarbeline õpetus käsikäes. Keskuse hilisem lülitamine rektoraadi alluvusest arvuti- ja süsteemitehnika teaduskonna alluvusse vastandas teda aga ühelt poolt teistele teaduskondadele, kes „olid mures“ arvutiklasside „kadumisega ühe elitaarse teaduskonna müüride taha“, teiselt poolt aga ka teaduskonna teistele instituutidele, sest keskuse staatuse samastamine instituutidega oli teinud temast instituutidele konkurendi ja vastupidi. Interdistsiplinaarsuse kandmise algset missiooni ei saanud keskus enam kanda. Põhjuseks oli formaalne finantseerimismehhanism, mis oli suunatud globaalse konkurentsi tekitamisele teaduskonnas ja ei motiveerinud koostööd keskuse ja instituutide vahel.

EKK tähendus ja algne mõte seisnesid interdistsiplinaarse koostöö toetamises, professionaalse ühiskasutatava töö- ja õppekeskkonna loomises. Niisuguse missiooni korral ei tohtinud aga keskus olla instituutide konkurendiks ja finantseerimismehhanismid oleksid pidanud mõlemal juhul olema põhimõtteliselt erinevad.

> Elame digitaalses ühiskonnas, elektroonikast on saanud tähtsamaid tehnoloogiaharusid, ja digitaalelektroonikale rajaneb kogu tehisintelligents. Viimase juurdumine meie ellu toob kaasa enneolematu vajaduse interdistsiplinaarseks koostööks teaduses ja tehnoloogias (palju laiemas valdkonnas kui elektroonika või arvutustehnika). Ülikoolides saaksid niisuguse interdistsiplinaarsuse käivitajateks olla üksnes struktuuriüksuste barjääre hajutavad institutsioonid - keskused kui ühendajad. Tuleks õppida koos töötama ja ressursside kasutamist optimeerima. Teaduse finantseerimise mehhanismid peaksid niisugust suundumust motiveerima.

Paljast missioonitundest arendati siiski edasi õppetooli ja keskust ühtse tervikuna. Eks keskuses endaski valitses teatav huvide vastasseis ja konkurents õppeklasside ning teaduslabori vahel, nii töö organisatsiooni kui ka ressursside jagamise poolest. Näiteks, õppeklassides toimis üldjuhul „sõjalise distsipliini“ sarnane kodukord, samal ajal kui teaduslaboris valitses pigem boheemlus ja 100%-line akadeemiline vabadus. Need asjad ei sobinud hästi kokku. Ometi kõik laabus. Ja üheks põhjuseks oli see, et paljude teadusprojektide raha jagunes enam-vähem „vennalikult“ kummalegi poolele ja sisemised konkurentsibarjäärid jäid tekkimata.

Tormiline arenguperiood

Keskuse riist- ja tarkvaraline baas loodi peamiselt ülikoolivälistе vahenditega, kaasates sinna europrogrammide, Eesti Teadusfondi, Informaatika- ja Innovatsioonifondidest saadud grantide võimalusi. Suure ühe miljonilise toetuse sai keskus otse Valitsuselt, mille vahenditest ligi pool kulus ülikooli teiste instituutide arvutiparkide edendamiseks. Valitsust imponeeris keskuse juhataja poolt peaministrile esitatud projekt, kus oli näidatud, et Valitsuse osa finantseerimisel moodustab kõigest kahekümnendiku Euroopast juba hangitud riist- ja tarkvara maksumusest.

Otseleping firmaga SUN Microsystems seisnes selles, et nelja serveri ostmisel saab ülikool boonusena iga serveri kohta kümme SPARC-1 tööjaama. Kolm serverit oli keskus ülikoolivälistе vahenditega juba muretsenud, neljanda hankimiseks eraldas lõpuks ka rektoraat oma panuse. Niiviisi asendati kogu endise arvutiklassi aegunud riistvara 40 uuema tööjaamaga, millistel seejärel käis aastaid täiskoormusel õppetöö, ja mida õppetööst vabal ajal rohkem kui 2500 tarbijat pidevalt kasutas.

EKK projektijuht Kaido Vainomaa selgitab EL TEMPUS ohvitserile Torino büroost ms. Claudia Oehlile Keskuse edu tagamaid

Peaaegu kogu arvutitehnika instituudi poolt korraldatav laboratoorne töö toimus keskuses. Keskust kasutasid informaatika instituut, keemikud, matemaatikud... Õppetöö arengukontseptsioonid määrasid tarkvara valiku, aga õppetöö laiahaardelisus ning olemasolevad platvormid määrasid omad kitsendused.

Disainiõppes realiseerisime moodsat *„learning by doing“* kontseptsiooni, mis seisnes professionaalse tarkvara iseseisvas kasutamises projekteerimistööl tudengite poolt. Tarkvara keerukus eeldas pidevat konsultatsiooni, mille tagasime nii, et magistrantide-doktorantide teadustöö toimus samas ruumis üliõpilastega. Igal tudengil oli võimalus igal hetkel vanemale kolleegile küsimusi esitada.

Teisest küljest, nii mitmedki tudengiprojektid moodustasid osa mingist keskuse teadusuuringust. Selliselt realiseerus õppe/teadustöö sümbioos, mis ülikooliõppele andis kõrge kvaliteedi. Nõnda õpetasime näiteks ka USA Michigani Ülikooli tudengeid Tallinnas ja Helsingi Tehnikaülikooli õppureid Soomes. Teiste sõnadega, keskuses olid loodud eeldused ka välistudengite õpetamiseks rahvusvahelisel tasemel juba 90-ndate keskel.

Saatuslik pööre

Elektroonika kompetentsuskeskuse saatuse määras tema „geograafiline“ asukoht, kui toimus maalihe. Ühel hetkel algasid uues *automaatikateaduskonnas*, millega oli ühinenud **Rein Jürgensoni** juhitud informaatikainstituut, „maailmavaatelised“ erinevused. 1994. aasta sügisest oli teaduskonna senise dekaani **Jaan Võrgu** asemel ametisse astunud **Leo Mõtus**, kes erines oma eelkäijast suurema nõudlikkusega teadustöö kvaliteedi suhtes teaduskonnas. Ühe esimese aktsioonina koostas uus dekaan koos prodekaan **Eiko Kängsepaga** dokumendi *„Teaduskonna ülesannetest ja eesmärkidest aastateks 1994-1996“*, milles ühe olulise osana nähti teadustöö kvaliteedi tõstmist teaduskonnas. Mitmetel põhjustel, kus üheks oli kindlasti erinev arusaam sellest, kuidas hinnata õppejõu teadustöö kvaliteeti, hakkas aegamisi ilmnema teaduskonna eri instituutide/keskuste vaheline veelahe.

Järjest enam hakkasid eristuma kolm instituuti – informaatikainstituut, raadio- ja sidetehnika instituut ning arvutitehnika instituut, mis viis teaduskonna nõukogus välja kahe leeri kujunemiseni. Mõnel määral valgustab selle lõhe tekkimise põhjuseid ja tagamaid prof. Rein Jürgenson oma ajaloolistes meenutustes.[25] Arusaamade erinevus teaduskonnas viis selleni, et nimetatud kolm instituuti alustasid TTÜ nõukogu 20.06.1996 otsusel järgmist õppeaastat uue omaette *infotehnika* teaduskonnana, mis hiljem nimetati ümber *infotehnoloogia* teaduskonnaks.

Nagu aeg näitas, ei olnud see teaduskonna kaheks jagunemine tark tegu, sest peagi ühinesid need samad kaks teaduskonda tagasi – järkjärgult, instituut instituudi järel, taas endiseks tervikuks, nüüd küll uue nimega infotehnoloogia teaduskonnaks.

Umbes samal ajal tahtsid ka poolakad Varssavi Tehnikaülikoolis infotehnoloogia süsteemidest ja riistvarast lahku viia, põhjuseks raha – tudengeid meelitavad rohkem arvutid kui traditsiooniline elektroonika. Aga nad loobusid sellest kui lühinägelikust ideest. Lääs liikus hoopis vastupidises – ühinemise suunas.

Keskus „rataste vahel"

Teaduskonna lagunemise üheks valupunktiks kujunes aga küsimus: *kumba poolde peaks jääma elektroonika kompetentsuskeskus?* Keskus, mille missiooniks oli „teenida" just seda äsja lagunenud kooslust tervikuna, määrati *süsteemitehnika teaduskonda*, kusjuures tema töökeskkonna kõige intensiivsemad kasutajad jäid *infotehnika teaduskonda*.

Elektroonika kompetentsuskeskus oli sattunud olukorda, kus ta oleks pidanud oma ressursse jagama kahe teaduskonna vahel, milles iseenesest polekski midagi halba olnud, kui talle oleks määratud analoogiline staatus nagu arvutuskeskusel, kes teenindas kõiki teaduskondi. Ometi pidas rektoraat vajalikuks määrata keskus konkreetselt just ühte kindlasse – süsteemitehnika teaduskonda, luues sellega kunstliku barjääri keskuse ja tema loojate ning põhitarbijate vahel. Määramine toimus puhtformaalselt – „ilusa poisslapse nime järgi": elektroonika keskus pidi minema sinna, kuhu läks elektroonika instituut.

Probleem oli ainult selles, et kaks erinevat struktuuriüksust – keskus (EKK) ja arvutitehnika instituut (ATI) – moodustasid sisuliselt terviku, mille ideoloogiliseks tuumaks oli arvutitehnika ja diagnostika õppetool. Seega EKK ja ATI määramine eri teaduskondadesse tähendas sisulise terviku lõhkumist. Ja puänt oli selles, et niisugust lõhkumist justkui õigustas atribuut „elektroonika" keskuse nimes.

Kuivõrd EKK missiooniks oli olnud – olla tervikliku ühtsuse sümbol, siis EKK-le peale sunnitud poolevalik ei olnud ei loogiline ega eetiline. Probleem oli ju iseenesest triviaalne – EKK ressursi peale konkureerisid mõlemad teaduskonnad. Seega ainsaks mõistuspäraseks lahendiks selles „struktuurimängus" oleks olnud keskuse otsealluvus rektoraadile, analoogselt arvutuskeskuse staatusele.[26]

Sisulise terviku EKK-ATI lahutamine tähendas ühe seni väga tulemuslikult funktsioneerinud koosluse likvideerimist ülikoolis, ehk siis digitaalelektroonika disaini mootori „lahti monteerimist" selle vankri eest, mida ta vedas. Likvideeriti kooslus, mille tegevust veel aasta tagasi oli hinnatud ainsana endises suures teaduskonnas hindega „väga hea". Ja mida tähendas üldse selle sisulise terviku „EKK ja ATI" lahutamine? EKK sisuline tea-

[25] Rein Jürgenson. Informaatikainstituut I. TTÜ kirjastus, 2009.
[26] R. Ubar. Kas Tehnikaülikoolis võiks olla mitu arvutuskeskust. „Tehnikaülikool", Nr. 21-22. Dets. 1996.

duslik kompetents – inimesed (õppejõud ja teadurid) – kuulusid ju vormiliselt ATI-sse. Aga selle põhiküsimuse arutamist, kuhu poole selles „abielulahutuses" jääb kompetents, hoopiski välditi, eeldades, et see oleks justkui loomulik, et EKK läheb süsteemitehnika teaduskonda koos oma kompetentsiga.Kuid see oleks tähendanud seda, et ATI-st oleks ära tulnud viia üks õppetool, kuhu see kompetents oli koondunud. Reageerides administratsiooni survele tekitada keskusesse uus õppetool, tegi EKK juhataja siis omapoolse ettepaneku viia koos EKKga selle sisuline kompetents (ehk siis tema enda õppetool) ka struktuurselt keskuse alluvusse, mis aga oleks tähendanud ühtlasi ATI lõhkumist. Selle ettepaneku ülikooli nõukogu ka rahuldas. Kuid nõukogu otsus ei osutunud juriidiliselt teostatavaks, sest TTÜ-s oli õppetooli mõiste iseseisva struktuuriüksusena määratlemata. Hägusalt defineeritud vaidlusobjekti üleviimine ühest teaduskonnast teise oleks viinud üksnes valuliste kompromisside otsingutele, mis lõppkokkuvõtteks oleks tähendanud nii või teisiti arvutiõpetuse dubleerimise algust mõlemas uues teaduskonnas. Tragikoomika seisnes selles, et teaduskonna tasemel alanud lõhenemine oli jätkumas nüüd juba ka ühe instituudi tasemel. ATI direktori reaktsioon oli aga ühene: instituuti ei tohi lõhkuda.

Rataste vahele jäänud keskuse juhataja jaoks oleks edasine diskussioon selles küsimuses tähendanud ka siin eetilise barjääri ületamist, mistõttu ta astus „areenilt" lihtsalt kõrvale, loobudes nii õppetooli üleviimise taotlusest kui ka keskusest – oma viimaste aastate „elutööst". Tal oleks tõepoolest olnud võimalus – loobuda oma endisest õppetoolist ja luua täiesti uus, nagu talle soovitati. Aga ta ei osanud endalegi selgeks teha niisuguse sammu motiivi...

Probleem lahendati lõpuks Rektori saalomonliku ettepanekuga (10. sept. 1996):

1. EKK kui struktuuriüksus säilitatakse eelkõige kaubamärgi tähenduses, kuid mitte rohkem kui ühe töötajaga. Seejuures jääb EKK süsteemitehnika teaduskonda ja sisuliselt ootama, et selle kaubamärgi all hakkaksid realiseeruma elektroonikadisaini projektid.
2. EKK praegune personal viiakse arvutitehnika instituuti koos EKK eelarveliste vahenditega. Sama toimub ka EKK varadega.

Praktiliselt realiseerus see lahutusprotsess, milles enam ei osalenud keskuse juhataja, siiski järgmiselt: keskuse „nimi" viidi küll süsteemitehnika teaduskonda, aga keskus ise ikkagi lõhuti: suurem osa keskuse riistvarast (ka see osa, mille kooslus EKK-ATI oli ühiselt oma teadusprojektide abil muretsenud) ühendati ülikooli arvutuskeskusega, väiksem osa aga (PLD-labor) jäeti arvutitehnika instituuti. Seega „karistada" said sisuliselt mõlemad lahku löönud teaduskonnad.

Möödus aasta

Elektroonika kompetentsuskeskus oli nüüd töötanud süsteemitehnika teaduskonnas uutel põhimõtetel uue juhataja **Aivar Uski** käe all. Keskuse endine juhataja arendas edasi teadustööd arvutitehnika instituudis oma vanas õppetoolis ja kasutas seda väikest osa endise keskuse arvutiplatvormist, mis oli jäetud alles ATI-sse.

Keskuse kaks klassi ja teaduslabor olid üles ehitatud ühtselt, nüüd oli tervik lõhutud ja ressursside optimaalse ja dünaamilise jagamise võimalus õppe- ja teadustöö vahel välistatud. Jagamise printsiip oli olnud formaalne. Sisuliselt oli ATI kaotanud suurema osa oma serveriressursist ja laboribaasist, mis oli üle viidud arvutuskeskusesse. Selle kao tõttu muutus olematuks suur osa arendustööst EKK-s, mis oli toimunud aastatel 1994-96 TEMPUS projekti JEP 4772 raames.

Kogu ATI arengukontseptsioon oli saanud löögi – põhikursuste „Arvutid I“ ja „Arvutid II“, mida läbis rohkem kui 300 üliõpilast aastas, ning suure osa ATI informaatika ainete laboribaas asus nüüdsest ülikooli arvutuskeskuses. Arengukavad selle baasi kasutamiseks ja edasiarendamiseks olid nüüd katki lõigatud (ei saanud ju ATI arendada „oma“ laboribaasi, mis asus teises administratiivses struktuuriüksuses ja pealegi, mis oli jäänud pärast lahutusele järgnenud ümberkolimisi veel ka teise õppekorpusesse.

Aga need olid väikesed kaotused. Suurem tähtsus oli põhimõttelisel tagasiminekul, mis mõjutas kahtlematult nii õppe- kui teadustöö tulevast kvaliteeti.

Kahe kõrvuti ruumides asunud õppeklassi ja teaduslabori lahutamisega oli lõhutud õppe- ja teadustöö ühtsus – võimalus realiseerida meetodeid *„learning by doing“* ja *„method of clinics“* – edumeelsed pedagoogilised meetodid nii raskes insenerivaldkonnas nagu mikroelektroonika. Enam ei olnud võimalik teha oma igapäevast tööd kõrvuti ühes ruumis tudengitel ja teaduridel, et vajadusel saada on-line abi ja konsultatsiooni. Keskuse kolmeks tükiks jagamine ei tähendanud mitte eraldiseisvate tükkide loomist, vaid seinte ehitamist inimeste vahele. Kadus sünergism, mis veel päris hiljuti oli toiminud ja inimesi innustanud.

Möödus veel üks aasta ja elektroonika kompetentsuskeskus süsteemitehnika teaduskonnas likvideeriti.

Reis Ameerikasse

Meie keskuse luigelauluks sai tore reis Ameerikasse. Tänu vanale tuttavale Ukrainast prof. **Alex Tetelbaumile**, kes nüüd töötas Michigani Ülikoolis USA-s, panime käima õppejõudude ja tudengite vahetuse USA ja Eesti vahel. Üks nende *ca* 15-liikmeline delegatsioon käis Eestis, millele meie vastasime vastuvisiidiga Michigani. Rühmas, kes USA-sse sõitsid, olid kaks meie parimat tudengit **Jaan Raik** ja **Priidu Paomets**, EKK tegevjuht **Uno Kuuskor** ja kolm professorit eri teaduskondadest – **Andres Öpik** ja **Karl Õiger**, kes osalesid USA tudengite vastu võtmisel Eestis, ja EKK teadusjuht **Raimund Ubar**.

Pärast loengute pidamist ja Michigani Ülikooliga tutvumist saime võimaluse pisut reisida mööda Ameerikat. Me käsutusse anti väike buss, millega sõitsime kümme päeva mööda idapoolseid osariike Kanada piirist kuni Texaseni. Nägime, kuidas elavad indiaanlased Suurjärvede ääres, nautisime autentset kantrit Nashville'is ja neegrite bluusi Memphises. Nägime Elvis Presley'i valget cadillac'i tema Gracelandi muuseumis.

Kasutasin võimalust ühitada selle sõiduga ka visiiti oma kolleegi prof. **Jim Armstrongi** juurde Virginia Tech'i Blacksburgis, tutvumaks sealsete diagnostikutega, eeskätt prof. **Dong Ha**'ga, kelle rikete simulaator HOPE on väga tuntud maailmas. Pidasin seal ka ühe loengu, mis viis suure vastastikkuse huvi tekkimisele, eriti Turbo Testri ja HOPE teemal. Armstrong on üks tuntumaid arvutiteaduse ja VHDL keele gurusid maailmas. Temaga tekkis meil idee kirjutada ühine raamat VHDL-i mudelitest ja minu graafidest, mis jäi küll teostamata.

Elu osutus meile mõlemale liiga kiireks… Elasin viis päeva tema kodus, musitseerisime koos, tema kitarril, mina suupillil, Jimmy abikaasa laulis. Koos oma naisega olid nad mõlemad innukad tegijad kohalikus kirikukooris, käisin neid ka kuulamas. Õnnestus nautida veel ülikooli džässigruppi, kui andekad olid nende *a capella* soleerijaid.

Kas Tehnikaülikoolis võiks olla mitu arvutuskeskust[27]

Elektroonika kompetentsuskeskuse arenguplaan oleks võinud kontsentreeruda vähese arvu võimsate tööjaamade hankimisele ja tugeva teaduslabori kujundamisele. Ent käivitades tühjale kohale uudset kõrgtehnoloogia valdkonda oli tähtsam mõelda mitte üksikute disainerite koolitamisele, vaid kriitilise massi eriteadmistega arvuti- ja elektroonikainseneride harimisele. Just seepärast saigi keskuse ideoloogia aluseks orienteeritus avaramale töökeskkonnale ja paljude töökohtadega server-klient tehnoloogiale. Samal ajal aga toimis paradoks: elektroonika disaini jaoks vajatav maksimaalvõimsus on suur, aga disain üksinda ei koorma ressursse pidevalt.

Keskuse funktsioonid ja arengukontseptsioon lähtusid tema põhimäärusest, kus elektroonika disaini kõrval oli ettenähtud ka keskuse avatus tervele ülikoolile informaatika alaseks kasutuseks. Ressursikasutuse optimeerimist silmas pidades arenesidki keskuses käsikäes nii spetsialiseeritud kui üldotstarbeline infotehnoloogia õpetus. Selle asemel, et keskust taunida „mittesihipärases" tegevuses (informaatika pro elektroonika), oleks pidanud ressursikasutuse optimeerimises hoopis efektiivsust nägema. Tsiteerides endist haridusministrit **Jaak Aaviksood**, *„olevat ainsaks abinõuks võitluses arvutikeskkonna kiire vananemisega selle maksimaalne koormatus"*. Veelgi enam, arvestades Eesti väiksust ja konkreetseid vajadusi võib kõrgtehnoloogia õppekeskkondade rajamisel ressursi optimaalse kasutamise probleem küllalt tüüpiliseks kujuneda, kus sobivaks lahenduseks võitluses arvutustehnika moraalse vananemise vastu (kui seda teha) näib olevat niisuguste keskkondade multifunktsionaalne kasutamine.

Mitu (arvutus)keskust võiks olla Tehnikaülikoolis? Kontsentreeritud arvutiressursside, nende avatud kasutuspõhimõtte ja mõnede funktsioonide poolest sarnanes EKK traditsioonilise ülikooli arvutuskeskusega, aga juhtkonna arvates polevat ülikoolil kahte arvutuskeskust vaja.

Selles spetsialiseeritud EKK arvutiklassis ühendusid kaks ülikooli funktsiooni: digitaalsüsteemide disainiõpe ja disainiteadus.

Tegelikult kujutas EKK endast spetsialiseeritud infotehnoloogia keskust, mille spetsiifikaks traditsiooniliste arvutuskeskuse funktsioonide kõrval oli orienteeritus eritarkvarale ning spetsiifilistele rakendustele ja sellest tulenev eri spetsialistide kaadri vajadus (eritarkvara haldamiseks, arenduseks, rakenduseks, konsultatsioonide tagamiseks). Pidades silmas optimaalse ressursikasutuse elulist tähtsust ülikoolile, olekski tulnud analüüsida vajadusi teistegi analoogsete spetsialiseeritud keskuste (server-klient komplekside) järele. Spetsialiseerituse tõttu poleks vaja olnud neid ühendada ebamäärase vastutusega konglomeraadiks – ainsaks suureks ülikooli arvutuskeskuseks. Pigem võiksid neist kujuneda struktuuriüksused

[27] Lühendatud väljavõte artiklist: R. Ubar. „Kas Tehnikaülikoolis võiks olla mitu arvutuskeskust. „Tehnikaülikool", Nr. 21-22. Dets. 1996.

teaduskondades – (arvutus)keskused, mis rahuldaksid teaduskonna spetsiifilisi vajadusi arvutiressursside järele, olgu siis õppekeskkonna, projekteerimisvahendite, multimeedia või teleõppe võimaluste mõttes.

Niisuguseid keskusi tsentraalselt toetada nende tsentraalse rolli tõttu peaks olema ülikooli kohustus ja missioon. Need keskused võiksid, ühelt poolt, kujutada endast tugistruktuuri (arvutiressurss, konsultatsioon, teabesiire), teiselt poolt aga võiksid nad koordineerida ka teadustegevust teaduskonnas. Üksnes virtuaalne koordineeriv keskus ilma tugistruktuurita ja teadustegevuseta võib kergesti kujuneda elujõuetuks ja formaalseks institutsiooniks.

Erinevalt arvutuskeskusest oli elektroonika kompetentsuskeskusel veel teinegi dimensioon – sünergiat genereerivate assotsieerunud liikmete olemasolu (arvutitehnika, elektroonika ning automaatika ja süsteemitehnika instituutide õppetoolid).

Assotsieerunud liikmete olemasolu muudab oluliselt keskuse rolli ja tähendust, sõltuvalt sellest, kas keskus esineb sise- või välispoliitilise subjektina. Sisepoliitilises mõttes on olulised need funktsioonid, mida keskus täidab selles koosluses, mille keskmeks ta oli. Need funktsioonid peaksid olema ka taolise keskuse finantseerimise objektiks ülikooli sees. Välispoliitilises mõttes esindab keskus aga eeskätt temaga assotsieerunud koosluse tervikut (suurema kriitilise massina).

Elektroonika kompetentsuskeskuse trumpkaartideks sisepoliitilises mõttes olid spetsialiseeritud suunitlusega arvutikeskkond, selle arendus, korrashoid ning kasutamise võimaldamine assotsieerunud liikmetele ja avatud juurdepääs UNIX-keskkonnale peaaegu poolele TTU üliõpilaskonnale. Nende funktsioonide täitmist oleks pidanud ka ülikool vastavalt finantseerima.

Ometigi just EKK toetavaid ja eeskätt informaatika-alase avatud kasutuse funktsioone tema tegevuses ei soovitud märgata ja finantseerimise põhiobjektiks peeti teadustegevust. See viis teatava vastuoluni keskuse ja temaga assotsieerunud liikmete vahel - keskus muutus teadustegevuse tulemuslikkuse majasiseses arvestuses oma kasutajatele (assotsieerunud liikmetele) konkurendiks, mis tähendas seda, et assotsieerumine ja keskuse kasutamine oleks tulnud viia turumajanduslikule alusele. Vähemalt täna pole turumajanduslik suhtlemine Tehnikaülikooli struktuuriüksuste vahel reguleeritud ega autori arvates hetkel ka otstarbekas.

Välispoliitilises mõttes tuleks keskuse väljundit ja tulemuslikkust aga vaadelda laiemalt – läbi koostöö assotsieerunud liikmetega. Vaid niiviisi kannaks keskus rahvusvahelises mastaabis vajalikku kaalu ja haaret, mis teeks ta huvipakkuvaks näiteks rahvusvahelisel projektiturul. Välispoliitilises mõttes tuleks EKK-d kui virtuaalset assotsiatsiooni vaadelda täiesti üheselt teaduskeskusena, mille trumbiks oleksid kogu assotsiatsiooni teadustulemused - publikatsioonid, rahvusvaheline koostöö, osalemine europrojektides jne. EKK välispoliitiline tegevus (esinemine rahvusvahelisel projektiturul) oli seni toetunud suuresti üksnes keskuse asutajaliikme arvutitehnika ja diagnostika õppetooli „aktsiatele".

Elektroonika kompetentsuskeskus oli tõenäoselt ülikooli kõige intensiivsema kasutusega ja kõige avatum arvutikompleks. EKK oli labor, kus töö käis ka pühapäeviti, sest muidu poleks olnud võimalik saavutada tuntust ja püsida konkurentsis Euroopas.

Keskuses võis tinglikult eristada kahte poolt – disainilaborit ning arvutiklasse, mis mõlemad olid, ühelt poolt, arvutitehnika instituudi infotehnoloogia alase õppe/teadus-

too baasiks, ning teiselt poolt, täitsid ka arvutuskeskuse rolli (avatus kasutamiseks tervele ülikoolile, internet 2800-le aktiivsele tarbijale, infoserverid jms.). EKK eristamine kaheks pooleks oli tinglik ja pidas silmas vaid töökohtade ruumilist jaotust. Keskuse infrastruktuuri süda - serveriressurss oli aga lahutamatu ja selle võimsuse määrasid elektroonikadisaini vajadused.

Seda keskust teise korpuse teise korruse koridori lõpus, kus kolm aastat oli pulbitsenud elu ja akadeemiline vabadus, ei olnud enam. Ta oli loodud teaduskonna jaoks, mida ei eksisteerinud enam.

Jüri Põldre: PLD labor Tallinna Tehnikaülikooli[28]

PLD[29] labor loodi Tallinna Tehnikaülikooli arvutitehnika instituudi juurde 1993. a. Euroopa Ühenduse abiprojekti TEMPUS finantsidest. Projekt on arvestatud kolme aasta peale ja praegu on viimane aasta. Algselt planeeritud kolme SUN ja kahe PC töökoha asemel oleme me loonud 10 universaalset SUN/PC töökohta kasutades Public Domain unixit- Linuxit. Projekti kolmandal aastal on plaanis PC-de arvu suurendada 15ni. Selliselt on võimalik masinal valida pärast alglaadimist süsteem, milles töötada. Ühelt süsteemilt teiselt üleminek võtab aega 5 minutit. Praegu kasutatavate CAD süsteemide korral, milles puudub kolme mõõtmeline graafika ei ole tarbija jaoks kiiruses vahet kas ta kasutab tööjaama otse või läbi Linuxi Xterminali. Sellisest konfiguratsiooni valikust pisut täpsemalt allpool.

PLD võrk koosneb seisuga 1.01.1995 juba nimetatust 10st PCst, SUN 20/502 serverist ja SUN IPX tööjaamast. SUN IPX tööjaam, mis sai ostetud projekti esimesel aastal, oli esialgselt põhiliselt platvorm CAD programmide õppimiseks. Praegu on ta kasutusel kui marsruuter ülikooli võrgu ja PLD võrgu vahel. Samuti kasutame me teda elektronposti (e-mail) ja www serverina, veel on võimalik nii modemside kui ka faxide saatmine/vastuvõtmine.

Server SS20/502 on kasutusel kui failiserver PC/MSDOS jaoks ja kui arvutusplatvorm Sparc CAD programmide jaoks. Kasutades PC Linuxi keskkonnas vabastame me serveri graafika töötlusest, mis moodustab meie CAD programmide puhul umbes 40% arvutuslikust võimsusest. See on eelkõige tingitud režiimist – enamus tööd toimub õpetamise korral redaktoris. Samuti on võimalik kasutada tekstiredaktoreid ja Internetiteenuste kasutajaliides programme PC keskkonna, jättes seda enam serveri arvutuslikku võimsust vabaks Sparc CAD programmide jaoks. Praegu moodustavad arvutusliku võimsuse kaks 50MHZ superSparc protsessorit ja 128 MB op mälu. Sel aastal on plaanis laiendada mälu veel 64 MB võrra, kuna koormuse analüüs on näidanud, et just mälu on piirav mitmekasutaja reziimis meie jaoks.

Siinkohal peab esile tooma veel kahte olulist momenti, mis räägivad serveri kasuks. Juhul, kui me oleks algse plaani kohaselt läinud tööjaamade teed, oleks meil olnud praegu kogu arvutuslik võimsus jagatud mitme erineva masina-tööjaama vahel, samuti oleks võrk olnud tunduvalt enam koormatud NFS protokolliga, mis tarvitab X (Graafika) protokolliga võrreldes 100 korda rohkem võrgu ressursse.

---

[28] Jüri Põldre mälestused ajast, mil ta pühendus esimese ülisuure integraalskeemi projekteerimisele ja valmistamisele Eestis (kirjutatud aastal 1995).

[29] PLD – *Programmable Logic Devices* (Programmeeritavad loogikaseadmed).

Teine aspekt puudutab psühholoogilist momenti. Nimelt on kasutajal tunduvalt lihtsam algselt tutvuda Unixi maailmaga, kui kasvõi midagi sellest talle tuttav on. Kui aga ainsateks kokkupuutepunktideks on cd käsk, siis tekib trots. Kui nüüd vaatab talle laua pealt vastu sama tuttav PC, siis on see väga julgustav. Mis sellest, et algselt ei saa kasutaja paris hästi aru, et programmid reaalselt töötavad teises arvutis. Kui ta selleni jõuab, siis ei tundu see fakt enam nii (hirmus) uus.

See tundub imelik. Lihtsalt ei ole olemas häid, odavaid ja universaalseid lahendusi. Kuskil peab keegi tegelema heategevusega. Miks siis kõik firmad ei kasuta sellist lahendust? Esiteks, ei ole me firma sõna otseses mõttes. Ka meie toodame, kuid me ise ei saa sellest rikkamaks ühiskonnas levinuima väärtuse ekvivalendi - raha võrra. See rahuldus, mida me saame või ei saa teiste inimeste õpetamisest, ei kuulu veel maksustamise alla. Tänu sellele, kuid mitte ainult sellele, tehakse meie jaoks mitmeid soodustusi, millest olulisemad meie jaoks on kõikvõimalikud rahalised soodustused - alates seadmete ning programmide (töö- ehk õpetamisvahendite) ostmisest 50 korda odavamalt kuni allahinnatud bussipiletiteni. Sellega hoitakse üleval meie huvi uuenduste vastu, toidetakse meie teadmiste janu ning missioonitunnet ja reklaamitakse oma firma toodangut. See oleks nagu meile palga maksmine selles „vääringus“, mis meid kõige enam huvitab, ehk palgapäeval sihtotstarbelise raha andmine – selle raha eest (3-6%) sa elad, ülejäänud „rasvane“ pakk ((100-(3-6))%) on ette nähtud uute sind huvitavate (ning meile kasulike) huviobjektide ostmiseks. Et olla täiesti kindlad, ei anta seda raha igaks juhuks meie kätte- äkki me ikka ei osta õigeid asju. Selle asemel antakse meile neid objekte hinnaalandusega. Seda loetakse ühiskonnas normaalseks (tegelikult vist on ka) ning keegi ei tauni õppeasutusi, kui seal kasutatakse nn. PD (Public Domain) ehk üldkasutatavat tarkvara. Selle hulka kuulub ka Linux, mille jaoks paljud programmeerijad üle maailma on andnud oma panuse. See on nende poolne eneseреklaam, ning nad ei või endale lubada lohakust. Muidugi juhtub vigu, kuid teine samasugune programmeerija, et näidata oma paremust, toob selle imekiiresti välja. Selles mõttes on Linuxil olemas tohutu toetus. Kuid pole absoluutset garantiid, vastupidiselt enamusele ostetud asjadele. Siit tulenevad põhjused miks meie saame ja nemad ei saa kasutada Linuxit - See on eelkõige vastutuse küsimus. Kui tootele on antud garantii, siis peaks ka selle toote tekitamiseks olevatel toodetel olema garantii, ehk Linuxi korral tuleb õnnetul süsteemioperaatoril ise kinni maksta kahjud, kui see on tingitud OP süsteemi veast. Kui ta kasutab näiteks SUN-i tarkvara siis on firma talle selle võlgu. Et olla kindlad, et inimesed sellest ikka korralikult aru saavad, on olemas veel seadused, mis reglementeerivad PD tarkvara kasutamist kommertssfääris. Need summad on väikesed, mis tuleb saata autori(te)le, tihti neid ei olegi. Kuid autor ei vastuta vigade eest. Nii et ise tead, kas võtad enda peale vastutuse või ei võta. Kui on tegemist paari sõbra ja kolme arvutiga, siis muidugi. Kui aga on suur firma, mille raha sa ei tunneta, siis oleks see enesetapp sellist vastutust enda peale võtta.

Eelnevast peaks olema üsna selgesti välja loetavad põhjused, miks meie labor on just selliselt üles ehitatud. Tuleme nüüd tagasi konkreetsete asjade juurde. Programmidest on meil kasutada Xilinxi ning Altera kiipide projekteerimissüsteem, kusjuures viimast on meil 20 litsentsi. Õppetöö toimus esimesel aastal põhiliselt Xilinxi PC versiooni tarkvara peal, kuna SUN/IPX oli liiga nõrk, et tema peal korraga jooksutada mitut programmi. Teisel aastal on lisandunud Cadence ASIC CAD ning Synopsys loogikasünteesi pakett.

Mõlemaid on kasutatud laborite läbiviimisel **Toomas Plaksi** loengu kursuste praktilise osa raames. Synopsys on praegu meie valus küsimus, kuna selline loogikasüntees ning VHDL simulaator on üks enam vajaminevaid süsteeme. Sel aastal ostame me juurde 5 litsentsi Synopsyst ning võime teda hakata kasutama õppetöös. Peale Eurochipi oleme me veel kontaktis Xilinxi firmaga läbi Eesti esinduse, kust me oleme saanud PC versiooni XACT tarkvarast. Ma ei hakka siin loetlema summasid, kui palju miski on odavamalt saadud, kuna seda probleemi puudutasin juba eelnevalt.

Lõpetuseks tahaks öelda paar sõna ühest olulisemast ressursist. Nimelt on praegu tekkinud probleem inimestega, kes selle kõigega tegelevad. Et palgad on väikesed. Tegelikult ei ole. Meie igakuine palk on umbes 20,000- 50,000 EEK. Aga me lihtsalt ostame selle raha eest uut tark- ja raudvara võimalikult soodsalt ning hea meelega, ise põledes vaimustusest. Rumal, eks ju. Aga kas ikka on?

Mikroprotsessor TTÜ-st transistori 50. sünnipäevaks[30]

Jõulu eelõhtul, 23. detsembril saab transistor, tänase infotehnoloogia ehituskivi, 50. aastaseks. Seda sündmust tähistavana võis vaadelda novembri keskel Tallinna Purjespordikeskuses toimunud rahvusvahelist konverentsi „Norchip 1997“, kus esinesid 10 riigi teadlased ettekannetega uusimatest tulemustest elektroonika-, arvutustehnika ja telekommunikatsiooni valdkondades. Konverents toimus Tallinnas tunnustamaks Eestis tehtava teadustöö taset ja rahvusvahelist mainet. Viimase tõenduseks oli tervelt viis ettekannet TTÜ arvutitehnika instituudist.

Jüri Põldre projekteeritud esimene „ülisuur“ „mikrokiip“ Eestis

Eriti väärib ära märkimist TTÜ magistrandi **Jüri Põldre** esitatud ettekanne esimesest Eesti ülikeerukast integraalskeemist, mis hiljuti valmis TTÜ ja Küberneetika Instituudi koostööna. Pöidlasuurune ligi miljon transistori sisaldav mikroskeem ületab keerukuselt personaalarvutites kasutatava protsessori Intel 80386. Seade võimaldab salastatud sidepidamist läbi avalike infokanalite ja peaks huvi pakkuma nii laiale tarbijaskonnale (politsei, kaitseväegi, pangad, mobiiltelefonide kasutajad) kui ka Eesti tööstusele perspektiivse toote näol.

Nimetatud saavutus on tunnistuseks kompetentsusest infotehnoloogia riistvara projekteerimise alal, milleni on jõutud arvutitehnika instituudis visa ja pikaaegse läbimurdena lausa tühjast kohast tänasesse kõrgtehnoloogilisse Euroopasse. Viimase viie aasta jooksul on instituut osalenud tervelt 7 europrojektis programmide ESPRIT, COPERNICUS, TEMPUS jt. raames, mis on võimaldanud nii väljaõpet rohkem kui 50 tudengile ja õppejõule Lääne juhtivates teadusasutustes kui ka professionaalse projekteerimiskeskkonna rajamist instituudi juures.

Keskkond on unikaalne terves Eestis ja pakub reaalset võimalust innovatiivse tehnika loomiseks – tehisintellekti viimiseks igapäeva ellu „mini-ajudena“ ehk „tarkade putukatena“ traditsiooniliste kopsakate arvutite asemel, konkureerimaks Euroopa kõrgtehnoloo-

[30] Raimund Ubar. Mikroprotsessor Tehnikaülikoolist transistori 50. sünnipäevaks. „Horisont“, 8, 1997.

gia eesliinidel. Selleks pole tarvis omada kallist tehnoloogiat Eestimaal, piisab väljaõppinud inseneridest ja töövahenditest – arvutiprogrammidest. Nii näiteks TTÜ arvutitehnika instituudis töötab ühes arvutis programm, mis asendab eelmise kümnendi tüüpilise 300-st insenerist, konstruktorist, keemikust, mehaanikust, monteerijast, ökonoomikust ja raamatupidajast koosneva elektroonika konstrueerimisbüroo. Ka see programm on keeruline ja kallis, makstes umbes 100 korda enam kui arvuti ise, aga ta on juba Eestis olemas ja on ka noori inimesi, kellele see tarkvara kuuletub.

Just selle tarkvaraga loodigi see ülikeerukas mikroprotsessor. Skeemi kood (numbrite ja tähtede rida) saadeti interneti kanalite kaudu ühte tehasesse Euroopas, kust mõne aja pärast tuli tavalise posti teel valmis mikroskeemide partii tagasi Eestisse. See ongi üks väike näide globaliseeruvast ja koopereeruvast maailmast, kus iga riik peab omale võimalikult tulutoovamad ökoloogilised niššid üles leidma. Mikroskeeme valmistav tehas on kallis, mikroskeemi valmistaminegi seal on seetõttu kallis, aga veel kallim on see numbrite rida, mille panid kokku paar eestlast ja saatsid tehasesse Euroopas. Veel kallim seetõttu, et selle numbrite rea taga on haridus, teadmised ja kogemus.

Mikroskeem üksinda pole veel kaup kui niisugune, see tuleks kohandada mehaaniliselt (või elektriliselt) konkreetse kohaga (esemega), mida on vaja muuta „intelligentseks“, olgu see auto süütemehanism, pesupesemismasina nivooregulaator või mobiiltelefon. Niisuguse toote (korpuse või plaadi) valmistamiseks oleks vaja töökoda või tootmisliini, milliseid meil Eestis juba on ja üha juurde tekib… Elegantse näitena võiks mainida tehast Elcoteq, mis tõsi küll toodab esialgu vaid Läänes projekteeritud kaupa ja seetõttu jätab Eestisse mitte tootest saadava kogukasumi vaid üksnes pisikese osa sellest - tootmisest tekkiva palgaraha. Aga ka palgatöökohad on olulised, ja neid tekib juurde niivõrd, kuivõrd tekib Eestis loomisvõimelisi insenere.

Väikeses 5-7 inimesest koosnevas elektroonikatooteid valmistavas firmas ei ole mikroskeemide disaini labori rajamine otstarbekas, kuna projekteerimistarkvara litsentsid on liiga kallid ja nende tulemusliku kasutamise juurde viiv tee pikk ja okkaline. Seoses sellega on maailmas levinud nn. *design house*'id, ehk projekteerimiskontorid, kel on olemas otsekontaktid mikroskeemide tootjatega. Niisuguste kontorite kaudu saavad elektroonikatooteid valmistavad firmad kasutada teenuseid konkreetsete mikroskeemide saamiseks ning seejuures tunduvalt odavamalt, kui ise ostes ning õppides kasutama projekteerimise tööriistu. Enamasti on sellised kontorid loodud ülikoolide juurde, kus on piisavalt kogemusi ja küllalt aega uueneva teabega sammu käia.

Eestis on niisuguse projekteerimiskontori funktsioone haaramas spetsiaalne labor Disaini ja Testi Keskuse näol (PLD labor) TTÜ arvutitehnika instituudis, kus loodigi ülal nimetatud mikrokiip.[31] Labor on tuntuks saanud ja tema teenuseid on kasutatud ka Soomes ja Rootsis. Koostöös firmaga Fincitec OY projekteeriti krüptoprotsessor, mida kasutatakse praegu Euroopa kiirteede maksustamissüsteemis. On teostatud ka projekte, mille väljund on programmeeritavas loogikas.

Tehisintellekti tungimisel igapäeva ellu muutub inimene üha sõltuvamaks arvutustehnika töökindlusest. Seetõttu selle tehnika projekteerimine peab käima käsikäes testimisega ja vigade diagnoosimisega. Instituudis asuv disaini ja testi keskus kujutab selles mõttes terviklikku ühendust, kuna oma arendus- ja teadustegevuses katab mõlemat aspekti – nii projekteerimist kui diagnostikat. Noortest magistrantidest ja doktorantidest koosnev

[31] http://www.pld.ttu.ee/design

diagnostikauurimisgrupp (**Jaan Raik**, **Gert Jervan**, **Antti Markus**, **Priidu Paomets** jt.) on allakirjutanu juhendamisel saanud kõrge rahvusvahelise tunnustuse, millest räägivad rohked publikatsioonid ja ettepanekud koostööks, rääkimata käsil olevatest rahvusvahelistest projektidest. Grupi poolt loodud diagnostikatarkvara on leidnud kasutust mitmetes ülikoolides raja taga, inseneride täienduskoolitusel ja teaduseksperimentide läbiviimisel.

> Kuna töö ülikoolis eeldab teadustulemuste saamist, mille tase vastaks maailma standarditele, siis uuringute temaatikat laboris kipub paraku määrama see, mis on tähtis maailmateaduses, kuid mitte Eestis… Miks ei võiks aga diplomiprojekteerimise teemad laboris olla Eesti-lähedasemad ja teenida meie elektroonikaettevõtete huve? Labor oleks kindlasti huvitatud sellest, et seal leiduv tehnoloogiline potentsiaal moodsate projekteerimisvahendite näol, oskused ning kogemus ja noorte hakkajate tudengite huvi ja energia leiaksid maksimaalse rakenduse Eesti ettevõtluses.

Elektroonika ja arvutitehnika sihtprogrammist

1993. a. valiti Teaduste Akadeemiasse kaks automaatikateaduskonna professorit **Leo Mõtus** ja **Raimund Ubar**. Leo Mõtuse valis välja kandideerimiseks automaatikateaduskonna nõukogu, Raimund Ubari esitasid kandidaadiks akadeemikud **Boris Tamm**, **Ülo Jaaksoo** ja **Olav Aarna**.

Ühe esimese aktsioonina „akadeemiku seisusesse" jõudnuna, olles ühtlasi Rootsi-Eesti elektroonika alase ühisprojekti ESTPID üks Eesti-poolseid vedajaid, võttis uus arvutitehnika instituudi akadeemik endale südameasjaks viia arvutitehnika ja elektroonika arendamine Eestis riiklikule tasandile. Kõige otsesemaks teeks selles suunas oleks olnud riikliku programmi väja töötamine ja selle läbisurumine kõrgematel tasanditel. 10. juunil 1993. läks arvutitehnika instituudist TTÜ rektoraati järgmine kiri:

> *Lp. prof. Rein Küttner! Käesolevaga teatan TTÜ automaatikateaduskonna nimel järgmist:*
>
> *Lugedes meile saadetud informatsioonina TA astronoomia ja füüsika osakonna ettepanekut Eesti vabariigi riiklike programmide kohta ja TA informaatika ja tehnikateaduste osakonda esitatud 6 alamprogrammi annotatsioone, kujunes arvamus, et oleks hädavajalik lülitada esitatud nimistusse veel üks – elektroonika edendamisele suunatud sihtprogramm. Informeerisin niisuguse programmi vajalikkusest akad. Boris Tamme, millesse ta suhtus väga positiivselt, ja lubasin selle koostada 15. juuniks 1993. Programmi esialgne nimetus võiks olla „Kaasaegne elektroonikadisain Eesti tööstusesse." Programmi väljatöötamisse on haaratud TTÜ automaatikateaduskond ja Küberneetika Instituut (H.Tani). Prof. Raimund Ubar*

TTÜ rektoraat kiitis sellesuunalise tegevuse heaks.

Esimesed teaduspoliitilised sammud iseseisvas Eestis

Eesti iseseisvuse lähenedes, 1980-ndate lõpul, üheaegselt Isemajandava Eesti (IME) idee formeerumisega võttis kuju ka Eesti teaduskorralduse reformi idee, mille põhiliseks tõukeks oli arusaam, et turumajanduse tingimustes peab teadussüsteem funktsioneerima erinevalt kui tsentraliseeritud plaanimajandusega N Liidus. Reformi eesmärkide hulka kuulusid näiteks: teaduse autonoomia taastamine, alusuuringute koondamine ülikoolidesse, teaduse finantseerimise põhimõtete muutmine, teadusraha jagamise funktsiooni andmine teadlaste endi kätesse.

Eesti teadusorganisatsiooni ja teaduse finantseerimise ümberkujundamise initsiaatoriks oli 3. juunil 1989 asutatud Eesti Teadlaste Liit (ETL), mille kaasesimeesteks valiti **Peeter Saari** (Tartu) ja **Jaan Laas** (Tallinn). ETL sünniga intensiivistusid väitlused teemal, kuidas

peaks toimuma teaduskorraldus Isemajandavas Eestis. 1989. a. 5. oktoobril toimunud sümpoosionil *„Teadusorganisatsioon ja IME"* algataski ETL Eesti teaduskorralduse reformi. Üksikasjaliselt on reformi läbi viimist kirjeldanud **Helle Martinson** oma raamatus.[32]

Valitsuse määrusega asutati 4. detsembril 1990 Soome eeskujul Eesti Teadusnõukogu (ETN), mis sai katuseks kolmele fondile – Eesti Teadusfond (ETF)[33], mis asutati sama aasta oktoobris, Informaatikafond (asutatud 1990 a. detsembris) ja Innovatsioonifond (asutatud 1991. a. juulis). ETN reorganiseeriti 1993. a. detsembris Teadus- ja Arendusnõukoguks (TAN).

Teaduskorralduse reformi alustati teaduse finantseerimise seni kehtinud korra muutmisest. Kui seni finantseeriti teadust N Liidus peamiselt institutsionaalselt – läbi ministeeriumite ja teaduste akadeemiate üksikute teadusasutusteni, siis nüüd sai uueks põhimõtteks teadusprojektide finantseerimine läbi avaliku konkursi. Kriteeriumiks sai teaduse tase ja tulemuste konkurentsivõime maailmateaduses.

Teadusfond asutati Eesti Vabariigi Valitsuse 1990. a. 31. juuli määruse alusel, seega juba aasta enne Eesti iseseisvumist. Fond hakkas töötama Haridusministeeriumi haldusalas ning selle nõukogu esimeheks valiti akad. **Peeter Saari**, teadussekretäriks **Maie Toimet** ning tegevjuhiks Helle Martinson.

Tol hetkel oli Eestis kokku 45 teadusasutust, mille hulka kuulusid 6 ülikooli, kus kõigis neis töötas kokku üle 16 tuhande inimese sh. 7150 teadurit. See number hakkas nüüd kiiresti kahanema, ulatudes kahe aasta pärast 5000-ni ja veel kolme aasta pärast oli teadlaste arv kahanenud tervelt kaks korda võrreldes N Liidu ajaga. Sellise taandarengu pidurdamine saigi Teadusfondi esmaseks eesmärgiks. Riikliku finantseerimise kaudu püüti tagada ühelt poolt teaduse järjepidevust ning teiselt poolt ühitada akadeemilist vabadust konkurentsipõhise teaduse arenguga.

ETF üheks esimeseks ettevõtmiseks koos Teaduste Akadeemiaga oli kogu eesti teadust hõlmava välisekspertiisi korraldamine selgitamaks välja teaduse olukorda ja taset. Ekspertiis telliti Rootsist ja meie teaduse hindamine võttis aega kaks aastat (1991 - 1992). Analoogiline ekspertiis viidi läbi 1992. a. ka Lätis Taani teadusnõukogude poolt ja 1995. a. Leedus Norra Teadusnõukogu poolt.

Rootsi ekspertide hinnanguid ja soovitusi arvestati järgmistel aastatel eesti teadusasutuste finantseerimisel ja Teadusfondi poolt jagatavate uurimistaotluste ekspertiisil. Paralleelselt käis töö TAN-i initsiatiivil teaduskorralduse seaduse ja ülikooliseaduse väljatöötamisel. Need seadused võeti Riigikogus vastu vastavalt 1994. a. 15. detsembril ja 1995. a. 12. jaanuaril. Teaduskorralduse seadus sätestas teaduse finantseerimise uue korra., mille kohaselt toimub teadusasutuste finantseerimine ETF kaudu eraldatavate *uurimistoetuste* ja *sihtotstarbeliste* finantseeringutena. Uus kord käivitus alates 1996. a.

Riiklikest teadusprogrammidest

1993. a. 19. veebruaril esines akad. **Anto Raukas** Eesti Teaduste Akadeemia nimel ettekandega Eesti Teadusnõukogu ees Eesti teadusprioriteetidest ja riigieelarveliste vahendite jaotusest teaduslikuks uurimistööks, mille põhjal võttis nõukogu vastu otsuse formeerida *riiklikud programmid* kuuel alal, millistest ühe teemaks oli – *„Eesti tööstuse konkurentsivõi-*

[32] Helle Martinson. Isolatsioonist akadeemilisse kapitalismi. Eesti Teadusfond 1989 – 2011. Tallinn, 2015.
[33] Ülevaade Eesti Teadusfondi tegevusest 1990-96. Tallinn 1996.

me tõstmine ja ümberstruktureerimine (tehnoloogiline progress), kommunikatsioonitehnika". Niisuguste programmide raames tehtavaid rahvusvahelisel tasemel töid tuli lugeda prioriteetseteks ja riiklikult finantseeritavateks.

Eesti Teaduste Akadeemia liikmeskond anno 2002 (Ametiketiga president Jüri Engelbrecht, tema selja taga paremal Raimund Ubar.

Lisaks soovitati sellel istungil ministeeriumidel, ETF nõukogul, ülikoolidel ja Teaduste Akadeemial lähtuda edaspidi teaduslike uurimistööde finantseerimisel järgmistest nihetest teadusharude finantseerimise proportsioonides: (1) suurendada tehnika- ja arstiteaduste osatähtsust ning (2) vähendada täppis- ja põllumajandusteaduste osatähtsust.

Teadusharu	Grandid		Siht
	1993	1996	(baas)
Täppisteadused	14,8	14,3	10,0
Loodusteadused	19,7	24,6	24,0
Tehnikateadused	14,2	16,7	21,0
Arstiteadused	16,7	16,5	13,0
Põllumajandusteadused	15,3	11,4	15,0
Sotsiaalteadused	10,5	9,8	9,0
Humanitaarteadused	8,8	9,6	9,0

Eesti Teadusfondi protsentuaalse rahastuse võrdlus eri teadusharudes nii grantide kui ka siht- ehk baasfinantseerimise puhul

Tõepoolest, kosmeetilised muutused siin edaspidi ka toimusid, mida väljendab kõrval olev tabel, kus võib võrrelda ETF grantide protsentuaalseid eelarveid eri teadusharudes 1993. a. ja 1996. a. vahel.

Tehnikateadustes grandirahade eraldamine suurenes tõepoolest 2,5% võrra. Kuid samas näitab tabeli viimane veerg seda, et baas- ehk sihtrahade jaotuse osa oli tehnikateaduste puhul märksa kõrgem. Siit võiks nüüd teha niisuguse paradoksaalse järelduse: kuna konkursipõhiste grandirahade määramisel oli aluseks üksainus põhikriteerium – kõrge teadustase, siis väiksem protsent tähendab siin sisuliselt ka väiksemat rahahulka tippteadusele, võrreldes teiste teadusharudega, teiste sõnadega – väiksemat toetust tippteadusele tehnikateaduste valdkonnas.

Tehnikaülikooli saatis kahel esimesel ETF grantide võistlusel üsna kahvatu edu. 1991. aastal kokku esitatud 23 taotlusest tehnikateadustes said rahastuse vaid 5 TTÜ granti.

Mitte ühtegi toetust ei saadud aga ei elektroonikas ega ka arvutite alal. Järgmisel aastal suurenes tehnikateadustes granditaotluste arv juba 59-ni, aga grantide saajaid oli TTÜ-s jällegi vaid 5, kuid seejuures oli nende hulgas ometi ka üks elektroonikateadlane – **Hiie Hinrikus**.

Niisugune olukord sundis arvuti- ja elektroonika valdkonna teadlasi mõtlema sellele, kuidas oleks võimalik teaduspoliitikat suunata nii, et mõistetaks ka finantseerijate tasemel selle ala tähtsust nii majandusele kui kultuurile üldse. Ühe võimalusena haarati kinni *riiklike teadusprogrammide* ideest ja püüti panustada selle idee arengusse omapoolsete ettepanekute kaudu.

Eesti Teadusnõukogu üleskutsele hakata formeerima riiklikke programme, reageeris kiiresti Teaduste Akadeemia. Nii näiteks esitas Informaatika ja tehnikateaduste osakond juba 27. aprillil 1993. a. Teaduste Akadeemia Presiidiumile 6 riikliku programmi ettepanekud: *Eesti energeetika arengukava* (**I. Öpik** ja **A. Ots**), *Energiasüsteemide programm* (**L. Krumm**, **M. Valdma**), *Hoonete soojapidavuse programm* (**V. Kulbach**), *Rakendusmehaanika programm* (**J. Engelbrecht**), *Energeetika programm* (**M. Mõtus**) ja *Eesti arvutivõrkude integreeritud süsteemi programm* (**B. Tamm**, **Ü. Jaaksoo**, **A. Wõrk**).

Kuna elektroonika ja arvutitehnika teadlased olid sel hetkel kas vähe informeeritud või siis lihtsalt passiivsed, siis jäimegi sellest esialgsest „rongist" maha ilma omapoolsete ettepanekute esitamiseta.

Küll aga olid samal ajal aktiivse rahvusvahelise „tegevuse" toimel Euroopa grantide turul arvutitehnika instituudi „aktsiad" tänu tervelt nelja europrojekti toomisele Eestisse ootamatult järsult kasvanud, siis sellest innustununa hakkasimegi *automaatikateaduskonna tasemel* tõsiselt mõtlema sellele, et ka Eesti riik võiks nõnda aktiivseid teadlasi toetada. 1993. suve jooksul saigi arvutitehnika instituudi initsiatiivil kokku pandud veel üks riikliku programmi taotlus.

Elektroonika ja arvutitehnika riiklik sihtprogramm

Oma taotluse *„Elektroonika ja arvutitehnika riikliku sihtprogrammi"* vastu võtmiseks esitasime Teaduste Akadeemiale 1993. a. suvel.

Programmi motoks oli globaalne loosung: *„Moodsa tehnoloogia interventsioon Eesti tööstusesse (mitte ainult elektroonikatööstusesse).* "Viitasime üha laiemale elektroonika kasutuselevõtule, mille tingis ühelt poolt meid ümbritseva tehismaailma üha suurem intellektualiseerimise vajadus, teiselt poolt aga mikroelektroonikast ja selle projekteerimise automatiseerimisest tulenevad uued võimalused. Need võimalused seisnesid teadusmahukuse kasvus elektroonika viljelemisel, eeldusel, et prioriteediks saaks vastava kompetentsi ning vajaliku infrastruktuuri kiire loomine.

Näiteks Saksamaa rahvuslikust koguproduktist moodustasid juba sel ajal elektroonika rakendused tervelt 30%, kusjuures kogu *elektroonika loomisprotsess* toimub täna juba vaid arvutiekraani taga ja just see looming on kallis, mitte aga tehnoloogia, mis tulemuse materialiseerib. Just sellele põhjusele rõhusime – võimalusele lülituda elektroonika-alasesse tegevusse ka riikidel, kel puudub tehnoloogiline baas, aga on olemas disainipõhine süsteemide loomise kompetents.

Ülal nimetatuga seoses rõhutasime kahte momenti, mis õigustasid Eesti elektroonikaalase ettevõtluse edendamist:

1) Orientatsioon maailmas levima hakanud uuele elektroonikalainele – nn. programmeeritava mikroelektroonika (FPGA- ja PLD-tehnoloogiate) kasutamisele - mis tagab sõltumatuse kallitest tehnoloogiatest ja mikroelektroonikatööstusest, kujutab endast madala riskiga projekteerimise stiili, võimaldab kiiret ja operatiivset arendustööd ja garanteerib tootesse realiseeritava teabe ning ideede salajaks jäämist.
2) Orientatsioon teadusmahukale toodangule, kus toodete hinnas saavad määravaimaks disain ja idee, mis on tootesse projekteeritud, kus inimfaktor otsustab rohkem kui tööstuspotentsiaal.

Allpool järgneb lühikokkuvõte olulisematest punktidest, mis sisaldusid meie programmis.

Olukorrast Eesti elektroonikatööstuses. Elektroonikatööstus oli lähiminevikus üheks suuremaks tööstusharuks Eestis (1990. a. töötas seal üle 26000 inimese), mis aga uute turgude jaoks osutus konkurentsivõimetuks. Ometigi aga oli selles tööstusharus meil olemas kompetents, tänu millele endine suurtööstus asendus kiiresti väikese ja keskmise suurusega ettevõtetega, millised olid turule orienteeritud ja omasid paindlikku struktuuri.

Suhteliselt hästikoolitatud personal oli meie peamiseks ressursiks, mida tuli kiiresti hakata efektiivselt rakendama, toetades teda uue teabe toomisega Eestisse ja uute infrastruktuuride loomisega nende avanenud uste abil Euroopasse, kus pidasime silmas neid uusi kontakte Läänes, mis olime loonud nii teadusasutustega kui ka tööstusega, kus meid toetas kuuluvus assotsiatsiooni EUROCHIP. Kui kiiresti ei tegutse, kaotaksime sellegi potentsiaali ja hea stardipositsiooni, mis hetkel veel Eestis olemas on ja rakendust otsib. Ja kui ei leia, siis saab tulemuseks olema kiiresti kasvav ajude äravool.

Eesti elektroonikatööstusel ja inseneridel on arvestatav kogemus eriti mõõteseadmete (sealhulgas täppisriistade) loomisel laias diapasoonis. Reas Eestis viljeldutes täppismõõtetehnika harudes puuduvad konkureerivad firmad Põhjamaades ja Ida-Euroopa riikides.

Eestil oleks unikaalne võimalus teha läbi kiire ja otsustav infrastruktuuri uuendus, sest kõrge kvalifikatsiooniga kaadrit (veel) on, vanad tehnoloogiad ei ripu kaelas.

Tuleb arvestada, et ükski Lääne firma ei müü Eestisse odava hinna eest uusimal tehnoloogial baseeruvat toodangut, vaid üksnes vana disainiga seisvat kaupa, millega kaasneb lähiajal paratamatu vajadus uute investeeringute järele.

Programmi rahvusvaheline koordineeritus. Silmas pidades ülal loetletud perspektiive Eesti jaoks on juba käivitatud järgmised rahvusvahelised projektid:

1) Euroopa Ühenduse programmi TEMPUS raames teostatav rahvusvaheline projekt TEMPUS JEP 4772 *„Digital System Design Based on PLD-Technology“*, mille eesmärgiks on elektroonikaalaste õppeprogrammide moderniseerimine TTÜ-s ja uue õppelabori *„Programeeritav mikroelektroonika“* rajamine koos kaasaegse tehnika ja professionaalse tarkvara evitamisega õppetöös.
2) TTÜ on vastu võetud ühena vähestest Ida-Euroopa ülikoolidest Euroopa Ühenduse assotsiatsiooni „EUROCHIP“, mis (1) annab võimaluse vabariigi rahalisi vahendeid kasutamata hankida sadu tuhandeid dollareid maksvat professionaalset projekteerimistarkvara, mida kasutavad insenerid Euroopa juhtivates firmades; (2) avab meile ukse Lääne-Euroopa tehnoloogiale, mis seisneb selles, et õppetöös valminud projekte on võimalik realiseerida valmis mikroskeemidena; (3) teeb võimalikuks Tehnikaülikooli tudengitele õppida töötamist vahenditega, millega töötab euroinsener ja looma sama kvaliteediga produkte, nagu seda tehakse Euroopas.
3) EL projekt EEMCN „*East European Microelectronics Cooperation Network of Support and Competence Centres*“, mille eesmärgiks on TTÜ ja EKTA lühitamine rahvusvahelisse spetsialiseeritud arvutivõrku elektroonika-alaste ühisprojektide ja -arendustööde toetamiseks. Projektis osaleb 13 Ida- ja Lääne-Euroopa organisatsiooni.
4) Rootsi-Eesti ühisprojekt ESTPID („*Electronics cooperation between Stockholm and Tallinn for Promotion of Industrial Development*“) elektroonika-alase kesk- ja väikeettevõtluse arendamiseks.

   Projekt on kavandatud kolmele aastale ja selle põhieesmärkideks on väljaõppe võimaldamine eesti inseneridele ja teaduridele Rootsi ettevõtetes ning õppe ja uurimisasutustes, aga samuti Elektroonika Kompetentsikeskuse loomine Tallinnas.

Loetletud projektid on omavahel ning esitatava sihtprogrammiga tihedalt seotud. Kui projektide TEMPUS, EEMCN ja ESTPID vahendite abil alustatakse infrastruktuuri loomist Elektroonika Kompetentsikeskusele, ülikooli- ja täiendõppele ning praktilise töö võimaluste loomiseks väikeettevõtete jaoks, siis esitatava sihtprogrammi eesmärgiks on infrastruktuuri edasiarendada ning luua oluline osa kompetentsist, mis toetub sellele infrastruktuurile.

Nimetatud projektidele rahvusvahelise toetuse saamine on, ühelt poolt, olnud tunnustuseks Eestis olemasolevale elektroonika ja arvutustehnika alasele kompetentsile (teadus- ja arendustöö tasemele TTU-s, Küberneetika Instituudis, EKTA-s ja mujal) ning teiselt poolt, kinnituseks elektroonika-alase ettevõtluse strateegilise tähtsustamise kohta Eesti majanduspotentsiaali tõstmisel. Euroopa toetuse andmine on tähendanud sisuliselt pikema sihikuga investeeringut Eesti elektroonikale.

Sihtprogrammi eesmärgid ja tähtajad. Sihtprogramm on kavandatud viieks aastaks ning on suunatud järgmiste tulemuste saavutamisele:

1. Eesti tööstuse analüüs ja konsulteerimine selgitamaks toodangut, mida saab ja võib moderniseerida (1993-1994).
2. Elektroonika Kompetentsuskeskuse (EKK) kui sihtprogrammi tugikeskuse loomine TTÜ ja EKTA juures elektroonika kaasaegsete võimaluste analüüsiks ja evitamiseks (1994).
3. Teadusliku, tehnilise ja kommertsinfo keskuse (BITS) loomine EKTA juures (1994).
4. Kaasaegsete professionaalsete projekteerimisvahendite Eestisse toomine, väljaõpe ja kasutusele võtmine (alates 1993)
5. Spetsialiseeritud mikroelektroonika-alase arvutivõrgu loomine ja Eesti rahvusvahelisse koostöösse viimine (1995).
6. Baas- ning rakendusuuringute (TTÜ, EKK ja elektroonikaettevõtted) kompleksi käivitamine, disainiprojektide läbiviimine, tugi tööstusele: mudelite konstrueerimine, disainide testimine, rakendustarkvara loomine (alates 1993).
7. Tööstusinseneride regulaarne täiendõpe (alates 1994).
8. Ülikooliõppe moderniseerimine ja vastavusse viimine nn. „euroinseneri“ tasemega (alates 1993).
9. Seminarid ja konverentsid rahvusvahelise koostöö süvendamiseks (alates 1993).

Programmi raames lahendatavate baas- ja rakendusuuringute loetelu:

1. Modelleerimis- ja projekteerimisvahendid pooljuhtelektroonikas (E. Velmre, T. Rang; elektroonikainstituut).
   - Füüsikaliste mudelite väljatöötamine pooljuhtstruktuuride modelleerimiseks.
   - Tarbijale orienteeritud analoogmikrolülituste projekteerimine ja diagnostika (R. Sabolotny).
2. Digitaalsüsteemide projekteerimine ja diagnostika (R. Ubar, A. Keevallik; arvutitehnika instituut).
   - Digitaalsüsteemide projekteerimine.
   - Spetsialiseeritud kõrgtootlikkusega protsessorite algoritmide ja arhitektuuri projekteerimise metoodika (T. Plaks).
   - Digitaalsüsteemide diagnostika (R. Ubar; arvutitehnika instituut).
3. Kaasaegse elektroonikadisaini evitamine Eesti tööstusesse (V. Kukk, H. Tani; TTÜ, EKTA).
   - Kaasaegne analoog- ja segaskeemide disain.
   - Mikrokontrollerite projekteerimine ja protsessijuhtlmine.
4. Telekommunikatsioonisüsteemide rust ja tarkvara arendus (I. Arro; TTÜ signaalitöötluse, raadio- ja lasertehnika ning mikrolainesüsteemide õppetoolid).
   - Krüptograafilised infoedastus ja -salvestussüsteemid (I. Arro, T. Trump).
   - Digitaalsignaalprotsessorite kasutamine krüptograafias ning infoedastus- ja hankesüsteemides.
   - Digitaalsidetehnika, raadiolingid, komponendid, kommutatsioonisüsteemid (A. Taklaja, A. Ots).
   - Infohankesüsteemid (I. Arro, H. Hinrikus, A. Taklaja).

- Eesti (Läti, Leedu) energiasüsteemides kasutatavate side-, telemeetria ja telemehaanika (TTÜ, RAS Metrosert).

5. Mõõte-elektroonika seadmed ja süsteemid (**M. Min**, H. Tani; TTÜ mõõteelektroonika õppetool, EKTA).
   - Sünkroonmuundamisele põhinevate häirekindla vektormõõtmise vahendite ja automaatse faasisünkronisatsiooni täppissüsteemide projekteerimismeetodite ja -vahendite väljatöötamine.
   - Signaalimuundurite ja -analüsaatorite projekteerimine (**R. Rebane**, EKTA).
   - Metroloogilise suunitlusega vahelduv- ja alalispingeliste täppismõõtevahendite projekteerimine ja tootmine (**R. Kipper**, RAS Metrosert).

Võimalikud tellijad ülal loetletud uurimis- ja arendustööde temaatikatele oleksid: kaitse- ja siseministeerium, välisministeerium, piiriamet, erisidekeskus, merelaevandus, riigi raudteed, meditsiinikeskused, masinaehitus- ning elektroonikatööstus, samuti põllumajandus.

Programmi initsiaatoriks oli **Raimund Ubar**, selle koostamisest võtsid aga aktiivselt osa **I. Arro**, **V. Kukk**, **T. Rang** TTÜ automaatikateaduskonnast, **H. Tani** EKTA-st jt.

Sihtprogrammide väljatöötamise eestvedajaks oli asunud Teaduste Akadeemia. Aga kogu 1993. a. teise poole jooksul midagi eriti ei toimunud. 7. veebruaril 1994. a. saatis ITTO akadeemiksekretär **Boris Tamm** siiski järgmise kirja:

Toomas Rang (vasakul) ja Raimund Ubar elektroonika sihtprogrammi kokku panemas

Lugupeetud akad Ubar. 1993 a. veebruaris pidas Eesti Teadusnõukogu otstarbekaks pöörduda rea asutuste ja teadlaste poole ettepanekuga formuleerida rakenduslike uurimistööde programme Eesti Vabariigi arendamiseks. Akadeemiksekretärina pöördusin ma kirjaga 04. märtsil 1993 Osakonna asutuste, akadeemikute ja eriteadlaste poole ettepanekute saamiseks selliste programmide kohta. Teie olite üks neist, kes sellele pöördumisele reageeris, mille puhul avaldan veelkord oma tunnustust 0sakonna nimel. Nüüd on möödunud aasta. Elu on kiiresti edasi läinud, muutunud on mõnedki meie seisukohad, loodetavasti on hakanud selginema mitmed teadus-strateegiliaed eesmärgid, prioriteedid, samuti finantseerimismehhanismid ja -allikad. Seetõttu on tarvilik aktualiseerida teavet nendest töödest mida kavandati aasta tagasi ülalmainitud programmide raames.

Teie poolt esitatud „Elektroonika ja arvutustehnika vabariiklik programm" on kavandatud viieks aastaks, tema missioon ja eesmärgid selgesti formuleeritud ning erinevalt enamikust teistest analoogiIistest programmidest on seal konkreetselt näidatud ka välismaised koostööpartnerid ja finantseerimisallikad.

Samuti erinevalt enamikust teistest programmidest sisaldab ta ka küllaldase osa baasuuringuid. Palun kommenteerige lühidalt, kas on õnnestunud käivitada kõik teemad, kas on juba kusagil evitatavaid tulemusi, kuidas on kulgenud organisatsioonilis-finantsilised ettevõtmised partneritega. Missugust abi vajate ja missugusesse suuremasse riikiikku arengukavasse Teie programm võiks kuuluda?

Oleksin tänulik, kui saaksin Teie vastuse 28. veebruariks. Austusega Boris Tamm, Akadeemiksekretär.

Kirjast võis järeldada, et finantseerimise suunas kõrgematel tasanditel mingit arengut polnud toimunud. Küll meeldivate kiidusõnade kõrval sooviti aga ei muud kui tavalist aruannet. Loomulikult tuli see aruanne esitada, sest tähtis oli ikka püsida nähtaval ja võimalikult heas valguses nähtaval. Sest ehkki selliste programmide koostamist ametlikult riikliku ülesandena ei olnud veel käivitatud, oli nende olemasolu iseenesest juba tähtis ja vältimatult vajalik riikliku teaduspoliitika, teaduse finantseerimise strateegia ja prioriteetide kujundamisel.

Reageerimaks **B. Tamme** küsitlusele ja talle saadetava aruande koostamiseks sai korraldatud ringküsitlus programmi juhtide hulgas TTÜ-s, mille tulemusena läks B. Tamme suunas teele ka järgmine kiri:

Lugupeetud akad. Boris Tamm, Vastuseks Teie kirjale teatan järgmist:

1. *Üldiselt on käivitunud kõik teemad. Teatavaid edusamme tulemuste evitamise osas Eestis on saadud **M. Mini** ja **V. Kuke** poolt (vt. lisa). On tehtud ettevalmistusi uute rahvusvaheliste projektide käivitamiseks (vt. lisa: **T. Plaks**, **T. Rang**). Minul endal on lisaks kolmele olemasolevale europrojektile lisandumas veel sõlmimisel olev leping ESPRIT programmi raames.*

   *On pakutud mõningaid täpsustusi ja täiendusi alamprogrammide osas (vt.lisa: **R. Rebane**, **T. Rang**, **M. Min**). On soovitud laiendada temaatikat (vt. lisa) pooljuhtmaterjalide ja pooljuhtseadiste (**E. Mellikov**, **J. Krustok**) ning biomeditsiinitehnika süsteemide (**H. Hinrikus**, **R. Raamat**) osas.*
2. *Möödunud aasta lõpul loodi TTÜ juurde elektroonika kompetentsuskeskus, mille ülesandeks on kujundada infrastruktuur professionaalse mikroelektroonika disaini võimaldamiseks Eestis. Käsil on riist- ja tarkvara planeerimine ning hankimine. Tänu TTÜ liikmeks võtmisele assotsiatsiooni EUROCHIP on olemas võimalused professionaalse disainitarkvara saamiseks 20-kordse hinnaalandusega. Kitsaskohaks on toetuse puudumine vabariigi poolt sobiva arvutiplatvormi loomiseks, mille olemasoluta pole võimalik ka EUROCHIP'i soodustusi kasutada. Eesti Teadusfondilt on saadud 145 tuh. kr., taotlemisel on lisafinantseerimine Eesti Informaatikafondilt ja ka ETF grantide näol. Kuid tegeliku töö alustamiseks vaja mineva minimaalse baasi loomiseks jääb ilmselt puudu* ca *pool miljonit krooni.*
3. *Elektroonika ja arvutustehnika sihtprogramm võiks kuuluda suuremasse riiklikku arengukavasse informaatika, side ja telekommunikatsioonide valdkonnas, mille koostamist Eesti Teadusnõukogus kureerib hr. **Ü. Kaevats** (RK). Austusega, prof. **Raimund Ubar**, TA akadeemik, 27 veebr. 1994.*

Lisaks nendele materjalidele, mis akad. Boris Tammele seoses selle sihtprogrammiga sai saadetud, koostati ka konkreetne taotlus äsja asutatud Elektroonika kompetentsuskeskuse finantseerimiseks. Selles taotluses sai rõhk pandud Eestisse juba toodud vahendite rahalisele väärtusele, et mõjutada otsustajaid põhimõttel „väetada tuleb ikkagi seda maad, kus kapsas hästi kasvab", nagu tavatses rääkida arvutitehnika instituudi direktor **Andres Keevallik**.

Niisugusteks numbriteks oli näiteks europrojektidega ülikooli (loe: Eestisse) toodud 3,5 miljonit krooni, mis oli sel ajal päris kõva sõna, arvestades ülikooli eelarve suurust nendel aastatel. Lisaks sai loetletud 28 kolme- kuni kuuekuulist õppereisi tudengitele, õppejõududele ja inseneridele väike-ettevõtetest, mis sai teoks projektide TEMPUS, EEMCN ja ESTPID rahade abil.

Keskuse töö toetamiseks taotlesime valitsuselt algfinantseerimist riigieelarvelistest vahenditest 2-3 miljoni EEK ulatuses aastas, mis tegelikult moodustas vaid 12% kogu projekti eelarvest, mis oli taotluses lahti kirjutatud. Seejuures näitamaks, et oleme aktiivsed otsima rahastamist paljudest eri allikatest lisasime oma taotlusse ka vastava ülevaate selle kohta:

Rahvusvahelised projektid	14 300 tuh. kr. (70%)
Eesti fondid (taotlemisel)	600 tuh. kr. (3%)
TTÜ (taotlemisel)	1 180 tuh. kr. (6%)
Riigi eelarvest (käesolev taotlus)	2 500 tuh. kr. (12%)
Edasi lükatud aastaks 1995	1 600 tuh. kr. (8,8%)

Sai rõhutatud, et elektroonika-alase konkurentsivõimelise ettevõtluse käivitamine oma suurte stardikulude tõttu on tänapäeval mõeldamatu ühele ainsale väike-ettevõttele eraldi. Lahenduseks olekski spetsialiseeritud kompetentsuskeskuste loomine, nagu käesolevas taotluses, milliste ülesandeks oleks olla vahendaja ülikoolikompetentsi ja väike-ettevõtete

vahel, soetada hinnalist riist- ja tarkvara (milleks pole väike-ettevõtted üksinda võimelised) ja organiseerida nii inseneride väljaõpet kui ka toetada oma tarkvaravahenditega firmades toimuvat projekteerimistegevust. Sellised kompetentsuskeskused on olemas juba praktiliselt kõigis L-Euroopa maades.

Järgneval perioodil sai tutvustatud peaaegu regulaarselt ka avalikkust elektroonika tähtsusest, riikliku sihtprogrammi loomise ja ka kompetentsuskeskuse loomise vajadusest erinevates meedia väljaannetes: ajakirjades „Arvutustehnika ja Andmetöötlus“[34,35,36] ja „Horisont“ [37], Eesti Teadlaste Liidu foorumil[38], ajalehtedes „Õhtuleht“[39], „Äripäev“[40], „Eesti Sõnumid“[41], „Rahva Hääl“[42], „Kultuurileht“[43], elektroonikute omas ajaleht[44,45] ja mujal.

Projektide jahil, sihikul sihtprogramm

Maailm aga arenes samal ajal üha edasi. Mikroelektroonika laienes naabervaldkondadesse, Euroopas ja eriti Saksamaal võttis hoogu mikrosüsteemitehnika, mis integreerib nii traditsioonilist elektroonikat, haarates signaalitöötlust, sidet ja juhtimist, kui ka sensoorikat, andmehõivet, tarkvaravahendeid ja koguni mehaanikat ning elektrokeemiat, kus valmistamine käib ühtse mikrotehnoloogia alusel, mis on väga lähedane räni-põhisele mikroelektroonikale. Meie inimesed reisisid ringi mööda Euroopat, kogusid teavet sõlmisid kontakte ja said uusi projekte.

Elektroonika ja arvutitehnika instituudid töötasid käsikäes eelduste tugevdamiseks riikliku abi saamise eesmärgil elektroonika sihtprogrammi egiidi all. Seda tegevust toetas ka institutsionaalne seos ühtse elektroonika kompetentsuskeskuse loomise läbi 1993. aasta lõpus.

Nii sai **Mart Min** elektroonikainstituudile uue projekti COPERNICUS programmi raames CA 18762 *„Pan European Network on Multifunctional Microsystems – NEXUS-PAN“*, **Raimund Ubar** aga võeti partneriks Raamprogrammi III ESPRIT projekti *„Advanced Test Generation and Testable Design Methodology for Sequential Circuits – ATSEC“*.

Juba töös olevad europrojektid „tootsid lisaväärtust“ uute projektide saamise näol. Nii arendas meie Poola partner projektis EEMCN Varssavi Tehnikaülikoolist **Wieslaw Kuzmicz** uue projekti ideed südamestimulaatorite valdkonnas ja kutsus partneriks selles projektis TTÜ arvutitehnika instituudi. Kuna aga arvutite inimesed juba olid hõivatud koguni nelja

[34] R. Ubar. Elektroonika ja arvutustehnika vabariiklikust sihtprogrammist. „Arvutustehnika ja Andmetöötlus“, Nr. 1, 1994, lk.1-6.

[35] R. Ubar. Elektroonika kompetentsuskeskus Tallinna Tehnikaülikooli juures (1). „Arvutustehnika ja Andmetöötlus“, Nr. 2, 1994, lk. 33-36.

[36] R. Ubar. Elektroonika kompetentsuskeskus Tallinna Tehnikaülikooli juures (2). „Arvutustehnika ja Andmetöötlus“, Nr. 3, 1994, lk. 28-33.

[37] R. Ubar. Tehnikateaduste tee Eestis. „Horisont“, Nr. 5/94, lk. 15-19.

[38] R. Ubar. Tehnikateaduste tee Eestis. Kogumikus „Eesti Tulevikusuundumused“. Eesti Teadlaste Liit, Tallinn, 1994, lk. 27-38.

[39] H. Martinson, R. Ubar. Akadeemia hädad ja Eesti Teadusfond. „Õhtuleht“, 29.apr.1994.

[40] R. Ubar. Eesti vajab mikroelektroonikat. „Äripäev“, 25. aug. 1994.

[41] M. Min, R. Ubar. Balti elektroonikakonverents Tallinnas. „Eesti sõnumid“, 7. okt. 1994.

[42] Jänestena tsivilisatsiooni hüvede trammis. „Rahva Hääl“, Nr. 256, 7. nov. 1994.

[43] J. Engelbrecht, M. Jõgi, J. Kivimäe, R. Ubar. Teaduse mitmekesisus on riigi rikkus. „Kultuurileht“, Nr. 42 (2561), 2. dets.1994.

[44] Elektroonika kompetentsuskeskus Tallinna Tehnikaülikooli juures. „Elektroonikaleht“, Mai 1994, lk. 2.

[45] Rahvusvahelistest projektidest elektroonika kompetentsuskeskuses. „Elektroonikaleht“, Mai 1994, lk. 5.

europrojektiga samal ajal, mis võttis enda alla juba kogu olemasoleva inimressursi, siis delegeeris **Raimund Ubar** selle probleemi edasi elektroonikutele ja raadiotehnika instituudile, kus **Mart Min** ja **Hiie Hinrikus** võtsidki pakutud probleemi endale üle. Alates sellest hetkest saigi *„südamestimulaator"* elektroonika instituudi teadus- ja arendustöö „lipulaevaks" paljude järgnevate aastate jooksul.

Mart Min selgitab südamestimulaatori tööpõhimõtet

Euroopas läks käima uus Raamprogramm IV, mis andis tõuke laiendada Skandinaavia suunalist Rootsi-Eesti koostööd projekti ESTPID raames Lääne-Euroopa suunas. Projekti ESTPID juht **Bengt Henoch** organiseeris taotlust projektile *„Tehniline ohjamine tööstuslike protsesside keskkonnareostuse vähendamiseks kasuteguri maksimeerimise kaudu"*, kus TTÜ (kaasa haarates Eesti Energia) tegutses Rootsi subkontraktorina. Eesmärgiks oli luua õhusaastatuse monitooringusüsteem ühe Tallinna regionaalse katlamaja juures koos andme- ja teabebaasiga ning reaalaja juhtimisvahenditega põlemisprotsesside optimeerimiseks.

Europrojektide kõrval arendati lepinguliste tööde raames koostööd ka kohaliku tööstusega või siis bilateraalse koostööna välisettevõtetega Soomes ja Rootsis. Elektroonikainstituudi projekt (1993-95) *„Eesti riikliku valvesüsteemi automatiseerimine"* mille objektiks oli reaalajas töötav andmehõive (sensoorika, kodeerimine, moduleerimine), -registreerimine (andmebaasid) ja -edastamine (modemside) süsteem (e. võrk), mis haaras kogu riigi territooriumi.

Arvutitehnika instituut realiseeris oma europrojektide abil saadud uued teadmised, oskused ja kogemused esimese Eesti ülisuure kiibi (krüptokiibi) väljatöötamise ja valmistamise näol, kus initsiaatoriks ja autoriks oli **Jüri Põldre**. Tööd koordineeris elektroonika kompetentsuskeskus. Kiibi lõplikuks valmistamiseks L-Euroopa tööstuses pani oma õla alla Küberneetika Instituut kahe lepingulise töö sõlmimise kaudu ATI-ga: *„Krüptokiibi prototüübi tehnoloogilise faili projekteerimine"* (1996) ja *„Krüptokiibi prototüübi testimine ja dokumentatsiooni väljatöötamine"* (1996-1997).

Elektroonika kompetentsuskeskuse infrastruktuuri väljaarendamise eesmärgil saadi mitu granti Eesti fondidest: Informaatikafondi grant „Andmeturve riistvara projekteerimise ja valmistamise keskkonna väljaarendamine" (1994), Innovatsioonifondi grant „Kaasaegse elektroonika, arvutustehnika ja inform.tehnika vahendite disaini käivitamine Eestis" (1994-1995), kaks ETF granti „TTÜ elektroonika kompetentsuskeskuse infrastruktuur" (1994) ja „Digitaalelektroonika nüüdisaegse projekteerimise ja teadusuuringute eksperimentaalkeskkond" (1996-1998). Ka TTÜ panustas oma keskuse arendamiseks temaatiliste riigieelarveliste vahenditega: RE uurimistöö CE 4062 „Elektroonikasüsteemide disaini õppeprogrammide väljatöötamine ja moderniseerimine" (19994-1996).

Lisaks koostööle Rootsiga projekti ESTPID raames, sõlmiti ka sellest sõltumatult individuaalsete kontaktide abil koostöölepinguid ja projekte nii Soomes kui Rootsis, nagu näiteks Soome firmaga Fincitec OY Finland projekt „Digital Encryption Standard Macroblock" (1996), Rootsi firmaga DIGSIM DATA AB projekt „Generic VHDL Desc-

riptions for Synthesizing Embedded Test Processors“ (1996). Viimasega sidus meid juba pikemat aega nn. bartertehing tarkvarade vahetuse näol: meie TURBO-RESTER vs. nende DIXI-cad.

Kuna sihtprogrammide loomise aktsioon riiklike sihtrahade eraldiste näol *top-down* stiilis konkreetseid tulemusi ei kandnud, alustasime paralleelaktsiooni nn. *bottom-up* stiilis: **Raimund Uba**r võttis üles otsekontakti peaministri **Mart Laariga**, pääses tema juurde audientsile ja umbes pooletunnise vestluse jooksul püüdis riigijuhti veenda elektroonika valdkonna olulisuses riigile ning vajaduses toetada finantssüstidega nii elektroonikatööstust kui ka -haridust.

Otsepöördusmeetod kandis lõpuks vilja ja TTÜ elektroonika kompetentsuskeskus saigi 1994. aastal riikliku otsetoetuse 1 miljoni krooni (EV grant *„Kaasaegse elektroonikadisaini käivitamine Eestis“*), mis polnud küll suur raha, aga aitas keskuse vahendusel teha hädapäraseid edendamisi infrastruktuuris kolmele instituudile: elektroonika, süsteemitehnika ja arvutitehnika instituutidele.

Veel üks katse

Arutamaks elektroonika ja arvutitehnika riikliku programmi loomise šansse uute selle valdkonna europrojektide kui TTÜ elektroonika ja arvutitehnika „tugevuste“ valguses, käivitas EKK nõukogu (**R. Ubar**, **M. Min**, **H. Tani**, **V. Kukk**, **T. Rang**, **K. Vainomaa**) 11. mail 1995. a. uuesti arutelud teemal „mida teha või kuidas olla“. Kõigepealt fikseeriti *status quo*.

Sihtprogrammide osas oli Eestis kujunenud seis selliseks, et eksisteeris kaks väga üldist tööstusele orienteeritud „katusprogrammi“ – *Innovatsiooni programm ja Informaatika programm*. Puhtalt teadusprogramme oli üks: TA presidendi **Jüri Engelbrechti** poolt ette valmistatud *Eesti Mehaanikauuringute sihtprogramm*. Kummagi programmi riikliku finantseerimise kohta ei olnud aga midagi teada.

EKK nõukogu formuleeris kõrgematele tasanditele edastamiseks et ettepaneku, mille järgi Eesti *elektroonika sihtprogramm* (programmi nimetus vähenes sõna „arvutitehnika“ võrra) peaks kossnema kahest osast:

- Eesti elektroonikatööstuse arengustsenaarium – koostajaks peaks olema Elektroonika- ja Elektrotehnikatööstuse Liit kostöös Majandusministeeriumiga (näiteks teha seda PHARE projektina või ka Innovatsioonifondi projektina);
- Eesti elektroonikauuringute sihtprogramm – koostajaks EKK koos elektroonikainstituudi ja Teaduste Akadeemiaga (finantseerima peaks Innovatsioonifond või Teadusfond).

EKK nõukogu otsustas programmi ettevalmistamiseks astuda järgmised sammud:

- Kinnitada programmi loomise initsiatiivgrupp, kellest hiljem võiks välja kasvada ka programmi nõukogu (seda võiks teha TTÜ Nõukogu nende inimeste suhtes, kes tulevad TTÜ-st-st ja TA Presiidium nende kohta, kes tulevad TA-st);
- Moodustatud initsiatiivgrupil panna kokku nõuded sihtprogrammi üles ehitamiseks ning koostada programmi ettevalmistamise ajakava, hiljemalt 15.09.1995;
- initsiatiivgrupp valmistab ette Innovatsioonifondile *elektroonikauuringute sihtprogrammi* väljaarendamiseks vastava taotluse 1996.a-ks (projekt teemal „Eesti Elektroonikauuringute Sihtprogramm“). Nimetatud töö käigus vaadatakse üle Eestis olevate teadusgruppide tegevus ning kinnitatakse esialgsed valdkonnad, kus on olemas kompetents (kasutada ära nii Rootsi ja ETA eksperthinnangud kui ka initsiatiivgrupi poolt kogutud teave uurimisvaldkondade kohta);
- Initsiatiivgrupp valmistab ette taotluse, kus on näidatud ära eelmise sihteraldise tulemused EV Valitsusele (15.10.95).

Järgnevalt viidi sihtprogrammi eest „võitlejate“ poolt läbi mitmeid nägemusi ja ettepanekuid programmi sisu kohta, 31.05.95. nõukogu koosolekul aga lükati töö edasi sügiseks. Töö juhtimine programmi väljatöötamisel delegeeriti **Toomas Rangile**, kes palus endale adresseerida kirjalikke suve jooksul tekkivaid nägemusi Eesti elektroonika sihtprogrammi kohta.

Järgnev on lühiprotokoll EKK nõukogu koosolekult 5.septembril 1995, mida juhtis Toomas Rang:

Kohal: R. Ubar, M. Min, V. Kukk, T. Rang, K. Vainomaa.

Koosoleku avas T.Rang. Sõna võtsid:

R. U. Viimasel ajal on jallegi terminoloogia probleemid päevakorda kerkinud. Terminoloogia on hüplev. Kasutusel mõisted sihtprogramm/arengukava – innovatsiooni arengukava, informaatika arengukava. Meie peame ikkagi välja jõudma riikliku programmini, määratledes programmi eesmärgid ja taotletavad tulemused.

V. K. Esineb teatud mõttes surnud ring – kes võiks teha, sellel puudub raha, kellel on raha (riik), ei oska tellida (võib olla ka ei taha). Kes esitab programmi?

T. R. Kätte on jõudnud 05.09 1995. Minul pole ühtegi programmi toorikut. Kas jätkame?

R. U. Tegevust tuleb jätkata, olgugi, et pole tänaseks laekunud ühtegi ettepanekut, nagu suve algul paluti. Tuleb kuupäev siis edasi lükata. Inimesed, kelle poole võiks pöörduda veel kord: V. Kukk, R. Ubar, K. Vainomaa, M. Min, T. Rang, H. Tani, H. Hinrikus, I. Arro, A. Taklaja, K. Tammemagi, T. Tomson, M. Ajaots. Meil on vaja ideesid (väljund koos musta kasti kirjeldusega).

T. R. Vastus V. K. -le. Programmi esitab EKK, kõigepealt TA-le ning siis TAN-ile.

K. V. Tuleb defineerida suur väljund (*grand output*). Eeesmärgiks „suunatud tegevus“ – siis tuleb ka raha. Aktsioonid ning nendele vastavad finantseerimise allikad. Laiali tuleb saata küsimustik, millele mehed kohe ei saa vastamata jätta.

R. U. Programm peab baseeruma olemasoleval tegevusel, mida juba finantseeritakse. Juurde on raha vaja infrastruktuuri tarbeks, ning uutes valdkondades algava tegutsemise toetamiseks.

Uueks ettepanekute esitamise kuupäevaks seati 10. okt. 1995. Ettepanekud saata T. Rangile.

Sellest oktoobri koosolekust materjalid puuduvad. Algas periood, kui *automaatika-teaduskonnas* hakkas kaduma üksmeel, mis päädis teaduskonna lõhenemisega kaheks – infotehnika (hiljem infotehnoloogia) ja *süsteemitehnika teaduskondadeks* (TTÜ nõukogu otsus 20.06.1996).

Elektroonika kompetentsuskeskus – riikliku sihtprogrammi koostamise idee kandja – viidi endise suure teaduskonna alluvuselt süsteemitehnika teaduskonda, tema juhiks määrati **Aivar Usk**. Kaks „poolt“ esialgses sihtprogrammi idees – elektroonika ja arvutitehnika – jagunesid nüüd kahte erinevasse teaduskonda, milliste vahele aga kerkis sein.

Riiklikku sihtprogrammi ei tekkinud. Aga võitlus selle programmi eest oli huvitav ja mälestusväärne etapp ning kindlasti andis asjaosalistele uusi kogemusi teaduse vabaturul ellu jäämiseks „kauboiaegses“ Eestis.

1991–1998
Lääne väravad on lahti

Alljärgnev on muljete kogum, mis tekkis 90-ndatel aastatel neil, kel avanes esmakordne võimalus oma töö-ja õppereisidel näha neid riike ja seda elu, mis oli seni jäänud Läänt ja Ida lahutava paksu müüri taha.

Reisikirjad Euroopast

Tallinna Tehnikaülikooli professor ***Raimund Ubar*** *on rahvusvahelise projekti täitjaks europrogrammis TEMPUS, mille eesmärgiks on rajada uus labor ülikooli juurde koosõppekursuste kaasajastamisega mikroelektroonika disaini valdkonnas. Selle projekti raames külastas ta mööda nud aasta suvel mitmeid maid Euroopas, millest ta ka alljärgnevalt oma kodustele saadetud kirjade vormis pajatab kord tõsimeelse teadlasena, kord uudistava turistina.* (**Rein Veskimäe** „Horisont“)

Darmstadt, 1994[1]

Itaalia restoran Sitte, mille ülemistel korrustel resideeris prof. Manfred Glesneri juhitud Darmstadti Tehnikaülikooli mikroelektroonika instituut

Tervelt kümme päeva olen juba viibinud Saksamaal – koduses Mikroelektroonika süsteemide instituudis Darmstadti Tehnikaülikooli juures. Mäletan, kui paar aastat tagasi esimest korda siia tulin, kulus tükk aega, enne kui õige koha üles leidsin. Arvasin, et minuga on halba nalja tehtud, sest aadressil, mis mulle oli antud, asus hoopis restoran. Viimaks leidsin hoovist ka ühe kõrvalukse, mis viis ülemistele korrustele, kus ruume üüribki nimetatud instituut. Ülikool ja ühele itaallasele kuuluv restoran „Sitte“ viljelevad sõbralikku koostööd: vaheldumisi voorivad kord instituudi külalised trepist alla ärilõunale, kord soojad pizzakarbid trepist üles lantshi ajaks koosolekusaali. Pizzakarpide avamine ei ole seejuures veel põhjuseks töist arutelu ümmarguse laua taga katkestada.

Kümme päeva juba – aeg läheb lennates. Päevad on täis suhtlemist ja kommunikatsiooni. Räägitakse, et infoühiskonnas on kommunikatsioon peamine ja kõige efektiivsem töömeetod. Nurgasistuja jääb rongist maha, vananeb ja hakkab peagi rääkima keeles, mida ümbrus enam ei mõista. Infosajandil vahetuvad generatsioonid üha kiiremini ja

[1] Lühendatult: R. Ubar, Reisikirjad võõrsilt. „Horisont“ , Nr. 1, 1995.

oma vananemise märkamiseks peab olema väga enesekriitiline. Mõnedel aladel aeguvad teadmised aastaga. Ülikoolides pole võimalik enam ühte ja sama loengukursust kaks aastat järjest lugeda. USA-s, näiteks, täiendavad informaatika professorid oma kursusi aastas koguni 50% ulatuses.

Olen siin, **et sakslastelt õppida**, kuidas Eestis kaasajastada mikroelektroonika disaini õpetamist ja ellurakendamist. See on raske küsimus, sest tehnika ei ole Eestis praegu populaarne, iseäranis veel niisugune peen tehnika nagu mikroelektroonika. Arvatakse, et see on üle mõistuse keeruline ja Eesti jaoks ebapraktiline. See oleks pikem jutt niisugust arvamust ümber lükata. Ütlen vaid, et Eesti shanss pole mitte kalli tööstuse rajamises, vaid uue inseneride põlvkonna – elektroonika arhitektide ehk tehisintelligentsi loojate kasvatamises. Ilma sellise kaadrita ei kujune Eestis niisugust tänapäeva keskkonda, mis **hoiaks kinni andekamaid** meie hulgast, kes tahaksid teenida just Eestis oma maad ja rahvast, aga mitte ei viiks võõrsile oma talendi vilju. Ilma niisuguse keskkonnata me tegelikult mitte kunagi ei integreeru Lääne kultuurmaailmaga ja jääme igavesti perifeeriaks, kust vaid ära tahetakse minna.

Eestis on praegu noorte huvi suunatud kiirele eneseteostusele. Selles poleks ju midagi taunimisväärset, kui ainult ei tunduks, et eneseteostuse mõõdupuuks on saamas üksnes materiaalne rikkus.

Tundub, et liikumapanevaks jõuks praegu Eestis on ainult raha. Aga raha on lühinägelik ja suudab liigutada vaid konkreetset haardekaugusel seisvat kaupa ja mitte midagi muud, mis ei too kohe kasu. Seega ootab Eestit ees üsna ühekülgne kauplemisele orienteeritud tulevik. Näib, et haridust ei vajata enam, sest haridus pole kaup. Ja tundub, et ka teadust samal põhjusel ei vajata... Isegi kõrgtehnoloogiat ei vajata Eestis, sellele vaatamata, et kogu arenenud **maailm on pööranud oma näo** kõrgtehnoloogilise tootmise, eriti just infotööstuse suunas. Näiteks, elektroonika haarab maailma ärist juba tervelt kümnendiku. Meie siin Eestis ärime ja tarbime mujal loodud väärtusi, aga pingutame vähe selleks, et ise õppida looma väärtusi, mida teised meilt ostaks.

Õnneks ei ole Eesti oma praeguses lühinägelike pürgimuste kaoses siiski jäetud päris omapead. See, et mul õnnestus Euroopast saada projekt elektroonika-alase ülikooliõpetuse arendamiseks Eestis, on märk sellest, et kui mitte meie ise, siis vähemalt meid ümbritsevad rahvad teavad, mis Eestile kaugemas perspektiivis kasulik ja vajalik on.

Elan 15 minuti jalgsitee kaugusel instituudist – **Tindikvartalist**. See on rajoon, kus elab palju professoreid, neid, kes ikka tindi ja paberiga oma tööd on teinud. Enam sel moel muidugi ei töötata, tindi ja sulepea on asendanud arvutid. Aga nimi on sellel linnaosal muutumatuks jäänud. See on rikaste rajoon, uhkete villadega ja rohkem kui miljon marka (8 miljonit eesti krooni) maksvate kruntidega. Üürin tuba keldrikorrusel ühe sellise miljonäri häärberis – kahe nädala eest maksan 1600 krooni. Odavgi, arvestades kohalikku skaalat. Minu peremees ei ole küll professor, aga selle üle, et elab Tindikvartalis, on ta väga uhke. Veetsin ühe õhtu head moselveini nautides pererahvaga terrassil ning analüüsisime Eesti võimalusi Euroopaga ühinemisel. Pererahvas reisib palju ja Eesti turismiobjektina pakkus neile suurt huvi. Üldiselt ma majarahvaga siiski palju ei suhtle, tulen õhtuti hilja, väsinuna ja igatsen pigem üksindust kui lobisemist terrassil, kus peremees ja perenaine pea kõik oma õhtupoolikud veedavad. Suhtlemist on mul päev läbi niigi pidevalt üleliia.

Mõnes mõttes ma justkui polekski Eestist ära tulnud. Nii nagu koduski, kulub mul osa päevast **elektronposti töödeldes**, kontakte alal hoides ja kolleegidega üle terve Euroopa suheldes. Tuleb vaid telefoniliine pidi Tallinna „oma arvutisse minna"(!). Vahel on liinid üle koormatud – vajutad klahvile, aga täht, mis Tallinna arvutisse läks, ilmub siin Darmstadtis alles 5-10 sekundi pärast ekraanile... Toksid pimesi hulga tähti ja alles tagantjärele saad näha, mis kõigest välja tuli. Pikemate kirjade puhul tuleb ikkagi kogu post tervikuna liini pidi Tallinnast kohale tuua, et kogu töö siin ära teha. Organiseerin E-posti teel ühte seminari Bratislavas, rahvusvahelist konverentsi sügisel Tallinnas, kahte konverentsi Saksamaal, mitme ühisprojekti kulgu ja palju muud.

Eile käisin Duisburgis koosolekul, kus arutati minu uurimisgrupi lülitamist ühe **üle-euroopalise projekti** osatäitjate koosseisu. Projekt kuulub Euroopa Liidu infotehnika alaste uuringute programmi ESPRIT, millesse pääsemist loetakse Lääne-Euroopas väga prestiizhikaks. Eesti teadlastel ametlik õigus konkureerida sellest programmist osavõtuks puudub, sest Eesti pole Euroopa Liidu liige. Erandeid aga on võimalik teha, kui projekti partnerid seda taotlevad, kuid vaid nii, et nad ise osa oma rahast juurdetulijale loovutavad (ehk teiste sõnadega, ära kingivad). Seda muidugi niisama lihtsalt ei tehta...

Ettepanek koostööks tehti mulle ühel seminaril möödunud suvel, kui oma ettekandes elektroonikasüsteemide diagnostika tarbeks ühe uue teooria esitasin. Kulus siiski terve aasta, kuni ettepanek ka Brüsselis aktsepteeriti ja mulle õigus anti projektiga ühineda.

Nõnda siis istusime eile Duisburgi Ülikoolis ja **tegime „bisnessi"** – püüdsime määratleda minu tööülesannet. Mu partnerid oleksid muidugi soovinud, et nad mulle loovutatud raha eest ka mingi osa omaenda kohustustest oleksid minu õlgadele asetada saanud. Mind ennast aga ahvatles akadeemiline vabadus – oma teooriat edasi arendada. Kohtumise eesmärgiks oli niisiis leida teatav kompromiss.

See päev sattus hea olema: „rääkisin" välja enesele töö, mida oleks suhteliselt mugav täita, kuna see on tihedalt seotud ühe mu teise juba teoksil oleva projektiga. Võib isegi nii öelda, et hankisin selle projekti jaoks eile täiendavat finantstoetust.

Edu läbirääkimistes tuli vaid tänu korralikule „kodusele ettevalmistusele": teadsin, kellega kohtun, ning veetsin kaks päeva raamatukogus, et tutvuda koosolekule tulijate viimaste publikatsioonidega. Nii sain võimaluse hakata kasutama kohalviibijate, lemmikterminoloogiat, ennustada ette nende taotlusi ja rajada sellele siis oma taktika – „müüa" ennast sellisena nagu olen, aga „rõivastes", mis **ostja maitsele** sobivad. Arutelu kujutas endast varjatud positsioonisõda, millest iseenda jaoks võitjana väljusin, jättes võitja tunde aga ka oma „vastastele". Sain kätte oma akadeemilise vabaduse suhteliselt väheste uute kohustuste hinnaga. Olen kuulnud arvamust, et eesti teadlased ärivad **võileivahinna eest** välismaal maha eesti teadust, kandes tühiste honoraride eest seal ette oma originaalseid teadustulemusi. Muide, mõnikord tehakse seda ka ilma honorarita...

Kuidas siis suhtuda niisugusse etteheitesse? Teadustulemusi ei saa müüa. Saab müüa litsentse patentidele, aga mitte teadustulemusi, mis juba oma olemuselt on ühiskonna avalik vara. Küll aga saab teadlane müüa isennast ja oma kompetentsust või loomepotentsiaali. Et end aga müügiks reklaamida, tulebki igal pool esineda, niipalju kui võimalik, ka honorarideta... Kui nüüd siiski väita seda, et eesti teadlane müüb maha iseennast võileivahinna eest, siis teeb ta seda mitte välismaal, vaid naeruväärselt väikeste palkade tõttu just **omal kodumaal**.

On laupäev ja istun üksinda laboris, kohvitass kõrval ja kirjutan teile seda reisikirja. Tean, et ootate mult teateid, ka mõned mu sõbrad loeksid hea meelega mõne sõna mu elust, aga mul on liiga vähe aega, et teile kõigile eraldi kirjutada. Nii toksingi oma muljed ja mõtted masinasse, et need mitmes eksemplaris välja trükkida ja erinevatel aadressidel laiali saata. Matkin nõnda üht oma sõpra Saksamaal, kes pärast seda, kui teda valiti Saksa Liidupäeva, loobus ajapuudusel kirjade kirjutamisest, kes aga siiski kord aastas viib arvutisse „intiimse aastaaruande" oma tegevusest ning saadab selle jõuludeks sugulastele ja sõpradele. Tema „aastaaruandeid" lugedes leidsin, et see on väga hea mõte. Ehkki ma tean ka inimesi, kellele ei meeldi **arvutiga trükitud isiklikke kirju saada**. Tehnikaajastu toob ellu aga omad muutused ja uued traditsioonid. Ka hobusega enam ei sõideta. Ja üha vähem mängitakse CD-ajastu kodudes elavat pilli.

Kuigi teen palju tööd, (võiksin ju rohkem reisida ja puhata praegu), olen ometigi sellest stressist vaba, mis minuga pidevalt kodus kaasas käis. Muidugi, annan aru, et j**aanalindu mängida** ka ei maksa: kuna „ülemust" kohal ei ole, siis ei jookse nii mitmedki asjad mu laboris kindlasti nii, nagu peaksid. E-posti abil püüan küll ohje pingul hoida, aga ega see palju aita. Tean, et on suvi ja „elu laboris" on seiskunud, kuni taas augusti lõpul koju jõuan. Ja see ongi Eestimaa praegune häda – ei mõisteta, et toimumas on globaalne revolutsioon, et enamik sellest, mida tegime varem ja oskame, on aegunud ning et ainus võimalus elu rataste vahele mitte jääda – on endale armu heitmata töötada.

Siin Saksamaal **ei seisku elu** mitte kunagi, ka suvel mitte. Tõsi, töötatakse mitte 15 tundi päevas (nagu mina kodus), vaid 10. Vahel ka rohkem. Aga kindlasti mitte neli, nagu Eestis hilismineviku pärandina tihti on veel kombeks. Kui jälgid siin kõrvalt laboris toimuvat, siis mõistad: elu pulbitseb selles majas. Ei raisata aega, ei lobiseta tühja-tähja. Mitte kordagi pole ma näinud kedagi labori ruumides **arvutimänge mängimas**. Mänge mängitakse kodus, mitte tööl. Meil on need asjad teisiti...

Imetlen Lääne maailmas valitsevat efektiivsust. Elatakse keset tsivilisatsiooni: telefon annab kohe ühenduse, rongid kihutavad 200 kilomeetrit tunnis. Tühikäiku ei tunta, ei otsita huupi, ei tehta ümber, ei parandata vigu. Vigu lihtsalt ei tehta – see tähendaks töökoha kaotust.

Kell hakkab üheksa saama, väljas pimeneb. Homme on pühapäev – mu sheff, professor Manfred Glesner tuleb mulle lõuna paiku järele ja sisustab mu puhkepäeva.

Manfred Glesner saab nädala pärast 51. Terve aasta on ta juba „marineerinud" ühte huvitavat tööpakkumist ühest teisest linnast – suurem palk ja põnevad perspektiivid. Aga kolimine ja keskkonna muutus selles vanuses poleks enam lihtne protseduur. Seetõttu kaalus Manfred kaua asjaolusid ja kasutas lõpuks pakkumise ära nii, nagu seda siin Läänes ikka tehakse – suurema palga välja kauplemiseks. See tal ka õnnestus, sest rektoril on teda eduka teadusjuhina ja instituudi direktorina väga vaja. Manfredil õnnestus ka oma töötingimusi parandada – ruume ja töökohti juurde saada. Kuid kohe ilmnesid kõige hea juures ka paratamatud kaasnähud – kolleegide kadedus. *C'est la vie* – nagu ütlevad prantslased.

Professoritel on saksa ülikoolides suur võim. Nad ei allu ei rektorile ega ka kantslerile, vaid aste kõrgemal – ministrile. Tudengi jaoks on professor jumal. Nägin ise kord, kui **üks tudeng eksis** „akadeemilise eetika" vastu, kõnetades professorit õppetöö asjus koridori peal. Teaduse korüfee läks tudengist mööda justkui viimast poleks olemaski olnud.

Professori jutule pääseb üksnes sekretäri kaudu eelregistreerimise teel. Muidugi, ega kõik „kivikuningad“ (Taagepera järgi) pole ühesugused ja paljusid ei luba inimlikkus lihtsalt kõiki oma privileege kasutada.

Itaalia restoran Sitte, mille ülemistel korrustel resideeris prof. Manfred Glesneri juhitud Darmstadti Tehnikaülikooli mikroelektroonika instituut

Mis siis ikkagi annab siin maal professoritele nii suure võimu? Kindlasti nende positsioon ja tuntus teadusmaailmas, aga ka suur vastutus oma õppetooli või instituudi taseme ja arengu ees. Professoriks on väga raske saada. Konkurssidel võistleb tavaliselt 5-10 või isegi rohkem kandidaati. Ja valituks saavad tõepoolest üksnes korüfeed. Ühest küljest, on professoril suur vabadus õppetooli arendada ning juhtida, teiselt poolt aga jälgib ülikool kiivalt seda, et professori energia ei läheks mujale kui Alma Materile. Igast kõrvalisest sissetulekust peab professor ülikoolile aru andma.

Eestis niisugust nõuet ei ole. Ja pole ka nõuet, et professor peaks teadusmaailmas tuntud olema. Kui ongi selliseid eeskirju, siis üksnes paberil, elus nad ei toimi. Aga ehk ei olegi moraalne nõuda eesti professorilt sama, mida nõutakse saksa professorilt, makstes seejuures esimesele 20 korda väiksemat palka kui teisele? Võib olla oleks moraalne nõudagi eesti professorilt 20 korda vähem (kas tööd või siis kvaliteeti) kui saksa ametikolleegilt? Aga kuidas tasuda siis nendele eesti professoritele, kelle tase ja töö kvaliteet on samaväärne saksa kolleegide omaga?

Siin Saksamaal on praegu spargli aeg. **Sparglit süüakse** keedetult, praetult, hautatult ja ka toorelt. Endast lugupidavad sakslased sparglit poest ei osta. Minnakse talumehe juurde ja ostetakse tema käest. Käisin ükskord koos Manfrediga ka sparglit ostmas. Ühest garaazhialusest oli tehtud tõeline tootmisliin – konveier, mille taga töötasid 6-7 jugoslaavlannat, töötasuga 12 marka (96 krooni) tund. Kaks tugevat tüdrukut tassisid äsja põllult toodud sparglikaste autost garaazhi, kolmas ladus neid konveierile, kus need automaatpesijast läbi läksid, neljas lõikas ära inetud, katkised või hargnevad otsad, viies tükeldas, kuues jaotas tükid sortideks... See kõik oli odav töö, mida tehti odavate hooajaliste jugoslaavlannade poolt. Omaette kunst ja oskusi nõudev on aga spargli koristamine põllul. Kui peanupp mulla alt paistma hakkab, tuleb spargel kohe ära võtta, et pea ei jõuaks roheliseks muutuda. Valged jämedad pead on kõige kallim sort. Ja koristamine toimub nii, et torgatakse terav labidas (nuga) mulda, umbes sinna, kus spargli vars peaks olema. Kui satud kõrgele, saab spargel liiga lühike ja saak kehv. Kui läheb viltu, rikutakse ära ilus vars... Aga sparglid, mille valmistas lõunaks Christl, Manfredi abikaasa, maitsesid tõepoolest hästi.

Oleks tahtnud enne Saksamaalt lahkumist ka **Lorelei kaljul** ära käia. Sellest olen ammu unistanud. Aga seegi kord jääb see käik ilmselt ajapuudusel ära. Eile Duisburg'ist tulles sõitsin rongiga mööda Loreleist.Tee viis piki imekaunist looklevat Reini – metsaga kaetud mäekuplid teisel pool jõge vaheldusid kaljudega, ülal uhked rüütlilossid, ning maaliliste külakestega sügavates orgudes.

Järgmisel nädalal sõidan Manchesteri. Sealne ülikool on huvitatud meie tarkvarast Turbo Testrist, mille koos üliõpilastega oleme valmis teinud. Ma pole veel otsustanud, kuidas sõita Inglismaale. Avastasin superodava lennureisi Filipiinide lennuühistuga. Maksab peaaegu nagu rong – 250 marka edasi-tagasi! Rongiga oleks aga huvitavamgi veel, käiks Brüsselis ja Luksemburgis, kus ma varem pole olnud... Ainult Beneluxi maade viisa puudub. Esmaspäeval lähen Frankfurti ja üritan hankida.

Viimased päevad **Saksamaal** enne ärasõitu Inglismaale möödusid kroonilises ajapuuduses. Koordineerisin mitut projekti, visandasin uue koostöölepingu Darmstadti ja Tallinna Tehnikaülikoolide vahel ning lõpetasin ühe teadusartikli kirjutamise. Töönarkomaaniasse kaldumast kaitses prof. Glesneri perekond, kes mind aeg-ajalt oma vaba-aja ettevõtmistesse kaasa tõmbas.

Üle Saksamaa levinud kuumalaine tõttu käisid Glesnerid ülepäeviti **basseinis ujumas**. Liivast mereranda Kesk-Saksamaal ei ole, aga iga kümne kilomeetri peale tuleb siin kindlasti üks rohelise muruga ümbritsetud tasuline ujumisbassein. Christl, Glesneri abikaasa, väikesekasvuline elava loomuga naisterahvas, nelja lapse ema on endine vettehüppaja. Bravuurselt hüüdis ta mulle kõrgelt basseini hüppetornist, et kui jäängi teda vaid alt üles vaatama, siis ei usu ta, et olen sportvõimleja olnud. Mõnusalt murule heitnud pereisa muigas habemesse – temal polnud vaja omaenda naisele midagi tõestama hakata... Kõhe oli paljude aastate tagant taas kõrgele torni ronida, aga häbisse jäämise oht sundis takka.

Järgmisel pärastlõunal teatab Glesner, et õhtul olevat üritus **professorite tantsuklubis**, kuhu minagi olen kutsutud tema tütre partneriks. Vaevu jõudsin higist särki vahetamas käia, kui Julia oli juba autoga järel. Klubisse jõudes, polnud vanemaid veel kohal ja nii pidime end ise „asjakohaselt" esitlema: professori tütar Darmstadtist ja professor Tallinnast...

See oli hea idee Darmstadti professoritel – kord kahe nädala tagant koos abikaasadega kokku tulla, tantsida, klaasi veini või õlle juures päevaprobleeme arutada ja, kui vaja, ka mõni kiire tööasi joonde ajada. Seltsielust peeti siin väga lugu: kahe Darmstadtis veedetud nädala jooksul sattusin veel teaduskonna kevadbanketile ja välistudengite jaoks korraldatud rektori vabaõhu-vastuvõtule.

Olles Darmstadtis küll juba mitmendat korda, olen siin alati tunnetanud ülikoolilinnale tüüpilist atmosfääri. Ega asjata kutsuta seda endist Hesseni residentsi kunsti- ja teaduselinnaks. Sõdadest püsima jäänud barokkloss, Orangerie, vana raekoda ja paljud teised arhitektuuri mälestusmärgid jutustavad kunagisest residentslinna välisest hiilgusest. Suurhertzog Ernst Ludwigi poolt siia kokku kutsutud seitse kunstnikku rajasid sajandivahetusel Mathildenhöhe künkale kunstikoloonia (a la saksa Monmartre), mis oma aktiivse tegevusega lõi kiiresti linnale juugendstiili- ja üldse kunstikeskuse renomee.

Muuseumid, näitused, vilgas kontsertelu ei lase 360 professori käe all 22-s valdkonnas õppival Tehnikaülikooli 12000 tudengil kapselduda üksnes oma kitsasse erialasse. Rikas seltsi- ja klubitegevus on lubanud välja kujundada selgelt tuntava „Darmstadti vaimu", kus ei puudu ei kunstiline isetegevus ega ka **õllejoomise traditsioonid**.

Õdus õllehetk oma saksa partneritega Darmstadtis. Vasakult prof. Manfred Glesner, kaks tema doktoranti Peter Pöchmüller, kes meie TEMPUS projekti kokku kirjutas ja Klaus Hoffmann, kes hiljuti Glesnerilt tema instituudi üle võttis, ning Raimund Ubar

Üheks omanäolisemaks Darmstadti vaimu kandvaks ürituseks on iga-aastane ülikooli kevadmess, kus kõikidel õppetoolidel on võimalus demonstreerida oma imaagot. Sel korral messi külastades nägin tudengite ehitatud roboteid, automatiseeritud tootmisliinide töötavaid makette, multimeedia rakendusi ja palju muud põnevat ning kaasaegset. Väljapanekute vahel sagis nii autoreid (üliõpilasi, doktorante, professoreid) kui ka rohkesti tööstuse ja kommertsala esindajaid, kes otsisid äriideesid ja neid, kellele teha tööpakkumisi. Üritusest õhkuv tudengivaim (nooruslik kirg, fanatism, jäägitu asjasse pühendatus) kandsid endas saabuva ajastu – kõrgtehnoloogia- ja teabeühiskonna pitserit.

Manchester, 2. juulil 1994[2]

Darmstadtist Londonisse otsustasin lennata, loobudes esialgsest plaanist reisida turismi eesmärgil rongidega läbi Madalmaade. Transiitviisade hankimiseks jäi aeg lühikeseks. Enne maalt lahkumist aga jõudsin veel **saksa teeninduskultuuri** kõrget taset nautida. Päev enne lendu helistatakse mulle laborisse ootamatult reisibüroost: me vabandame, teie väljalend hilineb homme 45 minutit. Olin üllatusest hetkeks sõnatu, siis läksin „mänguga kaasa", esitades naljaga pooleks küsimuse, kas ma oma Manchesteri rongile ikka jõuan (Londonist Manchesteri sõidab päevas 21 (!) rongi). Tunni aja pärast tuli ammendav vastus ja muudki infot lisaks. Arvestades superodavat lennupileti hinda, oli taoline klientide eest hoolitsemine tõeliseks üllatuseks. Aga üllatas ka see, et erinevatest büroodest samale reisile hindu küsides, sain vastuseid, kus summa kuni kaks korda (!) varieerus.

See oli Filippine Airline'i kompanii. Registreerimisel tekitas filipiinlastest ametnike seas furoori Eesti pass, sellist asja nähti siin esimest korda... Lennuk tuli Austraaliast, terve ööpäev juba teel. Hiiglasuur koloss – Boeing 747. Ridu – 56, igas reas 10 istet. Raskeid kohvreid ja suuri kotte upitati peakohal asuvatesse mahukatesse panipaikadesse. Kogu konstruktsiooni maandumisel rappumas nähes tuli lausa hirm peale – kui nüüd kogu kraam alla sajab! Ei sadanud. Nägusad pilusilmsed stjuuardessid tõestasid kogu reisi kestel juba eelnevalt kuuldut, et Filippine Airline'i teenindus on parimaid maailmas.

Gatwicki terminalist **Eustoni vaksalisse** kulus tundi pool, mitte tund, nagu reisibüroost oli öeldud. Aga seal ei arvestatud sellise „temperamentse" reisijaga nagu mina. Normaalne eurooplane ei kiirusta, ta naudib reisimist. Normaalne eurooplane ei tassi ka 30-kilost kotti raamatutega nagu mina. Temal on taskus vaid tšekiraamat. Helistasin Manchesteri ja teatasin, et tulen järgmise rongiga. Tegelikult saabusin ülejärgmisega, sest rong, millega sõitu alustasin, läks tee peal põlema (!). Jäi üle vaid rõõmustada, et õhureis selleks hetkeks juba läbi oli...

Manchester on Põhja-Inglismaa pealinn – tore koht, kus veeta oma üliõpilasaastaid. Linn on rikas vaatamisväärsuste poolest ja seal on väga hea reputatsiooniga ülikool. Siin on õppinud või õpetanud üle 20 Nobeli preemia laureaadi, siin lõhuti Rutherfordi poolt

[2] Lühendatult: R. Ubar, Reisikirjad võõrsilt. „Horisont" , Nr. 2, 1995.

esmakordselt aatom ja siin ehitati esimene kaasaegne programm-mäluga arvuti. 15000 tudengit ründab siin teadmiste püramiidi 1250 rahvusvaheliselt tunnustatud õppejõu käe all. Suurepärane infrastruktuur ja laborite varustatus. Ainuüksi informaatika teaduskonnas on 150 SUN tüüpi võimast tööjaama ja lugematul hulgal personaalarvuteid.

Manchesteri ülikooli omapäraks on suur hulk välistudengeid – ligemale 2000. Üks mu sealne tuttav professor tavatseb õhtuti laborist lahkudes välistudengitele öelda „nägemiseni" nende omas keeles. Nii tulnudki tal kord jätta hüvasti tervelt 14 erinevas keeles. Olin kutsutud informaatika teaduskonda, kus töötatakse välja uut õpitarkvara elektroonikasüsteemide diagnostika õpetamiseks. Tehissüsteemid (eriti just elektroonilised) on tänapäeval muutumas üha keerulisemaks ja nende korrasoleku ning usaldatava töö tagamine ehk **„tehniline meditsiin"** on tehiskeskkonna loomisel samasuguseks võtmeprobleemiks saanud nagu keskkonnakaitse looduse säilitamisel ja arstiabi inimese tervise tagamisel.

Manchesteri ülikool on huvitatud, et nimetatud õpitarkvarasse ühe komponendina lülitada ka meie arvutiprogrammide süsteem Turbo Tester, mille oma üliõpilastega olen valmis teinud.

Arutasin Manchesteri inimestega, mida oleks vaja täiendada meie programmides, et neid saaks uue õpitarkvara toetamiseks kasutada. Tegin ettepaneku taotleda raha ühisuuringuteks **uue projekti näol**. Visandasime kohe samas mõned kontuurid vastava taotluse väljatöötamiseks europrogrammi TEMPUS raames, kus partneriteks plaanin võtta ka Newcastle'i Ülikooli Inglismaal ja Porto Ülikooli Portugalis.

Elama asusin Manchesteris ühe tüüpilise inglase eramus, 10 naela öö, mis on väga odav. Õhtul pakuti mulle jooki, mille nime tükk aega mõistatasin: kas kohv või tee. Piimaga tee oli. Hommikueineks olid apelsinimahl, praetud leib-muna-sink ja kohv. **Habeme ajamisega** jäin jänni, sest inglastel on erinev seinakontakti konstruktsioon. Nüüd on mul adapter järgmiseks saarereisiks juba ette ära ostetud.

Järgmisel õhtul pärast pikki arutelusid ülikoolis viis dr. Brittle mind enda poole koju. David elab 15 miili Manchesterist väljas, ühes väikelinnas aiaga ümbritsetud kaksikelamus (*semi-detached house*). Väga tüüpilised olid ümbruses ka ridaelamud (*terrassed houses*). Üks väike piimvalge särgi ja lipsuga (!) põlvpükstes poisike tagus jalaga palli vastu kõrvalmaja seina. Jalgpalli MM oli nakatanud mitte üksnes lapsi, ka kõik täiskasvanud olid neil päevil keeranud oma televiisorid jalgpallikanalitele.

Perenaine lõikas minu viis pikka nelgivart **kaks korda (!)** lühemaks, enne kui need vaasi pani. Toad olid lihtsalt sisustatud, võiks öelda, pisut segamini. Aga ei mingit häbenemist ega vabandamist. „Sorry" öeldi vaid selle kohta, et mul tuli pisut oodata... Olin õhtusöögile kutsutud, aga kodus me siiski lauda ei istunud.

Sõitsime kolmekesi linnast välja ühte pub'i. Kena koht, lageda mäe otsas, avara vaatega orus lebavale väikelinnale ja lambakarjadele. Mäel seisid vaid kaks maja: **kirik ja *pub*** (kõrts). Lisaks surnuaed. Külm ja tuuline oli – lõdisesin. Lausa harjumatu olukord Saksamaa kuumalainest tulijale. Pub oli kitsas ja edasi-tagasi sagivat rahvast täis, baarilett – kahekordse inimrivi poolt hõivatud. Sellele vaatamata jagus kohe ka uutele tulijatele tähelepanu – meid juhatati nurka ümmarguse lauakese äärde, millele momentaanselt sigines kolm klaasi Guinessi õlut. Kolme taldrikut poleks aga küll klaaside kõrvale mahtunud... „Peame vabanevat lauda ootama", kommenteeris David ja hajutas mu õhtusöögi ootusest tekkinud segaduse. Õlleklaasid võtsime hiljem suuremasse lauda üle kolides kaasa...

Inglise pub'i omapäraks on intiimne atmosfäär vaiksete nurgakestega, kõrvalruumide ja niššidega, kus on mõnus vestelda, ilma et pool maailma pealt kuulaks. Järgmine päev oli laupäev. Võtsin ette raudteematka **Põhja-Wales**'i. Rongiplaanid Inglismaa raudteejaamades on väga ebaülevaatlikud, eriti kui oled harjunud Saksamaa selge ja ladusa süsteemiga. Mul oli *Brit-Rail*'i sõidupass, millega võisin neli päeva suvaliselt ronge kasutada. Ent kohe ilmneski selle „paberitüki" puudus – ühelt poolt, tekitas see ahvatluse maksimaalselt „kasu saada" ehk võimalikult palju ringi sõita, teiselt poolt aga, polnudki sellist soovi lihtne ellu viia – „kokkusobimatute" sõiduplaanide tõttu.

Ostsin selle sõidupassi juba Saksamaal viibides, mõjutatuna soodsast hinnast. Professoril, näiteks, piisab ainsast loengust, et saadud tasu eest seejärel neli päeva (!) mööda Inglismaad ringi sõita. Tallinnas ei ole lood transpordi valdkonnas nii suurejoonelised, sest **professori päevapalgast** jätkub vaevu lennuväljalt taksoga Õismäele sõitmiseks. Lohutada võib end vaid sellega, et Kiievis, kus hiljuti käisin, ei jätku professoril kuupalgastki, et lennuväljalt taksoga kesklinna saada. Wales oma kümne kitsarööpmelise marsruudiga (*great little trains of Wales*) on raudteematkajale lausa paradiis. Kui varemalt mägede vahel looklevaid teid pidi transporditi maaki ja ehituskive, siis nüüd lehvitavad käsi värviliste vagunite akendel rõõmsad ja vallatud turistid.

Minu reis viis läbi Chesteri kõigepealt Wales'i põhjarannikule. Liivased merekaldad ja pikad rannapromenaadid Prestatyn'i ja Llandudno vahel. Kes rongiga läbi Llanfairpwll'i päris Wales'i loodeossa Anglesey saarele sõita soovib, peab arvestama hilinemisega sõiduplaanis. Seda juhul, kui jaamaülem võtab nõuks rongi saabudes jaama nime kõik 58 tähte ise reisijatele ette lugeda. Jaama nimi *Llanfairpwllgwyngyllgogerychwyrndrobwllllantysiliogogogoch* tähendab uelshi keeles umbes midagi järgmist: Püha Maria kirik Valge Pähklioksa orus punase kiirevoolulise jõe kaldal Llantysilio koopa juures.

Llandudno Junction on raudtee sõlmpunkt. Jalutan ringi, oodates kohe-kohe tulevat järgmist rongi. *Gents*'i (WC) uksel on silt, mis teatab, et alates kella seitsmest õhtul on asutus suletud – *Due to vandalism* (nagu on kirjas). Meenus kord aastate eest Minski kesklinna poes nähtud samalaadne teade seinal: „Kaks tundi enne jalgpallivõistluste algust õlut ei müüda"...

Edasi sõitsin piki Conwy orgu lõunasse, otse **Wales'i südamesse**. Madalad nõmmedega kaetud mäed, orud ja arusaamatu uelshi keel. Sildid on kahekeelsed. *Way out* („väljapääs") tähendab kohalikus keeles: *ffordd allan*. Iseenesest loogiline: *fort* on saksa keeles „ära", ja *aller* prantsuse keeles „minema". Aga üldiselt nõuab siin topeltkonsonantide ja üpsilonide kaos keelehuviliselt parajat kannatlikkust.

Rongiakna kinolinal vahelduvad *fachwerk*-taluhooned massiivsete tudorlossidega ja kindlustega. Viimaseid on Wales'is tõesti palju. See olevat sellest, et varematel aegadel tuli siinsel rahval inglastega palju sõdida. Ka praegu vastatakse inglasele demonstratiivselt uelshi keeles, vaid minule kui välismaalasele tehti erand. Pärast tunniajalist sõitu tundsin taas kindlat maad jalge all – Blaenau Ffestiniog. Siin asub üks suurimaid musta tahvelkivi kaevandusi maailmas, nii maapealse kui ka maa-aluse kaevandamisega. Ühe niisuguse kaevanduse hiiglasuurtes maa-alustes käikudes on võimalik ka suvalisel külastajal ringi hulkuda. Lõunasse, mere suunas läheb edasi järgmine kitsarööpmeline marsruut, mille sõiduplaan mulle ei sobinud – poleks enam samal päeval Manchesteri tagasi jõudnud. Ühes poekeses ostsin kena Wales'i näitsiku käest mälestuseks 15 postkaarti, 15 penni tükk. Neiu lõi kas-

sasse 15 korda järjest (!) numbri 15 ja küsis seejärel täpselt **ühe naela võrra** rohkem, kui kaup maksis. Ju ta taipas, et olen turist, kel raskusi inglise müntide suuruste ja väärtuste vaheliste suhetega (kaks penni on hulga kopsakam kui üks nael). Kui ma viisakalt neiu veale tähelepanu osutasin, punastas ta armsalt ja ütles mahedal häälel *sorry*.

Conwy linnakeses tasub kindlasti ära käia, kui teekond Põhja-Wales'i viib. Kaljule ehitatud loss on tõeline keskaegse arhitektuuri meistriteos, üks ilusamaid losse üldse Wales'is (kui turismijuhte uskuda). Kaheksa massiivset ümartorni, imposantne jalakäijate rippsild üle jõe. Imeilus mererand, läbisegi suplejad ja rannale kuivama tõmmatud kalavõrgud. Elav turismikeskus, aga ronge tuli peatada käega – rongijaam selles linnas oli **nõudepeatus**. Poleks peale minu veel ühte ueilslast perroonil seisnud, kes rongi saabudes õigel hetkel käe püsti ajas, oleksin mina suu ammuli pealt vaadata saanud, kuidas vagunid peatumata mööda kihutavad.

Chester – muinasjutuline tudorlinn atraktiivsete vanalinna tänavatega, pisipoekesi täis pikitud arkaadidega (linn nagu nukutuba). Fachwerkmajad XVI sajandist, vanim koguni aastast 1486. Siit pärineb ka seda tüüpi arhitektuuri ingliskeelne üldnimetus – *chesterhouses*. Tegelikult on Chester asutatud juba päris ammu – 79. aastal m.a.j., tookord rooma leegionide peakorterina. I-V sajandit, mil Wales oli Rooma võimu all, meenutavad amfiteatri jäänused linnaserval ja kolme kilomeetri pikkune linnamüür.

Manchesteri jõudsin tagasi pimedas.

Grenoble, 15. Juulil 1994[3]

Pariisi, Saint-Lazare'i vaksalisse jõudsin Londoni rongiga varahommikul, habe ajamata nagu hulgusel. Mitte kusagilt ei suutnud ma oma habemeajamisaparaati leida. Eelmisel päeval Trafalger'il olin avastanud õlakoti välistasku lahti olevat. Nüüd aparaati kotist mitte leides tegin järelduse, et ju siis oli ta just selles lahtises taskus olnud ning nüüd juba uue omaniku „leidnud". Paras õppetund Londonist... Aga sellepärast ei tasunud veel meelt heita, reisil juhtub mõndagi. Tähtsam oli, et ees seisis vaba päev Pariisis ...

Metroo automaadid Saint-Lazare'is ei tööta, kõik võivad piletita läbi minna. Sõidan 12-ndat liini pidi Concorde'ile ja sealt number ühele istudes – **Gare de Lyon**'i vaksalisse. Siit lähen õhtul edasi Grenoble'i. Reisikraamist vabanemiseks otsin lahtise uksega automaathoiukappi. Leian koguni kaks – neist ühes on mingid kotid sees, kedagi läheduses pole (!). Kas tõesti keegi on asjad kappi unustanud? Või – ohhoo (!), kas Prantsusmaal siis ei varastatagi?... Sorin kotis, et päeva jooksul tarvis minevat välja selekteerida – ja äkki leian üles „kadunud" aparaadi. Ütlemata hea meel. Tuleb välja – ka Londonis pole vargaid...

Rongipilet Grenoble'i õhtuks taskus, sõidan oma ammust reisiunelmat teoks tegema – Versaille'sse. Tee peal on kolmekordne piletite kontroll: algul, metroosse sisenedes – automaadid, siis astuvad vagunisse viis mundris meest pluss üks naine, kellest kahel koguni kumminuiad ja lõpuks, metroost väljudes – jällegi automaadid.

Versailles – on vapustav. Luksuslikud saalid uhkete kroonlühtrite, peegelseinte, hinnaliste tapeetide, kulla ja hõbedaga. Laemaalid talutavad pea kuklasse keeranud turisti Kreeka mütoloogiasse. Palee ümber – lõputud pargid basseinide, purskkaevude ja loendamatute skulptuuridega pöetud põõsaste vahel. Louis XIV mitte üksnes ei rajanud oma

[3] Lühendatult: R. Ubar, Reisikirjad võõrsilt. „Horisont" , Nr. 4, 1995.

isale kuulunud väikese jahilossi asemele grandioosse residentsi, ta kujundas ringi ka kogu ümberkaudse looduse, tasandas mägesid ja tõstis ringi jõesängi. Residents kujunes päikesekuninga absolutistliku võimu ja jumaliku hiilguse sümboliks. Teiselt poolt, see läks Prantsusmaale maksma tervelt pool tookordsest kogu maa aastasest rahvuslikust sissetulekust. Versailles' õitseaeg kestis vaid ühe lühikese sajandi, selle katkestas 1789. a. prantsuse rahvarevolutsioon.

Versaille on alati täis turiste, eriti aga niisugusel kaunil suvepäeval, mis minu visiidiga kokku langes. Eriti palju oli jaapanlasi ja seeniore. Jaapanlased on rikkad, seenioridel – suured hinnasoodustused. Vanus vahemikus 26-60 on Euroopas reisimiseks ebamõistlik, sest siis läheb iga kulu täishinnas ja ülegi. Versaille'sse on soovitav piknik kaasa võtta. Mitte järjekordade, vaid 10-kordsete hindade pärast, aga eeskätt – romantilise elamuse saamiseks, millist ilmekalt kujutab oma maalil „Hommikusöök murul" Claude Monet.

Pariisist Grenoble'i (700 km) jõuan kolme (!) tunniga. Fantastiline, Lyoni teelõigul kihutab rong keskmiselt 300 km tunnis. Grenoble'ile lähenedes hakkab tee keerutama, sest jõuame mägedesse. Kiirust tuleb pisut maha võtta. Räägitakse, et peatselt jõuab rong Pariisist Grenoble'i 2,5 tunniga... Jaamas ootavad mind mu neli doktoranti, kes on oma õppestipendiumit Grenoble'is juba kasutama asunud. Sõidame ühiselamusse ja veedame toreda õhtu muljeid vahetades.

Grenoble'is on neli ülikooli, mis hõlmavad kaheksat tehnikakõrgkooli, ja kus ühtekokku õpib 40000 üliõpilast. Iga kümnes elanik **Grenoble**'is on tudeng. Ülikoolid töötavad optimaalselt ressursse jagades, olles tihedalt üksteisega läbipõimunud ning omades ühiseid laboratooriume ja keskusi. Sageli on ühe või teise asutuse kuuluvust isegi raske identifitseerida. Näiteks, instituut IMAG (Grenoble'i Informaatika ja Rakendusmatemaatika Instituut), kus ma praegu oma doktorantidega töötan, asub ühtaegu nelja „katuse" all: CNRS (Rahvuslik Teadusuuringute Keskus), INPG (Grenoble'i Rahvuslik Polütehniline Instituut), UJF (Joseph Fourier Ülikool) ja ENSL (Lyon'i Rahvuslik Kõrgkool). See oleks paras pähkel Eesti teaduse korraldajatele, kes püüavad praegu otsusele jõuda, kas üks või teine teadusasutus peaks kuuluma Teaduste Akadeemia või mõne ülikooli või hoopis otse mõne ministeeriumi alla. Tundub, et prantslased ei tee teaduse struktuuri korrapärasusest probleemi, elu on ikka mitmekesine, tähtis on vaid see, et kõne all olev teadusasutus oleks Euroopas tuntud ja tema töötulemused tunnustatud.

Avatus rahvusvahelisele koostööle ja konkurentsile on siin maal ülikoolide peamisteks tunnusjoonteks. Näiteks, laboratoorium, kus ma töötan, on lisaks sellele, et siin toimub väga kõrgel rahvusvahelisel tasemel teadustöö, haaranud enda kätte juhtpositsiooni ka kahe üle-euroopalise organisatsiooni EUROCHIP ja CHIPSHOP tegevuses. Esimene vahendab Euroopa elektroonikatööstust ülikoolidega, teine – areenile alles asuvate „algajate" väike-ettevõtetega. Üheltpoolt antakse ülikoolide ja väike-ettevõtete käsutusse soodushindadega väga kallis tehnoloogia, teiselt poolt aga loodab tööstus niisuguse toetuse teel ülikoolidelt ettevalmistatud kaadrit saada või väike-ettevõtete kui klientide kaudu oma turgu laiendada, aga samuti ka innovatiivseid ühistööprojekte käivitada. Olgu siinkohal mainitud, et ka Tallinna Tehnikaülikool valiti ühena esimestest Ida- ja Kesk-Euroopa ülikoolidest assotsiatsiooni EUROCHIP liikmeks, mis on andnud meile võimaluse 20-kordse hinna-alandusega muretseda Euroopast uusimat professionaalset elektroonika projekteerimise tarkvara.

Teine ülikoolide ja teadusasutuste märksõna on intensiivsus piiratud ressursside kasutamisel. Puudu on ajast, rahast, inimestest ja töövahenditest. Töö intensiivsusega ja ressursside kontsentreerimisega korvatakse seda defitsiiti. Niisugust luksust nagu nautisin mõned aastad tagasi Linköpingi ülikoolis Rootsis, kus igal doktorandil oli oma isiklik võimas SUN-tööjaam, Grenoble'is ei ole. Veel enamgi, Prantsuse riigil **ei ole nii palju raha**, et ülikoolides iga instituudi juurde „oma isiklikku" arvutiklassi luua. Selle asemel koondatakse vahendeid keskustesse ja kasutatakse neid üle terve ülikooli või isegi mitme ülikooli vahel ühiselt ning intensiivselt. Nii näiteks, meie labori kõrval asuvat mikroelektroonika keskust CIME kasutavad õppe- ja teadustööks kaks Grenoble'i ülikooli ja üks teadusasutus. Sama ideoloogia kohaselt on ka Tallinna Tehnikaülikooli juurde loodud hiljuti analoogiline Elektroonika kompetentsuskeskus, kus on võimalik kasutada kallist riist- ja tarkvara kõigil ülikooli töötajatel.

Tudengite hotell, kus elame, asub ülikoolist 15 minuti bussisõidu kaugusel. Maja kõrval on bassein, mis erakordset populaarsust omab. Grenoble'i katlas, kolme mäeaheliku kokkujooksul asuvas orus, kus temperatuur juulis on enamasti üle 40, on suplemise võimalus **lausa eluküsimus**.

Kuhu ka ei läheks Grenoble'i Victor Hugo platsilt, paistavad kõikidest suundadest mäed

Ümberringi on mäed, justkui käega katsuda. Seistes keset Place G. Rive väljakut, on võimalik hakata liikuma kuues suunas, aga vaid ühes – pole näha mägesid. Seetõttu seisab õhk siin paigal ja ülevalt La Bastille'i terrassilt linnale alla vaadates näeb maju vaid läbi halli suitsuvine. Grenoble olevat Pariisi kõrval keskkonna saastatuse poolest järgmine linn Prantsusmaal.

Kaks päeva pärast mu kohale jõudmist peeti Hubert Delori aias osakonna pidu. Umbes 40-50 inimest tuli kokku. Grilliti liha ja vorste, õllevaat kompressoriga oli igaühe käsutuses, hulganisti jagus veini ja rahvusrooge mitmetest maadest, mida serveerisid küllakutsutud. Labori rahvas on geograafia mõttes kirju, siin on doktorante vähemalt 10-lt maalt, nii Euroopast, Aafrikast kui ka Lõuna-Ameerikast. Rahvusvahelised jalgpallivõistlusedki labori uurimisgruppide vahel peeti ära.

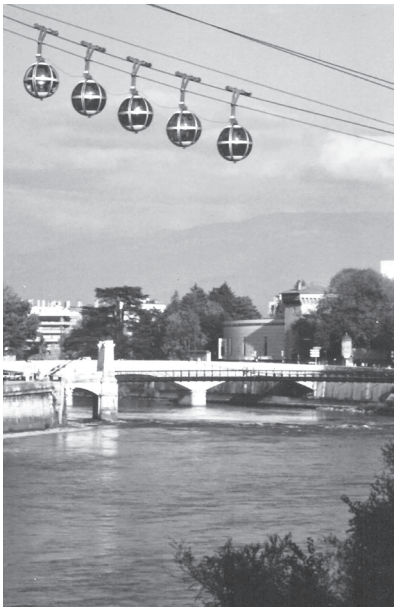
Ühel päeval sattusin töö juures ajakirju lehitsedes ühele ameeriklaste artiklile, kus minu matemaatilist mudelit, mille juba 15 aastat tagasi avaldanud olin, uuesti originaalse asjana välja pakutakse, seejuures teise nime all (ehk uudses terminoloogias) ja teises aga väga kaasaegses ja populaarses soustis. Sisu sama, aga vorm (pakend) – teine. Nii nagu igalpool mujal elus, ka teaduses juhtub sageli nii, et **„müüakse" välimust** (vormi), aga mitte sisu. Viiteid mu varasematele artiklitele muidugi polnud, sest need olid kirjutatud vene keeles, aga arvutustehnika valdkonnas lääne teadlased venekeelset teaduskirjandust ju ei loe. „Vene teaduse" ignoreerimine tulenes, ühelt poolt, objektiivsest keelebarjäärist ja, teiselt poolt, subjektiivsest kontaktsusbarjäärist ning selle taga viljeldava teaduse alahindamisest niisugusel tormiliselt areneval alal nagu arvutustehnika. Arvestades siia lisaks uurimuste salastamist N Liidus ja kitsendusi, mida tehti nende publitseerimiseks Läänes, kujunes välja üsnagi

omapärane suletud „nõukogude teaduse klubi“, mis elas oma eraklikku poolkinnist elu vanglamüüride vahel. Selles klubis arenesid paralleelselt nii *pseudo-* kui ka päristeadus.

„Pseudo“ õitses, kuna muu maailma kompetentsus oli barjääriga eraldatud ja ei pääsenud häirima, „päris“ aga sai tänu salastatusele võimaluse areneda segamatult ja konkurentsivabalt. Barjääride purunemisel „pseudo“ hukkus, aga see, mis „päris“ oli, leidis lahenduse massilises ajude äravoolus Läände, kus äkki avastati hiiglasuur seni varjul olnud idapotentsiaal. Paljud minu head kolleegid Venemaalt elavad praegu Läänes ja teenivad elatist sellest, et tõlgivad lihtsalt inglise keelde oma vanu ajast ees olnud artikleid või viivad neid lihtsalt uude tänapäevasesse vormi.

Töötan siin nüüd pingsalt oma doktorantidega. On hea, et ühitasime ajaliselt oma õppereisid, oleme vabad isiklikest muredest ja koduga seotud kohustustest ning võime sügavamalt kontsentreeruda töösse. Vähemalt on mul projektijuhina õigus neilt nõuda seda. Planeerime ja kavandame oma tegevust äsja saadud uue europrojekti täitmiseks. Võtsin aja maha ja „tegin teadust“ kolm päeva järjest 18 tundi päevas nagu ennemuiste nooruses, absoluutselt kõike ümbritsevat unustades. Sai valmis detailidesse ulatuv plaan, igale doktorandile tema iseseisev ülesanne ja äsjane ebakindlus ning kõhklustega seotud mure – kas ikka saame selle projektiga hakkama – kadus. Mu doktorandid näisid samasugust indu ja optimismi täis minevat[4].

Toit läheb kuumuses halvaks ja ei seisa. Külmutuskappi pole. Banaanid on ühe päevaga pruunid ja pehmed, juust läheb märjaks, šokolaad vedelaks. Vaid teravavürtsiline suitsuvorst Coriza seisab mõne päeva. 35 kraadi varjus pole nalja-asi. Inimesed käivad ringi, joogipudelid käes ja higistavad. Laboris kleepub särk ebamugavalt naha külge. Aknad ja uksed on lahti, tuuletõmbuses lendlevad paberid – tähtsad ja vähemtähtsad. Tuleb järjekordne iil ja põrandal lendleb läbisegi neljalt laualt kokku 57 paberilehte... Aga inimesed on harjunud ja rahulikud.



Grenoble. Vaade Isere'i sillalt linna ehtepärlitele - funikulööritrammile

14. juuli on rahvuspüha – Bastille päev ehk Prantsuse revolutsiooni 205. aastapäev, Esimese Vabariigi asutamise aastapäev. Suur ja ootusrikas päev püromaanide jaoks. Õhtul kell 22.30 pidi Isere'i kaldal algama **suur tulevärk**, mida terve aasta kannatamatult oodatakse.Viis minutit enne õiget hetke olin ka mina leidnud sillal otse Bastille' vastas inimmassi keskel seisuplatsi ning ootasin. Ja siis see algas. Kõigepealt kustusid tänavavalgustus ja baaride-kohvikute neoontuled. Justkui teatris. Valjuhääldi kaudu tervitas meer rahvast. Hakkas mängima pidulik muusika ja taevasse paiskusid esimesed rohelised-sinised-punased tulekoonlad.

[4] Siis ma veel ei teadnud, et kaks mu doktorantidest viisid läbi täpselt samal ajal läbirääkimisi Prantsusmaale tööle jäämise asjus ja et poole aasta pärast kaotangi kaks oma kõige tugevamat õpilast ja sattun peaaegu lootusetusse olukorda sellesama europrojekti läbiviimisel. See ongi see niinimetatud ajude äravool. Sellel on aga ka teine nimi – meeskonna altvedamine. Ehkki tänapäeval toimivad teistsugused eetikad, mille järgi iga inimese mure on tema enda mure.

Seisan Isere'i sillal, vasakul võimas mäemassiiv Bastille' kindlustustega, paremal linnasiluett, jõeäärt palistav inimpeade meri ning kaugel eemal – Belladonne'i mäeharjade tumedad majesteetlikud kontuurid. Seal taga on kusagil Mont Blanc – Euroopa kõrgeim mäetipp. Ilusa ilmaga võib teda Bastille'i terrassilt ka silmaga näha. Õhtupäikeses on Belladonne'i harju kattev igilumi ahvatlevalt õrnroosa, meenutades magusat kitši piltpostkaardil. Praegu on seal aga pime ja ohtlik... Kiirevooluline jõgi mu jalge all kord helendab rakettide valguses, kord muutub sinkjasmustaks nagu öö, nagu mäedki kauguses.

Rakettide tulevärki saadab valjuhäälditest „Singing in the rain", laul filmist „Mees ja naine"... Nii muusikat kui tulevärki serveeritakse seanssidena. Pärast igat seanssi rahvas aplodeerib. Siis kõneldakse midagi valjuhääldis, meenutatakse 1789. aasta revolutsioonipäevi ja rahvale kuulsust toonud kangelasi. Ning taas algab uus veelgi uhkem tulevärk. Just rahva vahetu ja temperamentne, häälekas kaasaelamine nendele seanssidele muutis vaatemängu elamuseks.

See oli kontsert, aga mitte tavaline paljunähtud 30 kogupauguga 1. mai ilutulestik. See oli show... Äkitselt oli kõik lõppenud. Vaatasin veel mõnda aega sillalt alla sinetavasse musta vette, süttivaid neoontulesid ja laternaid. Siis hakkasin koos rahvaga liikuma. Baaride ja kohvikute ees asetsevate laudade taga joodi õlut või veini. Siinseal müüdi kuumutatud popcorni ja küpsetatud kastaneid. Sõiduteel liikusid läbisegi autod, motorollerid, inimesed. Üks uljas invaliid kihutas kaherattalisel kärul inimestest ja autodest mööda nagu ilmutis...

Pikk jalutuskäik läbi linna koju, 11-frangine roosa vein Jean Duvignoble – jooksva külma vee joa alla, ise külma dušši alla ja siis pikk janu kustutamise sõõm. Läbi lahtise akna kostuvad öised hõiked, kauged raketipaugud mägedest, kilked ja sulpsatused basseini suunast ühiselamu nurga tagant. Pidu jatkub... Püüan uinuda, ahmides õhku 30-kraadises öises leitsakus.

Korsika, 7. august 1994[5]

Seekord kirjutan teile Napoleon'i sünnilinnast Ajaccost. Olen taas kokku saanud oma abikaasaga. Tiiu jõudis Grenoble'i umbes nädalapäevad tagasi. Lõpetasin töö ja nüüd reisime pisut. Võtsime hotellitoa vaatega Vahemerele ja üle lahe paistvatele mägedele. Kusagile sinna kanti jääb ka Monte Cinto, Korsika kõrgeim mäetipp. Tuba on kallis – 410 franki, aga selle eest on meil kliimaseadmed ja koht, kuhu palavuse eest põgeneda. Tingida Prantsusmaal hindade üle ei õnnestu, nii nagu näiteks Itaalias. Roomas ega Napolis ei tasu hotelli ette broneerida, sest siis jääd kokkulepitud hinnaga seotuks. Otse tänavalt sisse astudes ja samaks õhtuks tuba küsides, võib aga hinna kaks korda alla kaubelda.

Grenoble'i periood on selleks korraks minevik. See oli tore aeg selles mõttes, et olin iseenda peremees ja võisin kontsentreeruda uurimistööle. Kaks valmiskirjutatud artiklit lõid rahulolutunde, mida kodus olen viimasel ajal üha vähem ja vähem oma tööst nautida saanud. Organiseerida, juhtida ja korraldada teadustegevust praeguses Eestis on tänamatu ülesanne – justkui sõelaga kannaksid allikast vett. Teadlasi pole Eesti riigile vaja. Sest nende produktsioon ei ilmne näitajates, mille järgi hinnatakse riigijuhte: majanduselu aktiviseerimine, sotsiaalsete hädade vaos hoidmine. Riigijuhid arvavad, et teadlased

[5] Lühendatult: R. Ubar, Reisikirjad võõrsilt. „Horisont" , Nr. 5, 1995.

saagu ise hakkama, küll tugevamad elama jäävad. Jäävad küll, aga vaid seetõttu, et leiavad rakenduse läänest, ja sinna nad ka siis lähevad. Just teadlaste ilma jätmine oma maa toetusest ja tunnustusest põhjustabki ajude äravoolu riigist. Osa teadlasi siiski ei lähe, nad püüavad jätkata kroolimist vastuvoolu, rajavad läänest teenitud rahade abil uurimisgruppe ja loovad noortele võimalusi omandada uusi teadmisi ning oskusi. Sageli on need just niisugused oskused (näiteks, infotehnoloogiaga seonduvad), mida vajavad ka pangad, müügiagentuurid ja vahendusettevõtted. Ning äkitselt on uurimisgrupist saanud kaitsetu uluk keset karmi loodust, keda ründab saaki jahtiv hallivatikari. Väljaõppinud noorteadurid meelitatakse suuremate rahadega eraettevõtlusesse ja uurimisgrupp laguneb. See on riigisisene ajude äravool teadusest. Eesti on orienteerunud totaalsele turule, kus ka teadusele ei tehta erandit. Aga teadus nagu kõrgkultuurgi ei jää ellu turumajanduses, kui neid spetsiaalselt ei kultiveerita. Vahel näen vaimusilmas eesti teadust nõgestesse kasvanud vaarikaaiana mahajäetud talumaja kõrval.

Houille Blanche'i hotell oli tore koht tööpäevade pinge mahalaadimiseks. Kell pool üheksa tuled viimase bussiga töölt, käid korraks basseinis, kallad jahutatud roosat veini klaasi, kõrvale kohevat ja pehmet baguette'i ning camembert'i – mida paremat võiks veel soovida. Siis loed pisut, kas mõnda õhtuks koju toodud teadusartiklit või infot Korsika ja Hispaania kohta, et puhkusereisiks „nagu kord ja kohus" ette valmistuda. Ja viimaks heidad voodile ning paned pea rullpadjale. See imelik padi oli ainus, millega ma Prantsusmaal ära ei tahtnud harjuda.

Grenoble'is oli üllatavalt palju äikest. Ühel õhtul müristas nii, et maja värises. Valguski kustus mitmel hetkel, aga tuli kohe tagasi. Enamasti kõmab kõu ja sähvib välk mägedes, seekord aga tuli äike Houille Blanche'i. Olin juba uinunud, kui mürin üles raputas. Algul oli päris kõhe. Aga siis jälgisin juba imetlusega aknast seda tulevärki taamal kõrguvate mägede taustal, mis oli ühtaegu kohutav ja kaunis, seega – kohutavalt kaunis.

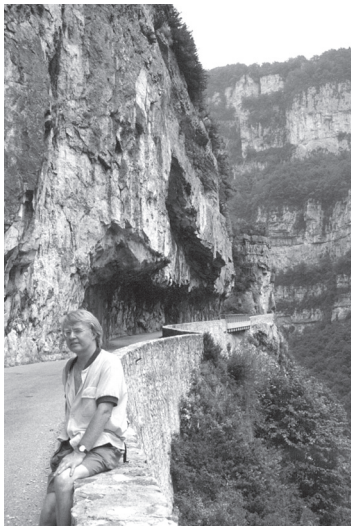
See oli kaunim veel kui Prantsusmaa rahvuspüha 14. juuli ilutulestik.

Hommikul pool kaheksa Houille Blanche'is enam magada ei saanud – mu akende all käis ehitus. Vaatasin aina ja imestasin, kui kiirelt ning efektiivselt kõike tehti. Hommikul alustati kaablikraavi lahti ajamist, õhtuks oli see juba kinni ja kaabel maas. Lõunat peeti üks tund ja mitte ühtegi minutit rohkem. Muul ajal tehti tööd. Ma ei juhtunud nägema töö ajal kordagi mitte kedagi kusagil istumas, näiteks, suitsu tõmbamas. Oma koolipõlveaegsest ehitustööl käimisest mäletan aga seda, et just suitsutund oli ehitusplatsil kõige püham hetk – see oli õigustus ja vabandus, ning ükski töödejuhataja ei saanud selle vastu midagi...

Käisin sageli Grenoble'is jalutamas, võttes ette lühemaid ja pikemaid retki. Uuselamute rajoonid on seal väga modernsed, huvitavate planeeringute ja arhitektuuriliste lahendustega. Estakaadid majade vahel, kordumatud vormid, ümarad kontuurid, metall ja klaas eri värvitoonides. Läbipaistvad majade koridorid, läbi akende näed mägesid teisel pool maja. Hooldatud lilleväljad, lainja profiiliga muruplatsid, pressitud kivipuruplaatidest kõnniteed, mis viisid teinekord otse majja sisse, näiteks kolmandale korrusele.

Vahepeal sooritasin reisi Pariisi, kus toimus selle europrojekti osaliste, mille hulka ka mind oli äsja Saksamaal arvatud, eksam-koosolek (*review-meeting*). Spetsiaalne eurokomisjon, kuhu kuulusid nii ametnikud Brüsselist kui ka kolm oponenti Inglismaalt, Saksamaalt ja Prantsusmaalt (kõik väga tuntud teadlased), kuulas ära projekti partnerite ettekanded ja andis seejärel senitehtud tööle vahehinnangu. Sellest hinnangust sõltub

tavaliselt projekti edasine finantseerimine. Oponendid olid kompetentsed ja väga agressiivsed. Minul „uustulnukana“ esineda ei tulnud, kuigi olin selleks valmistunud, aga mu partneritel tuli higistada kõvasti. Igal juhul mitte vähem, kui ühel tüüpilisel doktoritöö kaitsmisel. Niisugusi eksam-koosolekuid korraldatakse iga europrojekti puhul 1-2 korda aastas... Pariisi sõit tõi mulle paraja üllatuse – arvasin seni, et „eksamite ja kaitsmiste aeg“ lõppes minu jaoks sel päeval, kui oma viimase teaduskraadi kaitsesin. Arvasin, et kuuludes mitmetesse eksami- ja doktorinõukogudesse on nüüdsest minu pärusosaks olla ise eksaminaator ja küsija. Aga võta näpust, europrojektidesse pääsemine tähendab mitte üksnes finantsprivileege, vaid ka suurt vastutust, pinget ja endise „koolipoisiseisuse“ taastamist. Eesti Teadusfondi Nõukogu esimehena mõtlesin siinkohal, kas ei peaks ka Eestis teadusgrantide kasutamise efektiivsust paremini kontrollima.



Grenoble'i lähistel autostopiga matkates

Mõned nädalalõpud õnnestus mul ka puhkereisideks kasutada. Käisin Chamonix's igilumise Mont Blanc'i jalamil, Colmaris – väga maalilises Alsace'i väikelinnas, Arle'is, kus Van Gogh endal kõrva amputeeris, ja imetlesin nõiduslikku mägiloodust sõites mööda Alpide üht eksootilisemat La Mure'i kitsarööpmelist raudteed. Toredaid kohti oli ka otse Grenoble'i külje all, nagu näiteks Chartreuse'i klooster Voiron'i lähedal, kus mungad kunagi elueliksiiri püüdsid keeta, millest lõpuks „vaid“ roheline šartröös välja tuli ja mida praegu sealses maailma ühes suurimas likööorikeldris laagerdatakse.

Reiside planeerimisel oli teatavaid raskusi info hankimisel. Rongide sõiduaegu saab küll jaamast teada, aga mitte kõiki ja kindlasti mitte lokaalse tähtsusega väiksemate liinide kohta. Pealegi pead alati täpse päeva nimetama, millal sõita kavatsed. Näiteks, vaatad sõiduplaanist – kahe linna vahel on kirjas 20 rongi. Teed kiire järelduse – oh kui tore! Aga siis tuleb välja, et konkreetsel päeval sõidavad neist 20-st vaid kaks. Need 20 – on lihtsalt kõikvõimalikud rongid terve aasta peale; aga lisaks tulevad veel kõikvõimalikud kitsendused: millisel puhul on konkreetne rong käigus ja millisel ei ole. Bussidega on veel keerulisem. Grenoble'ist läheb näiteks buss Gap'i. Saad teada ka, millal. Aga Gap'ist edasi Nizzasse? Tegin kindlaks, et Grenoble'is pole kohta, kust sellele küsimusele vastuse saaks. Lihtsal põhjusel – selle bussifirma esindust Grenoble'is ei ole ja kõik. Loomulikult on olema võimalus võtta telefon, millega helistada Gap'i ja küsida sealt. Aga ikkagi....

Rongid on kallimad kui bussid. Näiteks, rongiga Grenoble'ist Chamonix'sse ja tagasi maksab 322 franki, bussiga aga 219 franki. Üks ots bussiga maksaks – 146 franki. Rongiga sõites kehtib edasi-tagasi sõidu hinnaalandus vaid Pariisi ja teiste linnade vahel. Punane värv sõiduplaanides tähendab Prantsusmaal kallist rongi, samal ajal kui Rootsis viitab see kõige odavamale võimalusele. Ega autosõitki pole maksustavate teede tõttu odav. Kui Marseille'sse on rongipileti hind 196 franki, siis autoga sinna sõites peab lisaks bensiinikuludele ka magistraalteede kasutamise eest 100-st frangist lahti ütlema.

Infosaladuste lahti muukimiseks on olemas võti – keeleoskus. Prantsusmaal on raske läbi saada ilma kohalikku keelt oskamata. Näiteks, Grenoble'i ühes tähtsamas kom-

mertspangas olin raskustes oma stipendiumi jaoks arve avamisel, kuna terve asutuse peale (kaasaarvatud direktor) ei olnud ühtegi ametnikku, kes oleks kõnelenud inglise keelt. Samasugustes raskustes olin politseiametis, kui taotlesin viisapikendust... Prantsuse lingvistiline „šovinism" tuleneb osaliselt sajandite vanusest keelekorralduse bürokraatlikust tsentralismist. Kirjanduslik prantsuse keel reguleeriti Prantsuse Akadeemia poolt juba ammu enne seda, kui samu katseid alustati inglise keele kallal. Seetõttu on kaasaegsele lugejale ka näiteks Racine palju loetavam kui Shakespeare – prantsuse keel on lihtsalt vähem sajandite jooksul muutunud. Mitte üksnes kirjanikud, vaid ka iga endast lugupidav prantslane suhtub oma kirjutatud kirja kui kunstiteosesse, valides väljendeid ja lausekonstruktsioone piinliku hoolega. Prantslased on väga uhked nii oma rikkalikule kirjanduslikule pärandile, kui ka Prantsusmaa kunagisele üldisele juhtrollile Euroopa kultuuris. Aga kogu selle rahvusliku uhkuse ja iseteadvuse kõrval on veel üks päris ootamatu põhjus, miks prantslane väldib rääkimist võõrkeeles, isegi kui ta seda oskab. See on – häbelikkus (!). Külge kasvanud korrektse keelekasutuse harjumus teeb prantslased pelglikuks võõrkeele kasutamisel, kus nad ei tunne end piisavalt kompetentsena.

Prantslasega kontakti saamiseks on igal juhul soovitatav alustada temaga vestlust prantsuse keeles, vähemalt kasutada pöördumisel võlusõna *Monsieur* või *Madame* (neiu puhul või daamile telefoniga helistades – *Mademoiselle*). Tiitlite nimetamisest (nagu professor või doktor), mis Saksamaal on lausa obligatoorne, ei pea prantslased lugu.

Huvitav, miks *pain* on prantsuse keeles leib, inglise keeles valu, aga soome keeles tähendab maadlemist. Ja kui *promotion* tähendab inglise keeles edutamist ning saksa keeles koguni doktorikraadi kaitsmist, siis prantsuse keeles tähendab see vaid – allahindlust. Veelgi rohkem lähed aga segadusse, kui saad teada, et prantslastel tähendab *viril* mehisust, paradiis – teatri ülemist rõdu, vulgariseerimine – populariseerimist, randevuu – visiiti arsti juurde, koli – pakki ja alimendid – toidupoodi. Aga see, et *adult* on täiskasvanud inimene ja *adultere* – juba abielurikkumine – kas see on vihje prantslaste kohta? Minu isiklikud probleemid Prantsusmaal olid seotud rohkem arvutitega: sõna *couper* kasutamisega kippusin ära kustutama seda, mida tahtsin kopeerida, ja sõna *copier* kasutamisega kopeerisin mõnikord seda, mida oleksin pidanud ära kustutama. Oma keeleõppe kassette pleierist kuulates ja prantslaste võõrkeele-häbelikkust meenutades tajusin üha selgemini, et prantsuse keele õppimise oleks pidanud juba noorpõlves ette võtma. Saksa keele õppisin ära sakslastega koos lõunal käies. Ka Grenoble'is sõime kohvimasina kõrval koos prantslastega kaasa võetud võileibu, aga tulu oli mulle sellest siiski vähe...

Jaa, meil oli laboris mitte lihtsalt kohvimasin, vaid terve joogiautomaat, kust võisid valida nii tavalist kui ka capuccino kohvi, kuuma šokolaadi või sidruni- ja isegi tomatijooki. Kõik joogid olid tasuta, vajuta nuppudele nii mitu korda päevas kui tahad. Sakslaste juures Darmstadtis oli ka võimalus laboris tasuta jooke saada, isegi külmi, aga seal pidid vähemalt kriipsu oma nime taha tõmbama. Siin polnud seda vaja. Rootsis, Stockholmi Tehnoloogiainstituudis on samuti kohviautomaat, aga seal tuleb masinasse münt panna. Igal juhul on see väiksema väärtusega kui paberraha, mille eest Tallinnas ülikooli baaris kohvi saab. See on siiski erand – Rootsi on tegelikult kallis maa, isegi tudengite sööklas pole toit odavam kui restoranis. Samal ajal saksa ja prantsuse ülikoolides on lõunasöögi hind pea sama suur kui Tallinna Tehnikaülikooli sööklas. Kahekümne eesti krooni eest saab Grenoble'is tudeng salati, prae, jogurti, apelsini ja endastmõistetavalt ka juustu.

De Gaulle olla öelnud: kuidas võib valitseda maad, kus nii palju juustu on! Nelisada juustusorti viitab sümboolselt prantslase tüüpilisele iseloomujoonele – individualismile. Iga prantslane on isiksus, igal prantsuse regioonil – oma juust. Kõige tähtsam, inglased ja sakslased püüavad enesekesksust kena suhtlusstiili ja viisakuse taha varjata, on prantslasele – ta enda tegevus. See on iga inimesega nii, aga inglastel ja sakslastel tasandavad enesekesksust formaalsus ja etikett, mis on justkui rõivad alastuse varjamiseks. Prantslane – on vahetu looduslaps ja tema hing on valla, nii heas kui halvas.

Mägerite[6] seiklused Prantsusmaal (1995)

Amsterdamist Pariisi

Kuupäev: 11. juuni 1995 kell 14.15Grenoble, INPG

Jõudsime taksoga kenasti lennujaama ukse ette kohale, kuid siis saime aru, et oleme teinud saatusliku vea – olime nimelt ligi kaks tundi varem kohal. Lennuki väljumise aeg oli 11.30, kuid meie jõudsime kohale juba enne kümmet. Siiski, selline „varanemine" osutus lõppkokkuvõttes kui mitte kasulikuks, siis vähemalt vajalikuks. Nimelt ei tulnud mul pileti *check-in*'i laua taga pikas järjekorras oodata, sest kedagi polnud veel kohale tulnud. See oli ka viimane kord, kui ma oma armsat kohvrit Eestimaa pinnal viimast korda nägin. Seegi hea, oli vähem tassimist.

Enne tolli punase joone ületamist pidime läbi astuma ka metalliotsijast, mis ka kohe usinasti uluma kukkus – ma olin nimelt oma võtmed taskusse unustanud. Selle peale käskis kuri emalendur või kes ta seal iganes oli, mul kohe taskud pahupidi pöörata, mida ma ka tegin. Küll oli tal alles pettunud nägu peas, kui taskust soome pussi või uuemat sorti „Beretta" asemel üks üpris süütu väljanägemisega võtmekimp välja ilmus. Aga läbi ta mind lasi.

Meie lennuk väljus 4. väravast ning jättis lennujaama seest vaadates üsnagi haleda mulje – ta oli ju NII väike! Üritasime otsekohe aeroplaani poole murdma hakata, kuid siis peatas meid preili stjuardessi umbkeelne hüüatus, mis mu kehvapoolset mälu arvestades kõlas umbes: „Tolko pjatnaatsat minut do võõleta", mis pidi siis tähendama, et kuhu te, kurjadvaimud, ronite, aega on veel küll. Selle peale polnudki nagu midagi enam kosta, nii et tegime aja lühendamise huvides sealsamas lennujaama baaris ühed limonaadid, ning kui hüva jook otsakorral oli, siis teatas ka lennujaama diktori krõbisev hääleke, et NÜID! on see kõikse õigem aeg asuda aeroplaanile. Seda polnud meietaolistele meestele vaja mitte kaks korda öelda ning sealsamas olimegi... ootamas, et keegi tuleks ja avaks need uksed, mis meid meie pühast eesmärgist lahutasid. Noh, siis vast üks viie minuti pärast loivas keegi erakordselt väsinud ja tülpinud väljanägemisega stjuardessikesekene piletite kontroll-lauda, mispeale enam eriti palju aega ei läinudki, kui me end juba lennuki rõõmsa üllatusena meeldivalt jahedast keskkonnast leidsime. Oli ju 2. juuni Tallinnas erakordselt lämmatavalt palav.

Et õhkutõusmiseni jäi kümmekond minutit aega, siis kasutasin meeldivat juhust ja napsasin endale lennuki ukse juures väljapandud perioodika seast ühed Eesti Sõnumid ning

[6] Reisikirja autoriks on Marko Koort, kes viibis 1995. a. projekti TEMPUS JEP 4772 raames stipendiaadina 3 kuud Grenoble'i teaduslaboris TIMA. Reisikiri on avaldatud ka TTÜ ajakirjas „Tehnikaülikool" Mäger-see on lühend sõnast „mägieestlane", selliseid võib leida ainult mägistes kohtades alpiniste mängimas (ilma varustuseta muidugi) ning üleüldse tegemast selliseid asju, mida normaalsed eurooplased hullumeelsuseks peavad.

asusin – või vähemasti kavatsesin asuda – neid usinasti läbi töötama. Et mu koht oli juhuslikult akna all, siis ei tulnud ka ajalehe uurimisest suurt midagi välja, kuna märksa huvitavam oli jälgida NII lähedalt lennujaama elu, mida tavaliselt mitte kohe ei näe. Muide, seestpoolt paistis meie TU-134A (Gerdi parandus) palju suurem olevat kui väljastpoolt.

Lõpuks siis ometi teatas stjuardessineiu meelas hääleke, et meil on au sõita Amsterdami kahe ja kolmveerandi tunniga ning et lennukit juhib meeskond kapten Ivanovi käe all. Loomulikult kästi kinnitada ka rihmad ning vaesed suitsetajad pidid oma lemmikharrastusest umbes pooleks tunniks loobuma. Lisaks sellele tehti ka demo, kuidas endale päästevest selga tõmmata, kui midagist peaks juhtuma. (omalt poolt kommenteeriks vast niipalju, et huvitav-huvitav, mismoodi peaks see päästevest küll pilvede vahelt alla potsatamist leevendama, kui ta lihtsalt äravahetamiseni sarnaneb laevadel kasutatavatega ning kui tal täielikult puuduvad langevarju omadused. Hetkeks tundus isegi, et tegu polegi mitte õhu- vaid tavalise vesilaevaga). See keerukas õppetund seljataga, asus lennuki meeskond kapten Ivanovi juhtimisel „pumba juurde". Lennuk keeras oma nina stardiraja poole ning arendades keskmise jalgratturi kiirust, liikus aeglaselt kuid kindlalt oma sihi – Amsterdami poole. Umbes kümne minuti pärast olime kenasti stardiraja alguses ning kus siis läks alles lahti! Paistis, et keegi Ivanovi meestest leidis üles tolle õige nupu, mille peale lennuk arendas tunduvalt paremat kiirendust, kui kõige uuemad Mersud. Ei läinudki väga kaua aega, kui juba jätsid aeroplaani rattad hüvasti kodumaa paese pinnaga ning sõiduriist tõstis oma terasnina parema tuleviku poole. See, mis lennuki aknast siis kätte paistis, oli lausa fantastiline! Ma ei oleks osanud iial arvata, et Eestimaa võib ülalt vaadates sedavõrd lapiline ja ruuduline olla, sarnanedes rohkem vanaema lapitekile kui ühele ontlikule demokraatlikule riigile.

Ajapikku hakkasid põllud ja heinamaad üha pisemaks jääma ning ka teed, millel roomasid imepisikesed putukad, mida uhkelt autodeks nimetatakse, ei paistnud mitte laiemad peenest villasest lõngast. Kui Tallinna ümbruses oli taevas selge, siis lääne poole liikudes ilmusid meist allapoole tillukesed vatitupsudega sarnanevad pilved, ma ei saanudki aru, kuidas nad lõppude lõpuks õhus püsivad. Pilvetupsukeste varjud olid maa lapitekil hõlpsasti nähtavad, ent kui ma üritasin leida nende hulgast meie teraslinnu varju, osutus see küll üsna lootusetuks ettevõtmiseks. Seega, isegi väike pilvetupsuke on palju kordi suurem ühest keskmisest lennumasinast.

Kaua me kahjuks Eestimaa ilu sellisest vaatenurgast imetleda ei saanud, kuna ta lihtsalt lõppes otsa. Meres paistsid veel Vormsi saar, mille ma hõlpsalt ära tundsin, ning põhja pool Hiiumaa ja otse all pool Saaremaast, kuna teine pool oli lihtsalt pilvedega kaetud. õnneks istusin ma selle poole akna all, kust päike otse sisse ei paistnud, seega sain ilmselt parema pildi kui enamus teisi reisijaid. Siiski, päike on ülalpool pilvi nii ere, et tuleb ikka üsna korralikult silmi kissitada. Edaspidi ei näinud me enam kahjuks emakest Maad enne, kui alles Hollandi kohal.

Suurim vaatamisväärsus on aga kahtlemata taevas. See on sedavõrd ilus ja sinine, et midagi sellist on lihtsalt võimatu endale ette kujutada – seda peab oma silmaga nägema. Silmapiiril ujuvad pilvemäed ja -laevad, mis pidevalt ja aeglaselt muutuvad ürgseteks loomadeks ning muinasjuttudest pärit koletisteks. Horisondi kohal on taevasina peaaegu samasugune nagu maa peal, ent vaadates kõrgemale avanevad sellised vaatepildid, mida ei unusta. Sinine toon, mis silmapiiril on valkjas ja lahja, muutub järk-järgult ikka sü-

gavamaks ja sügavamaks, olles seniidis peaaegu must, aga mitte päris. Allpool on pilved muutunud tõelisteks maastikeks, moodustades lumivalgeid mägesid ja orgusid, kus vahetevahel esinevad ka lumetormid, mis hiigla suure kiirusega lennukist mööda kimavad. Vahepeal tuli meil isegi pilvede sees lennata, see tunne, mis siis tekib, on võrreldav bussisõiduga tõeliselt konarlikul teel. Pilved on ikka üsnatihedad asjad, sest tihedamates kohtades polnud näha isegi lennuki tiivaotsi, mis muidu mulle päris hästi aknast ära paistsid.

Vahetevahel sadas pilve sees isegi vihma, kuid illuminaatorid jäid ikka kuivaks, sest lennuki kiirus pühib piisad lihtsalt maha. Pealegi, lennuki kere on lennu ajal hõõrdumise tõttu piisavalt kuum, et pisikesi veepiisakesi lihtsalt ära aurustada.

Peale sada kuuskümmend viis minutit kestnud lendu maandusime õnnelikult Amsterdami lennuväljal. No oli see alles lahmakas! Igal pool sai sõita eskalaatoritega, kuna jalgsi poleks lihtsalt jõudnud. Meil oli kahe lennuki vahel aega u. kolmveerand tundi, selle aja sees jõudsime parasjagu kiiret tempot arendades parajasti ümberregistreerimislauda, kus meile pidulikult teatati, et Pariisi lennuk on üle müüdud, s.o. pileteid müüdud rohkem, kui kohti oli. See pidi tähendama järgmise Pariisi lennuki ootamist, kusjuures meie eest oleks hoolitsenud see lennufirma, kellega me lendasime – KLM. Viimasel hetkel, vähem kui viis minutit enne lennu algust saime siiski kõik kenasti lennukile, kuid oh õnnetust – suitsetajate ossa. Õnneks kestis lend Amsterdamist Pariisi ainult kolmveerand tundi, nii et kaua seda jama ei olnud. Seekord mul kohaga ei vedanud, istusin peaaegu Boeingu keskel, nii et ma täpselt ei teagi, milline see Hollandimaa ülevalt välja näeb. Pealeselle oli sealkandis ka küllaltki tihe pilvisus.

Prantsusmaa kohal lennates, kui ilm hetkeks selgines, tundus kõik kuidagi tuttav, kõik samamoodi kui Eestis. Siiski, mulle tundus, et põllulapid on Prantsusmaal väiksemad kui kodus. Väga silmapaistvad olid kõrgepingeliinid, mille mastid olid maalitud valge-punasekirjuks ning paistsid ülevalt pisikeste tikukeste ridadena, mis kadusid silmapiiri taha. Põnev oli ka jälgida, kuidas eemal, suure vihmapilve all maa oma värvi oli muutnud, ka oli seal tunduvalt hämaram.

Lõpuks maandusime siis Pariisis (õigemini küll linnast väljas), Charles de Gaulle'i nimelisel lennuväljal. Sealt saime sekeldusteta kätte oma pakid ning sõitsime otsekohe rongiga Pariisi südalinna, et otsida üles hotell, milles me kavatsesime peatuda. See ülesanne ei osutunud eriti keerukaks, kuna tegemist oli siiski kesklinnaga, küll aga tekitasid kõhedust, või õigemini uudsusetunnet poekestel olevad sildid – sex shop, librairie erotique, jne. Meie hotell oli just täpselt selles nö. punaste laternate rajoonis, kuid meid ei vaadatud õnneks mitte kui potentsiaalseid kliente. Kohe esimesest silmapilgust peale hakkas silma pariislaste tolerantsus igasuguste küsimuste suhtes, samuti ei pea paika arvamus, et prantslased ei räägi inglise keelt. Võib-olla ei tee nad seda kuigi hea meelega, ent meie saime kõik oma asjad kenasti selles keeles aetud.

Kahjuks kuulus esimeste muljete hulka Prantsusmaa pealinnast ka see, et ta on hirmus räpane, eriti võib seda väita väikeste tänavate ning iseäranis metroo suhtes. Igal pool vedelevad maas kilekotid, paberid, igasugused piletid ning loendamatul hulgal muud saasta. Puhtamad olid ainult suuremad ja käidavamad tänavad ja väljakud. Grenoble pole esimeste muljete põhjal pooltki nii must kui Pariis. Midagi on neil kahel linnal siiski ka ühist – tänaval kõndides tuleb olla äärmiselt ettevaatlik, et mitte astud igal pool vedeleva koerasita sisse. Ma ei kujuta ette, miks see küll nii võiks olla, kuid ma ei valeta – neid

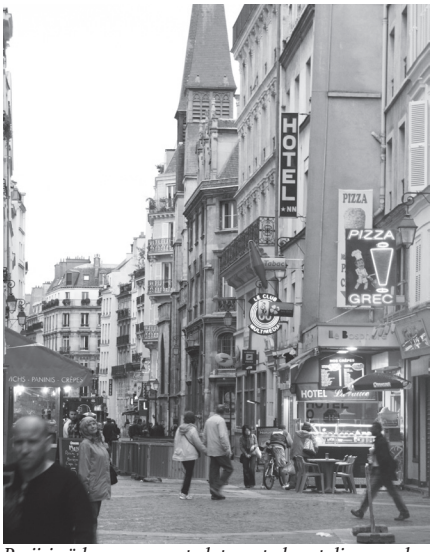
ekskremendihunnikuid võib avastada pea igal sammul ning isegi täiesti kesklinnas. Meie jaoks oli üllatav veel ka see, et Pariisis elab nii palju neegreid. Pea iga teine persoon, keda me kohtasime, oli vähe tõmmuma nahavärviga või siis suisa süsimust. Ka Grenoble'is võib kohata teiste rasside esindajaid, ent tunduvalt harvemini, ning siis on nad enamasti kas vietnamlased või hiinlased – ühesõnaga, kollased.

Mägerite esimene päev Pariisis

No sedasi siis, siin jälle mina! Otsustasin täna ikka veits kirjatööga ka tegeleda. Alustan nüüd meie Pariisi-elamuste kirjeldamist.

Ühesõnaga, kui olime oma pagasi lennujaamast kätte saanud, siis liikusime kohe kiirelt Pariisi kesklinna poole. Kõigepealt tuli meil bussiga metroojaama (mitte päris metroojaama, selle nimi oli hoopis RER, ma ei tea, mida see tähendab, ning tagatipuks sõitis see riistapuu vahetevahel maa peal) sõita, see ots oli tasuta (imelik küll, sest bussisõit on Prantsusmaal ikka väga kallis, kui Eestiga võrrelda). Kenasti rongijaama jõudnud, tuli meil ikkagi osta pilet Pariisi, mis – oh imet – maksis ei rohkem ega vähem kui 43 franki. See ilmselt tegi tasa ka kulutused tasuta bussisõidule.

Rongis hoidsid muidugi kõik silmad-kõrvad pärani, et midagi kahe silma vahele ei jääks. Samuti tuli tähelepanelik olla ka selles suhtes, et mitte õiget peatust maha magada. Seda õnneks siiski ei juhtunud, ning me ronisime välja peatuses, mille nimi on Châtelet-les-Halles. Selline nimi seepärast, et ligidal asub suur kaubanduskeskus Forum des Halles, mis paikneb tervikuna maa all ning on vähemalt neljakorruseline. Sellele sammule järgnes õige tänava otsing, meil olid hotellitoad broneeritud juba Eestist, ning otsitava tänava nimi oli rue Saint-Denis. Kui nüüd Pariisi kaarti lähemalt tsekata, siis võib näha, et sellise nimega tänav asub üsna linna südames, ning nagu vastavad katsed kinnitavad, u. kümne minuti pikkuse jalgsiteekonna kaugusel sellisest kuulsast kohast nagu Louvre.



Pariisi südames, punaste laternate kvartalis, asuv hotell La Vallee koos söögikohaga otse ukse all

Tänav ise aga oli vaatamist väärt – saja meetri kohta mõlemal pool teed vähemalt 10 *peep-show*-kohta, loendamatul hulgal *sex-shop*'e ning poode, kus müüdi „erootilist" kirjandust, üks taoline paistis ära ka meie (s.o. minu ja Eero) hotellitoa aknast. Ühesõnaga, me olime sattunud elama Pariisi punaste laternate rajooni! Lisaks sellele oli Hôtel de la Vallée'l milles me elasime, ka teadagi sellise nö. ühetunni-hotelli kuulsus, Aga ega me end sellest heidutada ei lasknud, pealegi ei olnud kohalik rahvas just eriti avatud võõrastele ning suhtus alien'idesse üsna tolerantselt. Ka hind oli selle hotelli asukoha kohta suhteliselt normaalne, umbes 200 franki öö kahekohalise toa eest.

Kohe, kui asjad said kenasti hotelli toimetatud, panime hooga linna, et näha veidigi sellest toredusest, mille sisse me olime sattunud. Ah jaa, me ostsime kohe ära ka rongipiletid Grenoble'isse, nii et selle asjaga oli samuti kiirelt ühel pool. Küll aga võttis suhteliselt

kaua aega, et piletimüüjale selgeks teha, mida me õieti tahame ja kuhupoole siis sõit ka viib. Võttes appi ka käed-jalad, saavutasime lõpuks ka vastastikuse mõistmise.

Eiffeli torn

Peale seda vaevarikast protseduuri seadsime sammud Concorde'i väljakule. Sealt paistis ka Pariisi võrdkuju – Eiffeli torn kätte. Imetlesime tükk aega platsi ümbritsevaid hooneid ning purskkaeve keset väljakut. Sellega ühele poole jõudnud, otsustasime, et me ei lähe mitte otse Eiffeli torni juurde, vaid teeme enne väikese kõrvalepõike Hôtel des Invalides'i juurde. Viimatinimetatu on Pariisi ja üldse Prantsusmaa ajaloos üsna tähtsat rolli mänginud, ma küll ei oska öelda, millist täpselt. Ehitis kui selline koos oma hiiglasuure park – väljakuga mõjus väga suursuguselt.

Seejärel sukeldusime Pariisi tänavavõrgustikku, hoides suunda ikka Mars'i väljaku ning ühes sellega ka Eiffeli torni poole. Kui viimane paistma hakkas, oli küll üsna pühalik tunne südame all – ikkagi nii maailmakuulus on see objekt! Mida lähemale me talle jõudsime, seda suurem ta tundus, viimaks oli ta nii suur, et ei oskagi enam millegagi võrrelda. Tükk aega läks meenete ostmisele ning mõtlemisele, kas sõita ainult teisele või siis ka kolmandale platvormile. Piletihinna vahe oli 17 franki, teise korruse pilet oli 38 ja 3. korruse oma 55 franki. Lõpuks sai vastu võetud ühine otsus, et ega iga päev Pariisi satu, nii et tuleb võtta, mis aga võtta annab. Tükk aega läks lifti ootamisega, ent kui ta lõpuks tuli, oli vaatepilt võimas küll. Ka liftist võib näha linna, kuna torni metallkonstruktsioonid on suhteliselt hõredad ning torn ise seetõttu peaaegu läbipaistev.

Jõudnud teisele platvormile, tuli meil ümber istuda ülespoole minevale liftile. Muidugi sai Pariisi panoraami nauditud ka sealtsamast, ent selle aja peale oli hakanud juba hämarduma ning tuli kiirustada. Sai tehtud ka mõned pildid, et linna siluetti enda jaoks säilitada. Kolmandal platvormil oli muidugi hirmus palju raffast, kes kõik uurisid kena vaadet, mis sealt ülalt avanes. Ümber terve torni jooksis selline tabloo, millel koos riigilippidega olid ära toodud ka kaugused suuremate linnadeni, millest kaugeimad asusid ligi 16 000 km kaugusel Pariisist. Leidsime teiste hulgast ka Eesti trikoloori ning saime teada, et Tallinnasse on Pariisist 1864 km. Muide, sellised eksootilised kohad, nagu Seoul Lõuna-Koreas ning muud taolised asuvad Pariisist praktiliselt samas suunas, kui Tallinn. Algul pani see küll pisut imestama, ent kui nii mõtlema hakata, siis ega see nii väga võimatu ei olegi, kui arvestada maakera kumerust. Ning nüüd – oh üllatust – tuleb see, millest juba mr. Hemingway omal ajal ettenägelikult kirjutas – igas sadamas on vähemalt üks eestlane, mis leidis Eiffeli tornis isegi mitmekordset kinnitust. Sai vahest 5 minutit mööda minna, kui juba jälle võis nautida kaunist maakeele kõla. Vahepeal tekkis isegi selline tunne, et miks mitte korraldada kohaliku tähtsusega laulupidu, ent osavõtjate passiivsuse tõttu jäi

asi soiku. See oleks muidugi olnud pretsedenditu juhus maailma ajaloos – eestlased korraldavad laulupeo otse Pariisi südames.

Pikapeale saabus siiski küllastus Pariisi kaunitest vaadetest ning me otsustasime suunduda allapoole. Veetsime veel veidi aega teisel platvormil jalutades ning ringi vaadates, seni kuni oli peaaegu täiesti pime. Siis sõitsime alla ning veendusime oma silmaga, et Eiffeli torn on isegi ööpimeduses väga kaunis, sest ta on valgustatud paljude prozektoritega. Peale seda kaunist hetke suundusime üle Seine'i ning liikusime vaikselt oma hotelli poole. Et näha nii palju kui võimalik, tegime veel pisikese ringi linna peal. Me läksime mööda jõe põhjakallast kuni Grand Palais'ni, siis keerasime vasakule ning sammusime Grand Palais ja Petit Palais vahelt läbi Champs-Élysées' avenüüle. Vasakul avanes suurepärane vaade Arc de Triomphe'ile ning paremal Concorde'i väljakule. Meie tee viis paremale, Concorde'i väljaku poole. Üle väljaku jõudnud, otsustasime veel mitte koju minna ning nautida võimalikult palju öist Pariisi. Kõndisime siis Tuileries'i aia kõrval mööda Rivoli tänavat kuni Louvre'ini, ning siis pöörasime vasakule. Veidi aja pärast jõudsime Vendôme'i platsile, kus parasjagu olid välja pandud kuulsa sürrealisti Dali skulptuurid. Vendôme'i väljaku servas asub ka teatavasti maailma üks kalleimaid ning prestiizikamaid hotelle, hotell Ritz nimelt. Kui kõik skulptuurid said vaadatud, seadsime sammud oma hotelli poole. Jõudnud Saint-Denis' tänavale, oli näha alles õiget Pariisi ööelu. Kõik poed, poekesed ja muud asutused olid eredavärvilistes neoontuledes ning terve tänav hiilgas nagu jõulupuu. Liikumas võis näha küll igasugust rahvast – muuhulgas muidugi ka vanima elukutse esindajaid, viimaseid küll mitte sellisel hulgal, nagu seda tavaliselt ilmselt ette kujutatakse. Prantsusmaal on väga populaarne tänavatel öösiti mootorratastega kihutamine, nii et peab väga tähelepanelik olema, et mitte mõne taolise samurai raudruuna teele ette jääda. Jõudnud õnnelikult hotelli kaitsva tiiva alla, oli esimene asi kiirelt põhku kobida, et järgmisel päeval juba värske jõuga Pariisi uute vaatamisväärsuste kallale asuda. Siiski, enne käisime veel dushi all, et suurlinna saast ihu küljest lahti saada. Öö möödus täiesti rahulikult, uni oli tingimusteta hea, nagu ühele üliõpilasele kohane.

Mägerite teine päev Pariisis

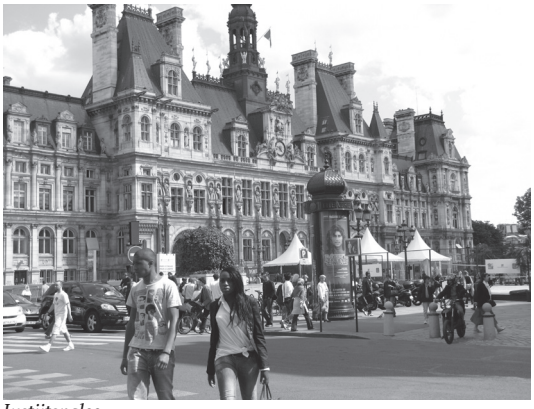
Praegusel hetkel, kui Grenoble'is hirmsasti piksevihma kallab, on eriti soodus hetk oma Prantsusmaa-muljete kirjapanemise jätkamiseks. Möödunud korral jäin pooleli sellest kohast, kus lõppes meie esimene päev Pariisis ning me kõik kenasti oma hotelli tuttu läksime.

Hommikul oli äratus suhteliselt vara, kuna leidsime, et ega me siia magama ei tulnud, eks seda saa vajaduse korral ka kodus teha. Niisiis, juba kell pool üheksa olime hotelli ukse ees stardivalmis, et Pariisi veel vallutamata osi vallutama minna. Loomulikult tundus ka kõht kuidagi hele olevat, selle vastu leidsime rohtu sealtsamast lähedaselt tänavalt. Hommikusöögiks pistsime kinni ühed panini'd, mis kujutavad endast itaaliapärast rooga pikuti lõhkilõigatud pikast saiast, mille vahele on kõikvõimalikku hüva kraami topitud. Peale rüüpasime kõigile Eestiski hästi tuntud Coca-Colat ning terve eine maksis *vaid* 32 franki. Seega, rohkete kaloritega varustatud vihaste eesti meeste seltskond vajus otsemaid linna.

Teisel päeval jalutasime hommikupoole linnas ringi, tahtsime minna Louvre'isse, ent selgus, et peale kella 3 päeval on sissepääs tunduvalt odavam, niisiis tuli need 5 või 6

tundi lihtsalt jalutades mööda saata. Alustasime sealsamas Louvre'i ees asuvast Tuileries'i aiast, imetlesime sealseid skulptuure ning puhkasime jalgu mahedasti vuliseva purskkaevu serval. Tegime veel mõned kosutavad sammud selles suurepäraselt hoolitsetud aias ning suundusime seejärel üle Seine'i jõe, et tutvuda ka põhjakalda geograafiaga. Teisel pool jõge, sealsamas Louvre'i vastas asub Orsay muuseum, kuid me arvasime, et liiga suur annus muuseume võib halvasti vaimsele tervisele mõjuma hakata ning jätsime selle sinnapaika.

Meie järgmine eesmärk oli leida üles Panthéon, mis samuti teatavasti üsna lähedal oli. Kuid – oh häda – enne leidsime üles ühe poekese, kus oli hirmus odav õlu müügil, ning nii kergenesidki rahakotid va kesvamärjukese hinna võrra. Siis muidugi panime oma Panthéoni otsingutega täiesti puusse, nagu seda ka arvata võis, kuid vastutasuks saime näha vägagi meeldivaid ja maalilisi vaatepilte Pariisi väikestest tänavakestest ning nende ääres vohavast tänavakaubandusest. Kuna õlu on teatavasti üks äärmiselt salakaval jook, siis ei läinudki kaua aega, kui meeste pilgud hakkasid meeleheitlikult ja üsna ühemõtteliselt murelikult igasuguseid reklaamsilte mööda ringi käima, kuid tähekombinatsioon, mida niiväga ihaldati, ei paistnud kusagiltpoolt. Lõpuks aeti asjad joonde ühes kõrtsis, mispeale end jälle inimesena tundma hakati. Seejärel oli taas aeg härjal sarvist haarata ning Panthéoni edasi otsima asuda. Küsisime siis ühelt kenalt prantslannalt teed, mispeale ta teatas, et me oleme ju hoopis valele poole suuna võtnud. Korrigeerisime siis oma viga ning, oh imet! jõudsimegi varsti ihaldatud sihtpunkti. Vaatasime seda suursugust ehitist igast küljest, ning näinud ära, mis näha oli, asusime oma ülejäänud aega sisustama. Mõtlesime, et oleks huvitav ka Seine'i lõunakaldaga veidi lähemat tutvust teha ning marssisime üle Cité saare, kus asub ka Notre-Dame, samuti Justiitspalee (*Palais de Justice*). Notre-Dame fassaad oli kahjuks remondis ning tänu sellele jäi meil ta täies hiilguses nägemata. See viga on ehk parandatav augusti lõpus, kui me hakkame siit tagasi Eestisse tulema.


Justiitspalee

Seine jõgi ületatud, seadsime sammud Ladina kvartali poole, täpsemalt Luxembourg'i aeda. Seal, ühe kena muruplatsi veeres oli mõnus vanade üliõpilastavade kohaselt head prantsuse veini nautida ning vaadelda ümbritsevat kaunist loodust. Nimetatud operatsioon edukalt lõpetatud, vaatasime ära ka samas lähedal asuva Luxembourg'i lossi, mis oma kujude ja purskkaevudega tõesti hiigla kena mulje jättis.

Kell oli selleks ajaks juba niikaugel, et tuli hakata mõtlema Louvre'i juurde tagasimineku peale. Kuna tee tagasi läks läbi mitmete põnevate paikade, siis eks võtnud ka see oma aja ning kohal olime kümmekond minutit peale kolme. Louvre'i ees oli parasjagu liiklus kinni pandud ehk umbes paarisaja jalgratturi poolt, kes, nagu selgus, demonstreerisid Pariisi autode vastu, mida seal ka tõepoolest palju oli. Jalgratturid olid sulgenud tee, mis läbis Louvre'i ning me isegi ei tea, millega see asi õigupoolest lõppes, sest oli aeg asuda muuseumi külastama.

Sissekäik Louvre'isse asub teatavasti tema hoovil asuvas klaaspüramiidis, sees tuleb otsekohe suund allapoole võtta ning lõpuks jäigi selline tunne, et suurem osa Louvre'ist asub maa all. Piletid näpus, läksime siis enda jaoks tundmatut maad avastama. Käisime läbi mitmedki saalid ja galeriid, tutvusime Vana-Kreeka, Bütsantsi, Rooma ja Egiptuse ajalooga nende kujude läbi, mida muidu ainult ajalooõpikute lehekülgedelt näha võib. Louvre jaguneb õigupoolest kolmeks osaks, mida nimetatakse vastavalt Sully, Denon ja Richelieu. Me alustasime Sully'st ning rändasime ta ka üsna põhjalikult läbi. Mulle meeldis nende igivanade suurmeeste kujude ja teiste surematute kunstiteoste vahel väga ringi jalutada, kui mitte need kurjavaimu kollased poleks mitte kogu aeg seal oma fotoaparaate välgutanud, justkui nende kohta ei käikski sissekäigu kohal rippuv suur silt „Päevapildistamine kangesti keelatud!". See polnud veel midagi, ühes keldriurkas hoiti sfinksi, kui need pisikesed ja kollased seda nägid, läksid nad justkui arust ära hüplesid ja karglesid ning valgus oli nagu rave'il, kus tavaliselt stroboskoopi vilgutatakse. hea, et nad veel vaese äravaevatud sfinksi selga ei hakanud ronima.

Kuna Sully sai lihtsalt otsa, nii ei jäänudki meil muud üle, kui asuda Denon'i avastama. Me küsisime enne ka igaks juhuks, kuskohas seda va Giocondat leida võib, ning saime infot, et just Denonis ta asubki. Denonis olid vaatamiseks väljas peamiselt maalid, kõik kuulsate kunstnike meistriteosed. Pildid olid väljas suures, kõrges, avaras, pikas, laeakendega galeriis, kus mõistagi valitses täielik ülerahvastatus. Kõige suurem pundar oli siiski just Mona Lisa ette kogunenud, kuid need olid enamasti kollased ning tänu sellele nägin ma ilma suuremate pingutusteta kuulsa lõuendi ära. Hiinlased ja jaapanlased ja muud sealtkandi rahvad on ju nii lühikest kasvu, et tundus, otsekui oleks lasteaed lahti lastud.

Nautisime Denoni galerii ilu päris tükk aega, seni kuni kõhutühjus hirmsasti vaevama hakkas. Õnneks oli täiesti olemas Richelieu kohvik, kust võis osta hamburgereid, cocacolat ja muid ameerikalikke suupisteid. Meie otsustasime ühe pisikese sandwichi ja coke'i heaks, ning suur oli meie imestus, kui taolise peaaegu olematu eine eest küsiti ei rohkem ega vähem kui 42 franki. No vähemalt hinnad on Louvre'is kuninglikud!

Kasin eine alla vitsutatud, olime jällegi lõhkise küna ees – Richelieu galerii suleti nimelt kell 6 õhtul, kuid kell oli juba 5.50. Niisiis jäi meil sedakorda nägemata oma sajandi suurim mees. Kuid loodetavasti saab ka seda viga parandada augusti lõpul. Pealegi, kaks inimest viiest viibisid sel ajal hoopis Pariisi teises otsas ning ei näinud Louvre'i üldse, tänu sellele, et muuseum oli pühapäeval ootamatult suletud (meie käisime seal laupäeval).

Maa all sattusime üsna põnevale kohale, kus suur klaasist püramiid oli paigutatud terava otsaga allapoole ning rippus kenasti laes, täites ühtlasi ka laeakna funktsioone. Püramiidi tipu vastas, all põrandal oli umbes meetrikõrgune kivist püramiidike, see ikka tipuga ülespoole, ning kahe teraviku vahe oli ca. 10-15 cm. See oli kindlasti üks energiarikkamaid kohti terves Pariisis, ning seda arvasid kõik, kes oma kätt sinna vahele toppisid, ammutades elujõudu. Ei tea, kuivõrd efektiivne see püramiid ka oli...

Jalutasime siis veel pool tunnikest Louvre'i maa-alustes paikades, ning kõige lõpuks tulime maa alt välja värsket õhku hingama. Kuna hotelli minna oli veel varavõitu, otsustasime veel veidi kesklinnas ringi koperdada. Suunasime oma ninad Forum des Halles-i poole, mille lähedal ka meie hotell asus. Forum des Halles on tegelikult üks üsnagi suur kaubanduskeskus, ulatudes maa all üle terve kvartali ning vähemalt neljakorruseline on ta küll (ikka maa alla). Tema peal aga on erakordselt kaunis park, kus on terved kaskaa-

Pompidou kunsti- ja kultuurikeskus

did purskkaeve, pisikesi sillakesi, suur päikesekell, ning paistab, et prantslaste lemmikdetail – palju väikesi klaasist püramiide.

Et Forum les Halles'i juurest on Pompidou kunsti- ja kultuurikeskuseni ainult poole kiviviske tee, siis vaatasime ka seda üsna modernsena mõjuvat rajatist seestpoolt. Kahjuks oli laupäeval üks osa näitusi suletud, kuid ka sedasi paistis keskus olevat otsekui ülisuur kunstinäitus. Ka väljastpoolt on Pompidou keskus omaette vaatamisväärsus – need tuhanded torud ja torukesed ja torujurakad, mis teda ümbritsevad, loovad üsna omapärase, kui mitte öelda, et santehnilise tunde. Pompidou keskuses viibisime üsna kaua, kuna jalad olid seks ajaks juba päris väsinud. Jalutanud veel pisut ringi oligi aeg niikaugel, et hakata mõtlema tagasi hotelli pöördumise peale.

Mägerite kolmas päev Pariisis

On kätte jõudnud aeg võtta käsile meie kolmas päev Pariisis. Juhtumisi langes see just pühapäevale ning tänu sellele olime sunnitud tükk aega nii sama linnas ringi lonkima, sest aeg oli na varajane ning söögikohad avati alles kell 11. Siiski leidsime lõpuks ühe soodsa koha, kust võis 20 frangi eest saada ühe ütlemata suure pizza + 10 frangi eest veel mingi joogivariandi. Seda ei tulnud just kuigi kaua oodata, kui kõik mehad juba reas pizzat vitsutasid. Pizzeria peremehel oli küll selline miljoni-dollari-naeratus näol, sest ilmselt juhtub seda sealkandis suhteliselt harva, et mingi kamp pühapäeva hommikul sisse vajub ning viis pizzat jutti tellib. No igatahes kõht oli lausa lõhkemiseni täis.

Pidulik tseremoonia lõpetatud, jagunesime jällegi kaheks eraldi jõuguks et uurida siis vastavalt eelmistel päevadel vaatamata jäänud vaatamisväärsusi. Meie (mina, Eero, Igor) alustasime meeldiva ekskursiooniga La Defense'ile, mis asub Pariisi loodeosas ning on uusima tehnoloogia, betooni ja peegelklaasi võrdkuju oma tohutute pilvelõhkujatega ning nendevahelise täieliku tööstusmaastikuga. Sinna on kesklinnast suhteliselt palju maad, nii me siis võtsimegi metroo (ohoh?!) ning kihutasime otsemat maa-alust teed kaudu kohale. Metroojaamast välja astudes tundus küll hetkeks, et oleme otsekui võõrale planeedile sattunud – kõik on nii sile ja veatu, nii korrapärane ja kubistlik, et lase aga olla. Pilkupüüdvaim oli siiski selle kandi kõige kubistlikum ehitis – Grande Arche, mis kujutab endast hiiglaslikku aknaraami, mille allosas on pilveks nime-tatav katusekonstruktsioon ning keskel, keset tühjust sõidab 4 lifti. See modernne triumfikaar moodustub tegelikult kahest 105 meetri kõrgusest pilvelõhkujast, mis on pealt kokku ehitatud ning kuhu lastakse rahvast raha eest ilma imetlema. Et kõrgused meid ei hirmuta, otsustasime ka korra selle kuubi katusel ära käia. Hind selle väikese tõsteteenuse eest on aga ütlemata soolane – täiskasvanu pilet maksab 40 franki, kuid meil õnnestus saada hinaalandust tänu üliõpilaspiletitele ning ka Pariisi külastajakaartidele, mis said ostetud juba esimesel

päeval, mis maksid 95 franki ning millega sai ka metroos 3 päeva piiramatult ringi sõita. Seda võimalust ei saanud ju ometi kasutamata jätta! Infoks ehk veel niipalju, et metroopilet Châtelet-les-Halles'ist Gare du Lyoni (raudteejaam, mille kaudu me lõpuks Pariisist lahkusime) maksis „ainult" 7 franki.

Jõudnud õnnelikult üles, Grande Arche'i katusele, õigemini küll alles laepealsele, avastasime, et seda tühjuse kohal rippuvat osa kasutatakse näitusesaalina, samuti võisime käia ringi väikeses raamatupoekeses, ent hinnad peletasid kõik ostumõtted kohe õite kiiresti minema. Võtsime siis suuna vaateplatvormile, see valmistas meile väikese pettumuse, sest viimane oli välja ehitatud ainult Pariisi poole, nii et teistesse suundadesse tuli vaadata üle hiigelehitise katuse. Arusaadavatel põhjustel olid katuse või siis meie suhtes vaateplatvormi servale tõmmatud trossid, nii et kogu seda võimsat ilu saime nautida otsekui läbi trellide. Mõistagi olid seal pikksilmad, millesse tuli sisse sööta raha, et nad üldse midagi näitama hakkaksid. Kasutasin ka ise seda meeldivat võimalust 5 frangist lahti saada.

Grande Arche de la Defense asub samal sirgel, mis ühendab Arc de Triomphe'i ja Louvre'it, seda sirget kutsutakse pidulikult „Pariisi ajalooliseks teljeks". Seega igati ajalooline paik. Räägitakse, et selgema ilmaga olla Grande Arche'i katuselt isegi Louvre'i näha, kuid seekord polnud see ilm meile nii soodus. Arc de Triomphe paistis aga seevastu üsna hästi kätte.

Peale seda, kui olime ära vaadanud kõik, mis sellest kõrgest kohast paistis, laskusime jälle kindlale pinnale ning kasutasime meeldivat võimalust tutvuda sealse tehnokeskkonnaga lähemalt. Jalutasime päris pikalt nende suurte pilvelõhkujate vahel ning veendusime, et nad tõepoolest koosnevad ainult terasest ja peegelklaasist. Käisime ka CNIT/fnac'i hallis (ma ei tea, mis on selle koha õige nimi, ent need kirjad olid tal suurelt peal), see oligi ainus või siis üks vähestest kohtadest, mis pühapäeval avatud oli. See suur kolmnurkne hall sisaldab endas otsekui väikese linna – seal on olemas tänavad, poekesed, postkontor, hotellid ning isegi oma telejaam – RTL9. Kui me uurisime, milleks oli seda halli üldse vaja, siis ei osanud vähemslt see punases pintsakus härra, kes seal infot jagas, meile küll midagi asjalikku kosta. Üks asi, mis on kindel, on see, et hall on ehitatud juba üsna ammu, kui ma nüüd õieti mäletan, siis 50. või 60. aastatel. No on inimestel raha!

Liikusime siis vaikselt Pariisi suunas jälle tagasi. Pilvelõhkujate vahel, seal, kus on ajaloolise Champs-Élysées' moodne jätk, on meeldiv kaskaad pisikestest pargikestest, milles kasvasid meile, põhjamaalastele tundmatud puud ja põõsad, ning kus leidus purskkaeve, tehisjugasid ning suurel hulgal muudki põnevat. Kui keskkond hakkas jällegi argisemaks muutuma, sõitsime lihtsalt metrooga edasi.

Meie järgmiseks sihtkohaks oli Arc de Triomphe. See asub päris südalinnas ning teda ümbritseb väga ilus väljak, millest hargnevad 12 avenüüd. Ümber Arc de Triomphe'i on aga väga tihe autoliiklus, nii et ta lähedusse pääseb ainult maa alt. Sinna me ka siirdusime.

Jällegi päevavalguses, nägime, milline suursugune ehitis Arc de Triomphe lähedalt vaadates tundub oma tuhandete kaunistuste ja kivinikerdustega ning kivisse raiutud tähtsamate kuupäevadega, mis märgivad Prantsusmaa ajaloo pöördepunkte. Üks huvitav nähtus on see, et prantslased austavad rohkem I maailmasõja ohvreid, kuna sealsamas, Arc de Triomphe'i all oli neile toodud palju pärgasid ja lillekimbukesi.

Teatud väikese tasu eest võis Arc de Triomphe'i imetleda ka seestpoolt, kuid me ei tahtnud sellele aega kulutada, kuna nägemata oli ju veel selline kuulus paikkond nagu Montmartre koos Moulin Rouge'iga ja Sacre-Cœuriga. Et meie otsus oli kõigutamatu,

siis asusime ka viivitamatult asja kallale. Suundusime teist korda maa alt läbi ning mööda Avenue Hoche'i edasi. Montmartre'ile oli kaunis pikk teekond ning nii me otsustasimegi veidi jalgu puhata ühes tee peale jäävas pargis. Viimane oli väga kenasti hooldatud ning korras ja puhas, nagu peabki olema. Nautisime tükk aega sealset heaolu, nägime, milline on plataanipuu (silt oli juures). Plataani lehed sarnanevad väga vahtralehtedega, kuid puu koor on sootuks teistsugune.

Jätkasime teekonda, juhindudes Pariisi turismikaardist. Et meie tee viis lähedalt mööda Alexander Nevski katedraalist, siis otsustasime ka selle oma silmaga ära näha. Tegimegi vastava kõrvalepõike ning juhtusime katedraalist mööduma just siis, kui seal käis üks laulatus. Siis tekkis kohe mõte minna pulmapittu kontvõõraks, ent keegi ei mõelnud seda eriti tõsiselt. Lõpuks leidsimegi end Boulevard de Clichy'lt, kust Moulin Rouge on lausa kiviga visata. Kuid siis juhtus see, mida me nii väga kartnud olime – nimelt hakkas vihma sadama. Sadu üha tugevnes ja lõpuks ei jäänudki muud üle, kui pugeda varjule ühe varikatuse alla. õnneks jäi sadu kiiresti vaiksemaks ning me saime oma teekonda jätkata. Ei läinudki kaua aega, kui juba hakkas paistma kuulsa tuuleveski siluett. Et tibutas veidi vihma, siis kahtlesin, kas sellest pildist, mille me Moulin Rouge'ist tegin, ka midagi välja tuleb, ent pildi kvaliteet, nagu hiljem selgus, osutus suurepäraseks. Tahtsime Moulin Rouge'i kauem imetleda ning oodata ka saju vaibumist. Selleks pugesime varjule ühte pisikesse kohvikusse, mis asus just Moulin Rouge'i suhtes üle tee ning jälgisime mõnuga sealset kuulsat vaatepilti.

Peale seda, kui sadu oli veidi järele andnud (ning Igor järjekordse õlleklaasi tühjendanud) võisime oma teekonda Montmartre'i suunas jätkata. Veidi maad Moulin Rouge'ist edasi asub Pariisi ehk erootiliste ajakirjade kirglike lugejate jaoks tuntuim paik – Pigalle'i väljak. See pole just kuigi suur ning teda ei ümbritse mitte punaste laternatega majad, Pigalle'i väljak tundus mulle olevat võrreldav selle tänavaga, millel asus meie hotell – *rue* Saint-Denis'ga, sest igasuguste *peep-show*'de ja *sex-box*'ide tihedus oli meie tänaval vaat' et suuremgi kui sellel kurikuulsal väljakul. Aga ärgu pettutagu – need, kes kirjutavad Pigalle'i väljaku ümber toimuvatest sündmustest ei ole seda kanti mitte uneski näinud (sorri nüüd nende ees, kes on).

Jalutades nüüd veel pisut edasi leidsimegi end Montmartre'ilt. Keerasime suurelt teelt vasakule, pisikeste tänavate rägastikku ning tundsime end selles keskkonnas kaunis uudselt ning põnevalt. Veidi ringi ekselnud ja pisut mäkke tõusnud, jõudsimegi oma järgmisse sihtkohta – Sacre-Cœuri kiriku ette. See pühakoda asub kaunis kõrge künka otsas, selle künka nimi teadupärast ongi Montmartre. Tõusime siis nendest paljudest treppidest üles, aeg-ajalt üle õla tagasi, linna poole kiigates. Mida kõrgemale me ruhkisime, seda suurem osa Pariisist meile kätte paistis. Lõpuks, päris üleval mäe otsas oli peaaegu kogu Seine'i põhjakallas meile nähtav. Kahjuks ei paistnud sinna sellised tuntud objektid nagu Eiffeli torn ja „ajalooline telg", sest need jäid õnnetumal kombel majade ning lisaks sellele veel ühe puudegrupi varju. Aga ehk polegi see nii oluline arvestades seda, mida me juba nägime.

Sacre-Cœuriga tutvumist alustasime poolringiga kirikust paremal. Turnisime mööda konarlikke treppe ja tõusime ning laskusime koos jalgrajaga mitu head korda. Kirikut ümbritsev park on igatahes täiesti vaatamist väärt. Esmane tutvus ümbruskonnaga tehtud, astusime kirikusse sisse. Kuna Sacre-Cœur on tegutsev katoliku kirik, siis toimuvad seal iga päeva hommikul ja õhtul missad, ning külastajad viibivad kirikus koos jumalasõ-

Patukahetsemise koht

na kuulama tulnutega. Kirikulised tegelevad issanda teenimisega kiriku keskosas, samal ajal kui külastajate päralt on pühakoja seinaäärsed. Kõik kirikusolijad saavad oma hingeõnnistuse nimel „väikese tasu eest" süüdata küünla ning tunda end seeläbi puhtama ning süütumana kui enne. Eks meiegi tahtnud oma arvukaid patte kahetseda.

Kui kirik oli ka seestpoolt (muide, seal valitses üsna sügav hämarus) ära nähtud, otsustasime tutvuda ka Sacre-Cœurist vasakul ning tema taga asuvaga. Alustasime jällegi paremalt, ent veidi altpoolt. Kiriku taga asub väike mõnus park purskkaevude, varju pakkuvate puude ning laste mänguväljakuga. Peale pisikest puhkust pargis lonkisime aga edasi. Tõusime uuesti mäkke Sacre- Cœurist vasakul ning nägime ära ka tõelise Montmartre'i agulielu, nii nagu sellest raamatutes kirjutatakse. Terve ringi ümber kiriku teinud, laskusime Montmartre'ilt alla riistapuuga, mille nimi on funiculeur (ma ei tea, kas see kirjutatakse täpselt niimoodi, kuid vähemalt hääldus on küll selline). See riistapuu meenutab väga lifti, mis tuleb mööda mäekülge alla ning tunnistab samu pileteid, mis kehtivad metrooski. Nii et meie oma külastajakaartidega saime kenasti „tasuta" sõita.

Et päev läheks täie ette, otsustasime ära käia ka Montparnasse'il. Kuna see asub aga Seine'i lõunakaldal Ladina kvartalis, siis otsustasime sinna jõuda metroo abil.

Kui metroost välja ronisime, asusime kohe aktiivselt ümbrust uurima. Seda tegime isegi nii aktiivselt, et panime algul vales suunas lõikama. Vaatasime poekesi, mida võis näha igal pool ning tutvusime selle kandi arhitektuuriga. Viimaks leidsime siiski üles selle õige koha ning saime meiegi jalutada mööda Montparnasse'i avenüüd. Et aeg oli hiline, jalad väsinud ning pea uutest muljetest küllastunud, otsustasin minna tagasi hotelli, et veidi einet võtta ning jalgu puhata. Selle otsuse viisin ka kohe täide metroo kosutaval kaasabil.

Sellel, meie viimasel päeval Pariisis jõudsime kõik hotelli tagasi veidi varem kui tavaliselt. Siis tekkiski mõte minna õhtul pimedas uuesti Sacre-Cœuri juurde, ja seda kõik koos, terve kambaga. Tehtud-mõeldud, nagu ütleb targasti üks vanasõna, mis siis muud. kui lähimasse metroojaama ning esimese ettejuhtuva rongiga Montmartre'ile! Seekord ei viitsinud keegi meist hakata jala üles vantsima, niisiis kasutasime jälle funiculeuri. Kirikuesine oli meite üllatuseks küllaltki tihedasti rahvastatud, nad laulsid seal lõbusaid laulukesi, vennastusid ning tegid võib-olla muudki, ent seda polnud suhteliselt sügavas pimeduses üldsegi mitte näha. Nautisime siis mõned hetked nende meeldivat seltskonda (muide, nad laulsid oma laule inglise keeles, mis iseenesest peaks üsnagi haruldane olema). Et Sacre-Cœuri juurest oli meie hotellini umbes 10-km teekond, siis pidime enne metroo sulgemist kahjuks tagasiteele asuma. Alles nähtud võimsad vaated veel silme ees, laskusime vana hea funiculeuri abil taas maapinnale ning sööstsime lähima metroojaama poole, mis ka õnneks kaugel ei olnud. Kojusõit kulges viperusteta ning peale kodukandi ööeluga tutvumist poeti jälle hotelli lumivalgete linade vahele.

Mägerite jalutuskäik Chamrousse'i

Homme, see on siis laupäeva, 22. juuli hommikul läheme terve kambaga mägedesse patseerima. Selleks puhuks on juba vajalikud ettevalmistusedki tehtud – kaardid paljundatud ja ka proviant valmis varutud. See, paraku küll, koosneb suuremas osas jogurtitest, millega seoses mulle kohe üks põnev juhtumus meelde turgatab. Nimelt käisid Eero ja Igor möödunud nädalal kahekesi mägedes, ning jõudsid oma rännakul üsna kõrgele – pea kahe kilomeetri piirimaile. Ka neil olid kaasas jogurtid, tavalised, plastmasstopsides. Ainuke asi, et kui nad hakkasid siis ühel ilusal hetkel einet võtma, avastasid nad, et madal õhurõhk on oma töö teinud – üks jogurtitops oli jonnakalt oma kaane pealt ära visanud, ning siis uljast rännumeeste seljakoti ära läbustanud. See pole veel kõik, Igor kui kirglik suitsumees sai ka teisel üsnagi tavatul moel teada, mida tähendab õieti mäestikus valitsev madal õhurõhk. Ühel hetkel ta lihtsalt tahtis sigaretti oma ustava tulemasinaga süüdata, ent välgumihkel, mis oli nii kuulekas ja kannatlik normaalsetel kõrgustel üle merepinna, ei olnud seda enam mitte kahe kilomeetri kõrgusel mägedes. Ootamatult jõudu kogunud, viskas ta ilusa, tillukese, hubiseva leegikese asemel välja peaaegu poole meetri pikkuse tulelondi, mis oleks äärepealt tema peremehe ihukarvad ära kõrvetanud. Õnneks osutus mees siiski piisavalt kiireks, et midagi hullu ei juhtunud. Siis, need seiklused, mis meil tuleb veel läbi elada, on hetkel alles tulevik, aga ma kindlasti jutustan Teile nendest oma edaspidises jutus sellessamas kirjas.

Nüüd on siis kätte jõudnud see aeg, kui meil on mägedes käidud ja nähtud, mis seal näha oli. Ma alustan ikka otsast peale, ja kes teab, äkki jõuan lõpuni väljagi.

Niisiis, laupäeva hommikul oli äratus kell pool seitse. See on kaunis haruldane siinkandis, sest töö juurde, instituuti, jõutakse tavaliselt mitte enne kella kümmet. Alustuseks sõitsime liinibussiga kesklinna, kus istusime Chamrousse'i mineva bussi peale. Pilet oli küll hirmus kallis (48 franki), kuid selliste vaatepiltide eest, mida me nägime, oleks võinud silmagi pilgutamata ka rohkem maksta.

Sõit Chamrousse'i kestis peaaegu tund aega, kusjuures tee viis kogu aeg ülespoole. Chamrousse, pisike mägiküla, on nimelt merepinnast umbes 1800m kõrgusel. Meil oli ilmaga hirmsal kombel vedanud, sest pilvitus taevas säras imeere kõrgmäestikupäike ning terve horisondi ulatuses polnud näha ainustki pilve. Tavaliselt, nagu on kuulda olnud kohalike käest, on Chamrousse mattunud pilvedesse, õigemini tihedasse uttu, sest sellisel kõrgusel ollakse tavaliselt, mitte pilve all, vaid pilve sees. Buss keerutas enamuse ajast kitsastel serpentiinidel, kus vasakul pool oli metsaga kaetud järsk mäekülg ja paremal pool polnud mitte midagi, vaid umbes sada meetrit vaba langemist. Oli kaunis huvitav jälgida, kuidas buss neid järske kurve võttis, alguses tekitas see kõhedustki, ent, peale mägedeskäiku, tagasi Grenoble'i poole sõites, enam mingeid emotsioone ei tekitanud.

Õnnelikult pärale jõudnud, astusime bussist välja ja imetlesime päris tükk aega vaadet, mis avanes alla, Grenoble'i poole, ja ka üles, Croix de la Chamrousse'ile. Mäekülgedel ammusid lehmad, ning tekkis kohe päris Alpides oleku tunne, kui mitte arvestada seda, et karjased seal küll ei joodeldanud. Aga küllap me lihtsalt ei kuulnud või olime veidi vales kohas. Kes teab. Alustasime kohe ronimisega, mis osutus hoolimata mitte eriti järsust tõusust, üsna raskeks, kuna sellisel kõrgusel (ligi 2000m) on õhk juba märgatavalt hõredam kui all, „tavalistel" kõrgustel. Kuid ega saanud seda väikest ebameeldivust siis lasta välja paista, me olime ju alles nii alguses! Tõusnud umbes mõnisada meetrit, jõudsime

ühe tõstukini, millega talvel suusatajaid mäkke üles tõstetakse. Sealtsamast kõrvalt leidsime ka viida, mis osutas meie esimese eesmärgi – Robertsi järvede poole. Need on sügaval orus asetsevad järvekesed, mis asuvad 1998m merepinnast kõrgemal. Esimene viit, mis osutas järvede poole teatas, et meil on astuda jäänud umbes poolteist tundi.

Olles poole tunni jagu edasi rühkinud, nägime äkki, et ühes varjulises orvas on midagi valget. Rahvasuust võis kuulda mitmesuguseid oletusi, et millega võiks tegemist olla. Lähemale jõudnud, selgus, et see polegi midagi muud, kui kõige tavalisem lumi. Tundus pisut arusaamatu, miks ta polnud veel ära sulanud, sest õhutemperatuur tundus küll tubli paarkümmend pügalat üle nulli olevat. Katsudes tundus siiski kõik korras olevat, lumi nagu lumi ikka – külm ja valge. Muidugi oli see lumi seal üsna tihedasti kokku vajunud, nii et tundus pigem jääkoorikuna kui õige lumena. Kuid hiljem selgus, et see oli alles algus. Me pidime oma teekonaal ületama veel ühe lumevälja – seekord see enam nii põnev ei olnud. Tegime ka päris palju pilte, et enda muljeid ka sellisel viisil jäädvustada. Vahetevahel võis näha langevarjureid, kes liuglesid sinitaevas, ning üha harvemini paistis kaljude vahelt üha rohkem sumusse mattuv Grenoble.

Peale tükk aega kestnud kividel turnimist jõudsime äkki oma eesmärgini – mägede vahelt hakkasid paistma järvesilmad. Järvekeste kallastel võis näha suhteliselt palju turiste, kes siis kas imetlesid ümbruskonda või tegelesid kalastamisega. Järvi ümbritsesid järsud kaljud, millelt liustikud ulatusid päris järvede äärde välja. Ometigi oli vesi nii soe, et pikemalt mõtlemata mindi ujuma. Põhi oli väga meeldiv, lihtsalt kivine, ning vesi oli väga selge, nii et võis näha kalu ringi ujumas, ning põhi paistis üsna suure sügavuseni selgelt kätte. Kui me olime siis tüdimuseni ringi ujunud ning nautinud meeldivat tunnet, mis tekkis sellest, et kaldal, mitte kaugemal kui sadakond meetrit meist, oli külm lumi, olgugi, et päike säras väga tugevalt ja intensiivselt. Arvatavasti olid need järvekesed tekkinudki liustike sulamisel tekkinud veest, kuid mulle tundus järvevesi liiga soe olevat. Küllap siis ikka päike ta üles soojendas.

Riided jälle seljas, jätkasime oma teekonda mägedesse. Liikusime ümber järve ning hakkasime, täis head usku, mööda esimest ettejuhtunud mäekülge üles ronima. Selles kohas oli mäekülg lihtsalt üks rusukalle, kus pidi väga ettevaatlik olema, et mitte eesroniva seltsimehe ronimisest tekkinud lendavate kivide ette jääda ning ka mitte ise neid tekitada, sest see oleks olnud eluohtlik tagapool ronivatele kujudele. Mägi ise oli mitmeastmeline, järsud tõusud vaheldusid laugjamatega, ning laugjamatel kohtadel olid tavaliselt lumeväljad, ilmselt juba peaaegu ärasulanud liustike jäänused. Vastavatest katsetest selgus, et mööda liustikke on sootuks lihtsam ülespoole ronida, kui mööda kive. Algul esines väikesi probleeme püstipüsimisega, ent keegi avastas siis, et lihtsam on võtta lumele kaasa üks kivi, mida sai väga edukalt pidurina kasutada. Lumi oli muidugi väga tihe, nii et sissevajumist ei olnud mitte karta, kuid salakavalateks osutusid listike servad, mis olid kokkupuutes pidevalt päikesesoojuses olevate kividega ja olid seepärast lahti sulanud ning rippusid sageli üsna lahtiselt. Neile servadele astudes võis põlvini lumme vajuda, kui mitte rohkemgi. Ühes kohas oli näha, et lume paksus oli üsna mitu meetrit, mis tekitas kõigis suurt imestust.

Tasapisi edenesime üha kõrgemale ja kõrgemale, ning järved jäid üha pisemaks ja pisemaks. Puhkepause pidi tegema järjest sagedamini, sest õhku kippus väheks jääma ning kõigi kopsud töötasid nagunii nagu sepalõõtsad. Muide, tõusu raskusest ei saanudki enam muidu aru, kui et see pani kõvasti hingeldama, jõudu oleks jätkunud tegelikult enamakski.

Lumised Alpid linnulennult üle alla orgu jääva Grenoble'i linna. Seal on ka Chamrousse.

Tegime siis veel viimase pingutuse ning olimegi kohal! Mitte küll päris mäetipus, kuid kahe tipu vahel, millest ühe kõrgus oli 2448 ja teise kõrgus 2526 meetrit. Mõlemad paistsid väga lähedal olevat, niisiis võib arvata, et me jõudsime umbes 2400 meetri kõrgusele. Edasi minna ei olnud võimalik, kuna ees lõppes tõus lihtsalt otsa, ning ees laius suurepärane vaade alla, orgu, ning ka teisele mäeahelikule, kus valendavad liustikud väga selgesti kätte paistsid, hoolimata suurest kaugusest (arvatavasti u. 10 km). Kaardilt sai järgi vaadatud, et kuristiku sügavus oli ligi 1900m. See avaldas kogu seltskonnale väga sügavat mõju, sest vaade, mis sealt avanes, oli tõepoolest imetore.

Tasapisi oli kätte jõudnud ka lõunaaeg, ning peagi otsiti seljakottidest välja kogu proviant, mida seltskond oli heaks arvanud la Houille Blanche'ist kaasa haarata. Seda polnudki nii vähe, sest peale kerget einet kippus üht-teist ka üle jääma. Muide, seekord olid jogurtitopsid küll kenasti punnis, kuid ükski neist polnud lõhki läinud. Väga meeldiv asjaolu, sest muidu oleks pidanud jälle oma aega koti küürimisele kulutama. Peale einet 2400m kõrgusel tehti ka pisikene puhkepaus, et emake Maa meid nii kõvasti ligi ei tõmbaks ning et ka veidi jõudu koguda. Sellest ajast on samuti olemas terve posu pilte, üks põnevam kui teine.

Siis lõpuks saabus see pidulik hetk, kui seltskond võttis nõuks laskuma asuda. Et meie teele jäi teadupärast ette üsna mitu liustikku, siis koostati ka taktika nende ärakasutamiseks kiirema allajõudmise eesmärgil. Esimene ots siiski tuli laskuda mööda lahtiseid kive.

Esimene liustik, milleni jõudsime, oli põnev – kõigepealt, enne (kiir)laskumise algust tehti kogu seltskonnast pilti, ning siis läks lahti. Et igaühel olid pisut erinevad oskused ja kogemused kiirlaskumise alal, siis võis näha stiile samapalju, kui oli meha. Julgemad kasutasid oma jalavarjusid suuskadena ning joonistasid kenasid slaalomikaari, nii et lumi tuiskas, mõni lihtsalt jooksis allapoole (väga ohtlik tegevus, muide), mõni kükitas esmalt

maha ja püüdis kelku jäljendada. Ma ise kasutasin viimasena kirjeldatud moodust, kuid oh häda! teatud kiirusel kadusid jalad lihtsalt alt ära ja nii pidin ma oma teekonda, tahtsin ma seda või mitte, jätkama oma kalli tagumise poole peal. Huvitaval kombel leidus ka järgijaid, kes otsemaid minu äsjaleiutatud stiili üle võtsid, nende seas ka meie lugupeetud prof. Raimund Ubar. Kõik oleks ju väga kena olnud, ent pisikese puudusena ilmnes lume madal temperatuur. Peale sellist laskumist oli tükk tegu, et oma pehmet kehaosa ja ka käsi, mis toimisid juhtorganitena, üles soojendada. Siiski see õnnestus tänu päikese poolt hästisoojendatud kividele.

Kasutades eelpoolkirjeldatud ning ka mõningaid muid meetodeid, mida ma siinkohal ehk ei hakkaks kirja panema, läbisime ka ülejäänud osa laskumisest, kuni selle punktini, kus algas viimane järsk langus. Seal kasvas juba taimestik, kuid teatavasti pole midagi libedamat, kui murukamar 45-kraadise nurga all. See osutus ka kõige raskemaks ja aeganõudvamaks lõiguks meie teel üldse. Siiski õnnelikult alla, järve äärde tagasi jõudnud, tegime veel ühe väikese ujumistiiru ning täitsime joogianumad järve voolavast allikast. Pisike puhkus ja teekond jätkus, seekord juba Achard'i järve suunas. Sinna oli mitu head kilomeetrit maad, ent vaatepildid, mis meile üksteise järel avanesid, olid ka tõepoolest väga meeldivad. Jalgrada tõusis ja laskus veel umbes paarkümmend korda ning olimegi Achard'i järve ääres. Algselt mõtlesime ka sinna ujuma minna, ent kuna sealne vesi polnud teps mitte nii puhas ja läbipaistev kui Robertsi järvedes, jäi see kavatsus teoks tegemata. Siinkohas ei saa mainimata jätta, et selle järve ääres sai üsna mitmel mehel film otsa, nii et edaspidised sündmused erilist fotograafilist kajastamist ei leidnud. Sellest polnudki suurt lugu, sest jõudsime juba üsna tavalistesse paikadesse, kus kohalikul rahval, ning usutavasti ka lähikonna turismihuvilistel on kombeks nädalavahetusel matku korraldada, ning rahvast hakkas üsna tihedasti mööda voorima.

Et meie aeg hakkas tasapisi otsa saama, pidime end kiiresti tagasi külasse organiseerima, et bussi peale jõuda. Ning, nagu kokkuleppe peale, kui jõudsime kohale, siis vahest kümne minuti pärast tulid altpoolt tihedad pilved ja katsid kogu vaatevälja. Maistel kõrgustel nimetatakse taolist nähtust sageli uduks, kuid meie puhul oli tegemist pilvedega. Jälle üks huvitav kogemus, sest pilved on tõepoolest tihedad asjad – tihedamates kohtades oli nähtavus ainult paar meetrit. Kulutasime selle vähese aja, mis jäi bussini, veel kohalike poekestega tutvumiseks. Paistis, et kohalik elu on tervenisti orienteerunud talvele ja turistidele, sest elutegevuse ilmingud tol hetkel olid tõepoolest tagasihoidlikud.

Lõpuks jõudis ka buss kohale, ning uljas seltskond asus sõiduriista. Nagu algul öeldud, ei pakkunud sõit Grenoble'isse enam sellist pinget, nagu sama tee teistpidi läbides hommikul. Siitsaadik polegi nagu enam millestki kirjutada – meie alpinismus oli selleks korraks ühel pool. Kõik said kena elamuse.

Mägerite teekond Côte d'Azur'i

Et nüüd kõik ausalt ära rääkida, nagu oli, võiks ehk alustada sellest, et meil ei õnnestunud Europcari autolaenutusest endile liiklusvahendit üürida, kuna härrastele prantslastele valmistas sügavat meelehärma teadmine, või õigemini teadmatus Eesti ontlike ja „maailmatasemel" valmistatud lubade puudulikkusest. Jah, kui keegi peaks kunagi Eestist Prantsusmaale sõitma kavatsusega seal autot laenutada, siis peaks see isik tingimata hoolt kandma selle eest, et tema lubade väljaandmise tähtaeg oleks kindlasti vähemalt

aastatagune ajaloosündmus, vastasel juhul saadetakse teid pikalt. Teine, vähem meeldiv võimalus oleks hankida Autoregistrikeskusest mingisugune tõend, mis kinnitab, et selle paberi ettenäitaja on juba kogenud ja staazhikas autojuht, kes tegi oma sõidueksami sellel ja sellel kuupäeval juba aastaid tagasi. Need isikud aga, kellel on au omada vanu vene lube, ärgu parem kohe mitte üritagugi autolaenutuse lähedusse minna, sest need laidetakse üsna kiirelt maha, sest pole ju enam väljaandjariikigi, ning pealegi olete te ju pärit Ida-Euroopast – sellest suuremat pattu on vägagi raske ette kujutada. Lõpuks ütlen vaid, et meie pettumus oli vägagi suur, sest ettevalmistused meie reisi edukaks kulgemiseks ei olnud mitte odavad ja kiired.

Kuna kõik vajalikud asjad ja vahendid olid valmis muretsetud juba ammu enne sõidu oletatavat algust, siis olime kerge probleemi ees – kas siis tarbida reisiks mõeldud kraam lihtsalt ära või leida ometi mingi väljapääs ja minna kõigest hoolimata kavatsetud reisile. Uljad üliõpilased, nagu me kõik oleme, otsustasime ettevõetu lõpuleviimise kasuks. Mina ja Eero (minu siinne toanaaber ja kaasvõitleja) otsustasime selgesti, et meie oma eesmärgist kõrvale ei kaldu ja läheme lõunasse autostopiga. Rannikule on Grenoble'ist aga teatavasti üsna palju maad, kuna teed keerlevad pikalt mägede vahel.

Otsustades Baedekeri Prantsusmaa reisiraamatust[7] saadud info järgi, oli selle tee pikkus ligikaudu 330 kilomeetrit, mida pole autostopiga läbimiseks sugugi vähe. Me otsustasime alustada oma seiklusterohket (nagu hiljem selgus) reisi reede, 4. augusti õhtul. Alustasime muidugi omaenda ühikatoast, ning viis minutit enne kella kuut olid meil kõik asjad kenasti koos ja mehad valmis ja hakkamist täis, alustamaks matka. Muide, kuna temperatuur tundus olevat piisavalt kõrge, siis otsustati kõik soojemad riided, sealhulgas ka tekid, mis olid algselt mõeldud kaasavõtmiseks, lihtsalt maha jätta. On ju nii palju kergem rännata! Samuti ei võetud kaasa pikki pükse ning ainukesed soojemad riideesemed, mis kotti topiti olid teksajakid. Vajaliku atribuutika hulka kuulusid ka päikesekreemid, mida oli kahes variandis – tarbimiseks nii enne kui ka peale päevitamist. Sellega olid ettevalmistused tehtud ja rännak võis alata.

Kõigepealt sõitsime bussiga sobivasse Grenoble'i otsa, et sealt juba astuda Route Napoléon'ile, mis oli ka seotud teatud raskustega, sest meil polnud õrna aimugi, kust see tee õieti algab. Viimaks, peale kaunis pikki jalutuskäike teeäärtes ning peale mitmete kohalike usutlemist selles asjas jõudsime oma eesmärgini. Sealt tuli veel tükk maad jalgsi edasi liikuda, et otsida sobiv koht hääletamise alustamiseks. Selline koht tuli kätte üsna pea, ent hääletamine ei edenenud kuigi edukalt. Mis siis muud üle jäi, kui asuda maanteed iseendal lühendama kasutades oma kondimootorit. Astunud umbes paar kilomeetrit, jõudsime ühte pisikesse külasse, mille nime ma kahjuks ei mäleta, ning hääletasime aga vapralt edasi. Seal külas naeratas meile ka õnn esimest korda – meid korjas üles üks naisterahvas, kes elas Vizille'i nimelises külakeses umbes 10 kilomeetrit edasi. Olime ütlemata rõõmsad, sest abiks on ka selline lühike sõit, hoolimata kõigest. Madame pani meid maha ühel ristmikul, kus STOP-märgi taga oli lõpmata hea oma käpatõstmist jätkata. Muide, selsamal ajal tuli ka Prantsuse politsei teisele poole teed autosid „hääletama".

Üldiselt ei paistnud ka sandarmitel midagi selle vastu olevat, et meietaolised hääletajad seal neile konkurentsi pakuvad. Ei tulnudki kaua oodata, kui juba peatus meie ees üks ontlik härrasmees, kes, nagu hilisema jutuajamise käigus selgus, töötas samuti Grenoble'is,

[7] Väga tuntud firma Saksamaal, mis tegeleb reisiraamatute väljaandmisega juba umbes poolteist sajandit.

Mägise väikelinna tänaval

tema amet oli tsiviilinsener. Meid viidi sel õhtul Gap'i nimelisse linna, mis asub Grenoble'ist umbes 90 km lõunas. Kohale jõudsime kella kümne paiku, meie reis oli senini ütlemata edukalt kulgenud.

Kõigepealt võtsime pargipingil väikese eine ning imetlesime väikelinna elu. Sellega ühel pool, jalutasime tükk aega linna peal, ning tutvusime ööeluga sealkandis. Lõpuks, sellest küllastunud, otsustasime aega kasulikult kulutada ning pühenduda edasipääsemisele. Otsisime sobiva koha ühel ristmikul, ning asusime uuesti autosid peatama. Sellele tegevusele kulutasime tagajärjetult umbes kaks tundi, kuid viimasel minutil tuli üks noor sell, kes teatas, et ta saab meid 15 km jagu edasi toimetada sellisesse kohta, nagu Tallard, ta oli nimelt koduteel.

Need 15 km möödusid ruttu, ning siis leidsime endid täielikust pimedusest, ning kell oli juba kaks öösel. Pühendusime veel lühikeseks ajaks hääletamisele, ning pidime järjekordselt tõdema, et öine autostop on täiesti lootusetu. Et uni oli kahtlemata hea, siis tuli asuda ööbimispaiga otsinguile. Üle tee võis näha majade siluette, niisiis astusime üle tee ja läksime piki kõrvalteed edasi. Ainult paar sammu peateest kõrval avastasime ühe niidetud viljapõllu, kuhu oli põhk kuivama jäetud. No meie ei mõelnud enam kaua, vaid asusime aga usinasti põhku põlluserva kokku kuhjama, mis ei võtnudki teab-kui-kaua aega, ning uni põhus maitses hästi. Ettenägematud raskused ja ootamatused ilmnesid aga hommikupoole, kui temperatuur kiskus ikka madalamaks ja madalamaks. Ning kõigele lisaks tõusis veel ka tuul, mis polnud samuti kuigi meeldiv, sest see puhus kõik soojuse meie juurest minema. Kui külmetamisest villand sai, siis tõusime üles, et kuhjata veel veidi põhku endale peale, ning see juba aitas. Hommikupoolne öö läks tänu sellele kaunis kiiresti ja valutult, ning hommikul ilmnesid isegi raskused ülestõusmisega. Seda sai siiski tehtud umbes kella seitsme paiku, ning võetud sealsamas kerge hommikueine. Olime just oma väikest söömaaega lõpetamas, kui äkitselt kuulsime kuuseheki tagant inimeste hääli, mis, ime küll, mitte prantsuse, vaid saksa keeles midagi seletasid. Selle peale otsustasime kiiresti ja üksmeelselt lahinguväljalt kõrvale tõmbuda, et vältida võimalikke ebameeldivusi, sest usutavasti ei ole Prantsusmaal just palju selliseid talumeha, kellele meeldiks, kui nende koristatud viljapõllul mägerid kosutavat und panevad. Seejärel oli kohe esimene käik mõistagi tee äärde hääletama. Me ei jõudnud õieti käppa veel püsti tõstagi, kui juba peatus üks väike kaubabuss, mida juhtis üks keskealine daam, ning lahkelt meid sisse kutsus. Eero oskab natuke prantsuse keelt, ja tema oli siis põhiline suhtleja. Eks ta siis seletanud sedasama juttu uuesti, nagu eelmistele headele inimestele, et kes me õieti oleme ja kust me tuleme jne.

Sel ajal, kui Eero suhtlemisega tegeles, vaatlesin ma maastikku ning kuulasin ka ühe kõrvaga nende juttu. Ma panin tähele, et selles kandis oli palju suuri jõesänge, kuid nad kõik olid väga kuivad, ning meie madame seletas, et nad on õieti täis ainult kevadeti, kui mägedest voolab alla lumesulamise vesi. Sellest kandist voolab läbi ka kanal, mis varustab

Marseille'd joogiveega, kuna kohapeal magedat vett ei olevat. Eks see vesi pärineb samuti nendest poolkuivadest jõgedest, ning aitab kaasa nende veel suuremale kuivamisele. Igatahes oli väga imelik üle sõita sildadest, mis viisid üle kuiva maa, ja seda sageli üpriski kõrgelt. Omaette vaatamisväärsused olid kõrged paljandid, kus võis näha settekivimite kihte, mis olid segi pööratud, painutatud ja vormitud maapõue seismilise tegevuse poolt.

Selle autoga saime sõita Digne'i, ning asusime siis oma teekonda jätkama ühte bensiinijaama. See poiss, kes meid Gap'ist Tallard'i toimetas, hoiatas, et Digne'ist on suhteliselt raske edasi pääseda, kuna see tee, mis Digne'ist Nice'i läheb, on väike ja kitsas. Tal oli õigus, sest me vehkisime tubli poolteist tundi tagajärjetult seal bensiinijaamas, siis sai isu otsa ja me jätkasime lihtsalt jalutuskäiku Nice'i suunas. Paar kilomeetrit linnast väljas silmasime all, ühe järjekordse poolkuivanud jõe kaldal kena vaba aja veetmise kompleksi, kus ilmselt kohalik rahvas käis suvemõnusid maitsmas. Seal oli ujumiseks tiik, mille vesi osutus hirmus külmaks, kuid sellest hoolimata käisid mägerid seal ujumas. õnneks selle eest maksu ei võetud, me ka uurisime igaks juhuks järgi, enne kui ummisjalu vette tormata. Peale kosutavat ujumist jätkasime oma rasket teekonda lõuna suunas, ning jällegi pidime veenduma hääletamise võimatuses turistidevoolus. Loota võisime ainult kohalike elanike peale, kes üsna hea meelega *hitchhikereid* [8] aitavad ja edasi toimetavad, kuid sealjuures kahjuks lühikeste otste kaupa, sest vastasel juhul nad poleks ju kohalikud elanikud, vaid samuti turistid.

Ega siis midagi, jalutasime aga edasi ja hääletasime iga möödasõitvat liikurmasinat. Seda tuli teha aga niikaua, et tekkis selline tüdimus, et Eero loobus edasisest käpatõstmisest. Mina siiski vehkisin käega, niisama moe pärast, et ei tekiks pärast süümekaid, et näe, oleks ju võinud, äkki oleks õnnestunud... Siis, ühel hetkel, kui ma järjekordselt hääletasin, võttis üks auto äkki kiiruse maha ja peatus meist veidi maad eespool. Eero avaldas imestust selle üle, et miks ta küll ometi peatus. Siis ma ütlesin talle, et ma hääletasin sel ajal, kui tema lihtsalt vastutustundetult edasi vantsis. Selle peale lippasime kähku masina juurde, ning keskealine daam, kes autoroolis istus, teatas, et sõidab edasi ainult paarkümmend kilomeetrit, sellisesse kohta, nagu Barrême. Olles juba veidi juttu ajanud ning rohkem tuttavaks saanud selgus, et see daam on üsnagi seltsiv ja lahke. Muuseas kutsus ta meid enda juurde piknikule. Tema elukoht asus asulast väljas, ühe mäe otsas üle 900 meetri kõrgusel merepinnast. See meeldiv perekond (ema, isa ja poeg) tegeles parajasti kõva ehitustegevusega, ning nad ei ehitanud mitte ühte maja korraga, nagu see ehk realistlik oleks, vaid kahte – neist üks oli juba katuse all, teine alles vundamendijärgus. Üks maja pidi saama välja üüritud külalistele, teine oli planeeritud elumajaks. Lisaks sellele tegeldi veel loomakasvatusega – meile näidati ka ära, kuidas need kanad ja haned ning hobused siis Prantsusmaal välja näevad ja elavad. Ei saanud aru midagi, et oleks vahet olnud, sest laut lõhnas täpselt samamoodi, nagu Eestis, kanad kaagutasid päris arusaadavalt ja üldse mitte prantsuse aktsendiga, samuti tundusid muud asjad kuidagi koduselt tuttavad olevat.

Piknik ise oli suurepärane – meile pakuti head-paremat, ning me olime moraalselt kohustatud sööma kuni lõhkemiseni. Nagu see sealkandis kombeks on, siis pakuti söögi kõrvale ka punast veini. Eine käigus käis muidugi tihe jutuajamine, ning me pidime Eeroga oma kasinaid prantsuse keele oskusi arvesse võttes üsna tugevalt pingutama, et

[8] See on hääletaja ehk autostoppija ameerika keeles.

midagi kõrvust mööda ei libiseks. Meile soovitati teekonna jätkamisel kasutada kohalikku kitsarööpmelist raudteed, mida sealkandis kutsutakse Chemins de Fer de la Provence. See on üks ütlemata vana ja kahtlemata unikaalne sõiduriist, minu arvates kogu Euroopas. Tegelikult algab selle susla teekond juba Digne'ist, kuid me siis veel ei teadnud sellest midagi, kui me parasjagu seal olime. Niisiis, saime teada, et see sõiduk kurseerib Digne'i ja Nice'i vahet neli korda päevas ning et üks kord on õige lähedal. Siis me otsustasimegi jätkata oma teed suslaga, küll mitte Vahemereni välja, kuid esialgu sellise kena kohani, nagu on Entravaux. See on üks pisike küla Var'i jõe kanjonis, ning see kanjon ulatub sirgelt ja pikalt vähemalt paarikümne kilomeetri ulatuses idast läände, ning see seletab ka seal valitsenud kohutava tõmbetuule. Pererahvas osutas meile veel sellise teene, et viis meid kenasti raudteejaama ära ning pani tee peale veel suupisteid ka ühes. Need olid ühed väga kenad ja lahked inimesed.

Susla peale saime ilme sekeldusteta, ning saime tõeliselt kena elamuse Verdoni jõe kanjonist ja ümbruskaudsest mägismaast. Tee viis mägedest üles ja alla, ümber ja isegi läbi. Tunneleid läbi mägede oli meie teel mitu, ning pikim neist uuristas end arvatavasti rohkem kui kilomeetri jagu mäemassiivist läbi. Et sealne pinnas koosneb eranditult settekivimitest, siis pole ime, et aeg-ajalt mõni tee kevadise tulvavee ajal hoopis minema uhutakse, ning ka pisikese susla raudtee oli selle tõttu kannatada saanud. See osa teest, millel enam sõita ei saanud, läbiti bussiga, ning see oli juba piletihinna sees. Buss sõitis susla asemel üsna pika maa Annôt'st kuni Vesuuvini välja.

Entravaux's jäime kõigepealt tugeva hoovihma kätte, kuid meil õnnestus bussijaama katuse alla varjule pugeda. Ka sealt sai imetleda Vari jõe järsul vastaskaldal kõrguvat keskaegset kivikindlust ja lossi, ning muidugi sai sellest mõnigi pilt tehtud. Kui vihm oli üle jäänud, siis muidugi jätkasime oma rännakut, ning hääletasime iga autot, mis meist möödus. See kant aga oli hääletamise seisukohalt erakordselt kehv, sest autotee oli noolsirge ja sileda asfaltkattega, ning lisaks sellele ka veel kitsas, nii et peatuda oleks olnud tõeline kunst. Mõni ime siis, et keegi seda ei teinudki. Mis siis ikka, astusime aga hoolega edasi, ning meie lähemaks eesmärgiks sai sel hetkel järgmine jaam, kus susla (selles kohas veel bussi kujul) peatus, Puget-Théniers. Loomulikult ei jätnud me lootust ja tõstsime aga usinasti käppa edasi, ent see ei kippunud tol hetkel üldse aitama. Niisiis saimegi jalgsimatka pikkusega umbes 10 kilomeetrit või isegi pisut rohkem, täpsemat hinnangut ei saanud anda, kuna me kasutasime juba eelpool mainitud Baedekeri reisiraamatust paljundatud kaarti, millel õnnetumal kombel puudus mõõtkava.

Jõudsime Puget-Théniers'i kohale liiga varakult, ning pidime ootama umbes kolmveerand tundi, seni kuni susla (loe: buss) kohale jõudis. Muidugi ta hilines veerand tunnikest, ent see polegi väga oluline, kui me jälle täie hooga oma eesmärgi, Nice'i poole liikusime.

Bussiaknast oli paljugi vaadata, kuna tee keerles tõesti kitsastel kaljuservadel, ning tõusis ja laskus päris korralikult. Selles kandis oli jälle ühe jõe, ma arvan, et sellesama Var'i jõe säng, mis oli aastatuhandete vältel kulutanud kivimeid niipalju, et oli tekitanud sügava ja kitsa kanjoni, mis paljastas settekivimite kihid kuni väga vanade aegadeni välja. Need vaatepildid olid tõepoolest võimsad.

Vesuuvi juures (sellel peatusel oli ka teine, prantsusekeelne nimi, kuid mul ei tule see hetkel meelde) toimus jälle ümberistumine tõelisele suslale, ning sõit Nice'i poole võis jätkuda. Pikapeale võis juba vaguniaknast silmata üksikuid palmipuid, mis olid kui esi-

mesed tunnismärgid meie lõunasse jõudmisest. Kahjuks hakkas juba pimenema, nii et meil ei õnnestunud enam pilte teha. Tagatipuks hakkas ka vihma sadama, nii et kui me kohale jõudsime, siis võttis meid vastu märg ja hall Nice.

Kõndisime siis mööda inimtühje tänavaid ning otsisime katusealuseid, kuhu vihmavarju minna. Kui meile aga hakkas silma restoranisilt „Au Grill d'Or", siis mei plaanid muutusid kohemaid ning me otsustasime lõunasse jõudmist nagu kord ja kohus tähistada. Astusime siis restorani sisse ja tellisime ühed juustupizzad, mis olid üllatavalt suured, kuid see-eest samavõrra õhukesed. Meile anti ka ühte vürtsist maitseainet, ent enne hoiatati, et see on väga tugev. Viimane küll eriti tõeks ei osutunud, kuid imehea oli ta sellest hoolimata. Loomulikult käis pizza kõrvale ka valge vein, see oli enesestmõistetav.

Pizzad söödud, tellisime ka magustoite. Valisime välja midagi, mis tundus olevat õunatort või midagi taolist, kuid selle imeroa nimi sisaldas hulganisti meile arusaamatuid prantsuskeelseid sõnu. Tellisime siis oma õunatordid, aga kui need kohale toodi, siis selgus, et tegelikult kujutasid need ühte õunakoogi lõiku, mis oli alkoholiga immutatud, ning et asi võimalikult põnev oleks, veel põlema süüdatud. Et kallis kraam mitte asjata sinise leegiga lõpuni ei põleks, siis puhusime tule surnuks ja asusime sööma. See roog oli lausa jumalik, nagu tema hindki – 28 franki – seda näitas. Lõpuks, peale desserti, kui meil veel polnud päris selge, kas sadu on väljas järgi jäänud, otsustasime tellida veel ühed Irish Coffee'd. Peale nende lõpetamist tundsime end juba kaunis noorelt ning otsustasime, et läheme ja vaatame selle Vahemere ka ikka ära. Maksime siis arve, 224 franki ja suundusime tänavale. Loomulikult oli vihm juba järele jäänud ja väljas oli tõesti soe. See oli alles meeldiv üllatus, meile oli see väga sobilik.

Mere leidmine ei olnud aga sootuks nii lihtne, nagu algul paistis. Mitmeski kohas tekkisid mul ja Eerol lahkarvamused mere paiknemise osas, kusjuures need arvamused olid alati diametraalselt vastassuunalised. Lõpuks, kasutades bussipeatustes olevaid kaarte õnnestus ometi õige suund üles leida. Siis ei läinudki enam kaua, kui juba hakkasid paistma ranna tuled, ning merehõng hakkas kohe sõõrmesse. Istusime päris tükk aega kaldarinnatisel ja vaatasime alla rannale. Nice'i rand on kivine, kuid need kivid ei ole teravad, nad on mere poolt kenasti ümaraks lihvitud, nii et mööda neid on täiesti võimalik paljajalu käia. Laskusime mõne aja pärast alla ning istusime päris merekaldale. Muidugi ei jäänud ka ujumas käimata, olgugi, et aeg oli juba veidi üle kesköö sammunud. Ujumas käisime kordamööda, kaldalolija tegeles asjade valvamisega. Tol hetkel oli Vahemere vesi tõesti soe, kuid nagu selgus, väga soolane. Lausa hirmus soolane, sest peale seda reisi läksid mul huuled totaalselt lõhki tänu liiga suurele soolaannusele.

Kui esimesed ujumisliigutused olid tehtud ning kenasti jälle ära kuivatud, siis ilmnes, et uni murrab, ja seda päris kõvasti. Probleem oli selles, kuhu siis ennast magama asutada. Jalutasime üsna pikalt mööda mereranda ringi ning veendusime, et seal on juba enne meidki rahvast, kes kasutas öist randa lihtsalt puhkepaigana. Aga nad kõik olid pugenud oma soojadesse magamiskottidesse, mida meie endale lubada ei saanud, kuna meil need lihtsalt puudusid. Kuna temperatuur ka just väga madalana ei tundunud, siis otsustasime, et ka meie saadame oma esimese öö Nice'is mööda supelrannas, lihtsalt kividel pikutades. Oma reisikotid panime pea alla, padja aset täitma, ning viskasime sinnasamasse rannale pikali. Veidi harjumatult kõva ju oli alguses kividel lamada, ent pikapeale võis ka sellega ära harjuda ja uni tuli magus. Vastu hommikut aga ilmnesid üllatused – neist esimene oli

see, et ka Vahemere ääres on hommikuti enne päikesetõusu üsna jahe, ning lisaks sellele tõuseb ka tuul, mis jaheduse eriti raskesti talutavaks teeb. Umbes kella kolme ja nelja vahel leidsime, et aitab külmetamisest, võtsime rannalt seal igal pool vedelevad toolid ning suundusime kaldarinnatise äärde. Seal sai, selg vastu seina, päris kiiresti sooja, ent korralikuks magamiseks selline asend siiski ei kõlvanud.

Istusime siis seal poolunes, kui äkitselt tuli järgmine üllatus – mingid kummalised mundrites kujud hakkasid rannal magajaid üles äratama. Selgus, et rannale tulevad prügivedajad, kes sinna päeva jooksul kogunenud läbu ära koristavad. Eks me lasime siis samuti jalga, nagu kõik teisedki. Suundusime seejärel kohe üle autotee olevasse parki, kus võtsime kerge hommikuse eine, kell oli umbes viie paiku, ent väljas valitses veel täielik kottpimedus. Alles poole kuus ajal hakkas taevasse kerge kuma tekkima, ning võisime näha ka linna ja seda ümbritsevaid mägesid. Et mitte aega kasutult surnuks lüüa, siis jalutasime piki kaldapromenaadi edasi ida poole, kus asuvad Nice'i vanalinn ja sadam. Imetlesime tükk aega veel Vahemere sina ning seejärel sukeldusime vanalinna kitsastesse tänavatesse. Avastasime seal ühe jalakäijate terrassi, mis kõrgus all ristlevate tänavate kohal, kus sõitsid autod ning polnud üldse huvitav. Terrass oli ise mitmetasemeline, ning seal kasvas palju igasuguseid taimi, mis kõik meile võõrad ja lõunamaised tundusid. Eks

Nizza kivine rand päevasel ajal

see koht oligi vist mõeldud ka iluaiana kasutamiseks, kuhu on hea hommikul kogu perega jalutama tulla. Meiegi promeneerisime seal tükk aega ning imetlesime seda kenadust. Muide, ka seal oli palju magavaid Nice'i külalisi, nii telkidega kui ka ilma.

Lõpuks oli aeg nii kaugel, et tuli suunduda täitma meie tegelikku missiooni – randa; ujuma, päevitama ja kenasid vaatepilte nautima. Seda me ka otsekohe tegime. Et aeg oli üsna varajane, siis olime peaaegu esimesed pääsukesed, kes üldse randa jõudsid. Loomulikult olid seal juba mõned inimesed, kes meres sulistasid ja varahommikust päikest endale ihu peale lasid paista. Muide, sel ajal oli Nice'is haruldaselt palju vene keelt kõnelevaid turiste, ka nemad olid juba varakult mererannas platsis.

Üks eripära, mis sealseid randu iseloomustas, oli see, et tervel rannal ei olnud mitte ühtegi riietevahetamise putkat, nii et kõik riided pidi kas juba seljas olema või siis pidi neid vahetama lihtsalt rannal, laskmata end häirida kaassuvitajate huvitatud pilkudest. Peab mainima, et enamus sealsetest inimestest kasutas just seda viimast meetodit. Muidugi, kui aeg tasapisi juba keskpäeva hakkas kalduma, tekkis rannakivikestele (ei saa ju öelda, et rannaliivale, sest liiva ju polnud!) üha rohkem ja rohkem äärmiselt huvitavaid objekte – ilma „ülemise pooleta" päevitavaid naisterahvaid. See oli omaette kool naisterahva

rindade võimalike kujude, suuruste, värvi ja muu säärase tundmaõppimiseks. Mõlemad mägerid leidsid selle kooli õppetunnid vägagi huvitavad olevat ning nii see aeg siis rannal kulus, vahetevahel Vahemere soolases vees ujudes, päevitades ja, kuna öist und jäi väheseks, siis ka pisikeste siestade[9] läbiviimiseks. Viimastega tuli aga ettevaatlik olla, et end mitte päikese käes ära kõrvetada, selle vastu olime aga ettenägelikult päikesekaitsekreemi kaasa võtnud. See aitas, tõepoolest ta tegi seda.

Kui rannas peesitamisest küll sai ning tekkis tahtmine ka muude eesmärkide poole püüelda, korjasime oma kodinad kokku ja otsustasime järgmiseks Monaco Vürstiriigi poole sammuma hakata. Kuna väljas valitses tol hetkel tõesti troopiline palavus, siis oli tänavatel kõndimine väga raske ja vaevaline tegevus. Jõudsime oma kõndimisjärjega Nice'i sadamani, kui äkki märkasime ühte bussipeatuse viita, mis seletas, et seda vahemaad on võimalik ka bussiga läbida, ning et viimane üsna pea ka saabub. Ega siis midagi, asi oli otsustatud. õige pea buss ka tuli ning me ostsime piletid Monte-Carlo'ni, mis teadupärast on Monaco tuntuim kasiino. Piletite hind polnud üldse kallis, ainult 17.50 franki, kusjuures tagasisõit sama päeva jooksul oli tasuta. See oli ütlemata meeldiv võimalus käia ära ka sellises eksootilises paigas.

Bussiaknast avanesid suurepärased vaated Vahemere rannikule, me nautisime seda sõitu väga. Peale umbes pooletunnilist sõitu olime tegelikult kohal, ent me ei tundnud oma peatust ära, sest selle nimi polnud mitte Monte-Carlo, vaid lihtsalt Casino. Seetõttu me edasi põrutasimegi, ning avastasime oma vea alles siis, kui olime juba üsna tükk maad Cap d'Ail'ist ida pool, Cap St. Martinil. Bussi sihtkohaks oli Mentoni-nimeline linnake, see asub juba üsna Itaalia piiri ääres. Me siiski lõpuni ei sõitnud, vaid astusime maha arvatavasti umbes paar peatust enne Mentoni. Siis keerasime oma ninad jälle lääne poole, ning alustasime jalgsimatka tagasi, Monaco suunas. Tegime ka päris palju pilte vaatega merele, ning saime hulganisti positiivseid emotsioone sealse looduse ilust.

Jalutuskäik Monacosse võttis tubli tunni, ning et aeg oli juba üsna hiline, pidime kiirustama, et veel viimase Nice'i bussi peale jõuda. Monaco algas, nagu ka enne, bussiga sõites, märkamatult, sellest võis aru saada ainult selle järgi, et majade paiknemistihedus muutus äkitselt tihedast erakordselt tihedaks ning samuti hakkas üha tihedamini vastu ja mööda sõitma Monaco numbrimärgiga autosid.

Me vaatasime Monacos päris tükk aega ringi, samuti käisime ära maailmakuulsa Monte-Carlo kasiino juures, millest me ennist nii põlglikult mööda olime sõitnud. Tegime seal paar pilti ning jätkasime oma teekonda, et näha võimalikult palju.

Kuna bussi aeg hakkas ohtlikult lähenema, siis otsisime ühe kohaliku sandarmi abiga üles lähima bussipeatuse ning, vaevalt viie minuti pärast olimegi juba tagasiteel Nice'i. Nüüd, kus juba hämarduma hakkas, ei paistnud bussiaknast enam suurt midagi, nii et päevane väsimus võttis uuesti võimust ning uni murdis tugevalt. Nice'i kohale jõudsime kuidagi ootamatult, ning bussist välja astunud, otsustasime niipea kui võimalik magama minna, sest õhtupoole oli veel soe, siis oli võimalik magada, ja toetudes meie kogemustele, ei lootnudki me hommikupoole ööd enam sõba silmale saada. Enne randa uinuma minekut astuti veel läbi McDonalds'i hamburgerirestoranist ning võeti kehakinnituseks üks McXimum, mis, nagu me üllatusega pidime tõdema, polnudki kallim kui näiteks Grenoble'is – 30 franki.

[9] See on puhkus peale fiestat.

Peale kosutavat einet siirdusime otsekohe magama, ning seekord olime targemad – tõstsime oma toolid kohe seina äärde, et rahulikult puhata. Ent asend oli tõesti äärmiselt ebamugav korralikuks puhkuseks, ning tuli midagi väja mõelda, et vähemalt paariks tunnikski silm looja saada. See mõte tuli ruttu – nimelt olid need toolid seljatugedega, kuid seljatoe ja toolipõhja vahele jäi veel piisavalt ruumi, et sealt läbi pugeda. Panime siis mitu tooli ritta (mulle oli vaja neli, Eerole piisas kolmestki) ning pugesime siis oma improviseeritud asemetele. Pea alla polnud ka midagi panna peale väikese käterätiku, sest suured linad olime jätnud koju, et võimalikult vähe kraami kaasas oleks. Muidugi, me olime vahepeal avastanud, et väga kasulik asi sooja saamiseks on ajaleht, kui see endale peale laotada. Probleem oli vaid selles, et meil polnud tol hetkel parasjagu ühtegi ajalehte käepärast ja nii tuligi ilma tekita magada.

Sel ööl algasid üllatused juba märksa varem, kusagil kella kolme ajal. Ma tundsin äkitselt, et nagu hakkaks kerget vihma tibutama, ning mõtlesin meelehärmiga, et kas tõesti peame homse päeva vihma käes ligunema. Pikapeale hakkas „vihm“ järjest tugevnema, ning tundus kuidagi ebaloomulik olevat. Järgmine mõte oli, et keegi teeb meiega halba nalja. Siis tõusin ma üles, et olukorda lähemalt hinnata, ning selle vaatluse tulemusena selgus, et va tänavapesija oli oma veevoolikuga üles promenaadile vehkima tulnud ja nüüd siis jaotas seda kunstvihma lahkesti meilegi. Sellise äratuse peale oli uni otsekui peoga pühitud, ning me suundusime juba tuttavasse parki Casino Ruhl'i kõrval. Et parasjagu midagi muud paremat teha ei olnud, otsustasime, et võtame kerge eine, et endid pisutki kosutada. Eine oli väga ajakohane, sest siis, nagu selgus, tuli ka uni kohe tagasi, ning me võtsime sisse horisontaalasendi pargipinkidel. Eero oli endale kusagilt ühe ajalehe leidnud ja kasutas seda tekina. Ma siis võtsin oma vana hea käterätiku ja panin selle endale pea alla, samal ajal kui peale võtta ei olnud midagi. Ma ei oska öelda, kas oli see öö soojem kui eelmine, ent vähemalt polnud enam nii külm, ja pargipink on ju üsna mugav ase võrreldes rannakividega, millest mõni sulle alati ribidesse surub, ning lihtsalt tooliga, millel istudes tagumik haigeks kipub jääma. Nii et uni tuli hea.

Ärkasin üles selle peale, et prügivedajad hakkasid oma prügikastidega kolistama. Tegelikult tuletasid nad mulle sellega lihtsalt meelde, et aeg on külge keerata. Ja tõepoolest, üks külg tunduski kuidagi haige olevat, ja see oli muidugi ühtlasi ka alumine külg. Ega peale seda kolistamist enam õiget und ei tulnudki, pigem oli asi lihtsalt pikas ärkamises, nagu see üliõpilastel ikka kombeks on. Kui me end lõpuks üles ajasime, oli juba suur valge väljas ning kell juba seitse läbi. Asusime viivitamatult oma kultuuriprogrammi teise osa juurde – meil oli ju veel käimata sellises tuntud kohas nagu Cannes. Arvasime, et ka sinna on võimalik bussiga sõita, ja me ei eksinud mitte. Polnudki vaja kuigi kaua astuda, kui ühes bussipeatuses võis näha liini Nice-Cannes sõiduplaani. Et esimese bussini oli veel peaaegu tund aega, otsustasime ühe peatusevahe veel jala marssida. Me ei pidanud oma otsust kahetsema, sest nägime veel palju põnevaid ehitisi ja ilusaid parke.

Bussisõit Cannes'i osutus pisut kallimaks kui eelmisel õhtul sõit Monacosse. Seekord öeldi piletihinnaks 28 franki. Aga ega see ka ei tapnud, ostsime oma piletid ja vajusime mõnusatesse istmetesse. Ma ei oska nüüd öelda, kas oli selle põhjuseks suur mugavus, võrreldes meie ööbimiskohtadega, või siis meie suur väsimus, ent me magasime vähemalt poole Cannes'i teest lihtsalt maha. Siiski, ma olin ärkvel, kui buss sõitis läbi sellisest nimekast kohast nagu Antibes. Seal ma tegin paar pilti läbi bussiakna.

Cannes'is maandusime uue sadama juures ning asusime otsemaid teele ranna poole, sest Cannes'i plaazh on ju teatavasti liivane. Plaazhi ei tulnudki kuigi kaua otsida, sest see oli üpriski lähedal, kohe sadama kõrval. Et sobivat peesitamispaika välja valida, astusime veidi maad piki randa edasi, ning üsna pea leidsime koha, mis tundus rannamõnude maitsmiseks vägagi sobilik olevat.

Paar tundi ujunud ja päevitanud, selgus, et me olime oma valikuga pisut mööda pannud, ning sellele plaazhi osale kogunesid peamiselt vanaemade-vanaisade eas ontlikud ja veidi rasvunud kodanikud. Kannatasime nende seltskonda pisut aega, ent viimaks muutus olukord täiesti talumatuks, ning viimaks korjasime oma kodinad kokku ja liikusime sadakond meetrit edasi. See oli juba parem koht, sest seltskond, kes seal viibis, oli märksa noorem ja meeldivam. Seadsime siis end jälle liivale sisse ja asusime põhitegevuste juurde. Kui ujumine, päevitamine ja naisterahvastest kaassuvitajate uurimine ära tüütama hakkasid, otsustasime oma seiklusrikast teekonda jätkata. Selle otsuse tegime küll endalegi üllatuseks täiesti õigel ajal, sest üsna kohe peale seda, kui me olime rannalt lahkunud ja jalutasime edasi ida suunas, et vaadata ka vana sadamat, tõusis tuul ning vihma hakkas sadama. See oli üks selline keskmine seenevihm, ent sellest piisas, et mitme kilomeetri pikkust plaazhi korraga rahvast puhtaks teha. Meie aga ei lasknud end millestki häirida ja jalutasime tasakesi oma eesmärgi, vana sadama poole edasi.

Jõudnud kallimasse linnajakku, kus rannal seisavad reas nelja ja enama tärniga hotellid, jäi ka vihm järele ning me saime teha paar suurepärast pilti Cannes'i plaazhist ja ka vikerkaarest, mis mere kohal kõrgus. Ja muidugi oli jälle kätte jõudnud einestamise aeg. Sõime siis oma viimaseid konserve ja nautisime vaadet, mis avanes lähedalasuvale vanaaegsele lossile, kus praegu arvatavasti asub mingi muuseum.

Meie rada viis nüüd ikka üha ida poole, ning korraks tekkis isegi hullumeelne idee hääletada Marseille'isse, ent need inimesed, kellel on vähegi aimu Prantsusmaa geograafiast, oleksid selle mõtte kindlasti maha laitnud, sest Cannes'i ja Marseille' vahemaa on umbes 180 kilomeetrit. Idee iseeneset polnudki kuigi halb, kuid me tahtsime hääletada piki rannikut, kuid seal on ainult kitsas mägitee, ning seal hääletamine on tõepoolest väga raske, nagu seda näitasid ka meie eelnevad kogemused. Teine võimalus oleks olnud hääletada kiirtee pealesõidutee ääres, ent siis poleks me vist suurt midagi näinud. Enne teeleasumist aga tegime väikese tiiru Cannes'i vanalinnas, mis asub sealsamas vana sadama läheduses. Seejärel asusime asja juurde.

Esimesed paar kilomeetrit Saint-Raphaël'i poole oli hääletamine täiesti võimatu, sest tee oli väga kitsas ning nähtavus piirdus enamasti järgmise kaljunurgaga, mis reeglina teps mitte kaugel ei olnud. Ka selles kandis oli kena rannajoon, ning kaljud olid seal punast värvi, samal ajal kui Nice'is olid nad kollakaspruunid. Seekord vedas meil üsna kõvasti, sest üks auto ootas võimalust tagasipööramiseks, kuid kitsal teel on see lausa võimatu. See armas Prantsuse paarike sõidutas meid edasi lähima tagasipöördekoha¬ni, ning soovitas seal edasi hääletada. Umbes kolme minuti pärast peatuski üks auto, ning see härrasmees toimetas meid tubli tüki maad edasi, kohta, mille nimi on Agay. Seal on väga kena rand, ning rahvas tegeles seal oma mootorpaatide vettelaskmisega, mida oli põnev vaadata, kuid kindlasti oleks palju põnevam taolist sõiduriista ise omada. Meie aga jalutasime edasi, kuni jõudsime ühe poekese ette, kus seisis päris rohkesti autosid, ning me uurisime igaühelt, kes ära sõitma hakkas, ega ta juhuslikult Saint-Raphaël'i poole ei sõida. Kah-

juks selliseid isikuid seal polnud, kes pööras tagasi Cannes'i poole, kes osutus kohalikuks elanikuks. Vahetpidamata tõstsime ka käppa, et mitte oma šansse maha magada. Lõpuks naeratas meile ka õnn, ning me saime ühe noore elektroonikuga oma sihtkohta. Vestlus temaga oli üsna põnev, sest ka tema oli ju meie elukutse esindaja. Temalt uurisime ka, et Saint-Raphaël'is on olemas ka rongijaam, kust on võimalik mitmele poole edasi sõita.

Ka Saint-Raphaël asub mere ääres, ent oli juba liialt pime, et rannajoont eristada. Selle asemel oli sealsamas, ranna ääres täika moodi turg, kust võis osta igasugust pudi-padi, lasta oma nime riisiterale graveerida, karusselliga sõita ja palju muudki teha. Täika ulatus arvatavasti paarisaja meetri ulatuses piki merekallast, õigemini küll kaldapealset. Selle otsast otsani läbi jalutanud, otsustasime ka selle raudteejaama üles otsida. See osutus ütlemata lihtsaks, sest leidsime ühest kohast Saint-Raphaël'i kaardi, ning juba harjunud kiiresti orienteeruma, ei tekkinud ka seekord probleeme õige koha ülesleidmisega. Raudteejaamas uurisime sõiduplaani ning tõdesime rõõmuga, et paarikümne minuti pärast on minemas üks rong Genfi, kuid mis oletatavasti sõidab ka läbi Grenoble'i. Seda sai kassiiri juurest kohe järgi kuulatud ning tema vastus oli positiivne. Otsemaid said ostetud piletid Grenoble'isse, Eerole see algul sugugi ei meeldinud, ning ta kirtsutas tükk aega nina, ent lõpuks võttis siiski aru pähe ning tunnistas endale, et meie toonane olukord oli siiski üsna lootusetu, just autostop – transpordi seisukohast.

No sedasi, polegi enam palju jutustada jäänud. Arvatavasti pole kuigi huvitav lugeda, kuidas me öisel Prantsusmaal rongiga pika tiiru tegime, et meie reis kulges läbi Marseille', Avignon'i ja Valence'i, ning et me jõudsime Grenoble'isse kohale veidi enne kella viit hommikul, et meil oli kole külm, kui me rongist maha tulime, kuid nagu hiljem selgus, oli õhus 18 kraadi sooja [!?],. ning et me umbes poole kuue ajal Houille Blanche'i jõudsime ja peale duši all käimist kohe magama viskasime. Selline oli siis mägerite veidi hullumeelne reis Prantsusmaa lõunarannikule, mida tuntakse ka Prantsuse Riviera nime all, kuid mida peaaegu kõik tunnevad Côte d'Azur'ina.

Vaba semester Prantsusmaal – 1998[10]

Grenoble, 27. jaanuar 1998

Proloog. Olles valitud sellel kevadsemestril kahte Prantsusmaa ülikooli külalisprofessoriks, tuli aeg maha võtta koduülikooli tegemiste suhtes. Kuid kas niisugune aja mahavõtmine ühel õppejõul, kes tihedalt oma uurimisgrupiga töötab, üldse võimalik on? Formaalselt küll, tuleb vaid kantsleri nimele avaldus kirjutada ja õppesemester kuulutatakse käskkirjaga vabaks. Õppetöögagi saab ehk hakkama, mu diagnostikaloenguid peab tänavu kolleeg dotsent **Teet Evartson**. Aga koostööd oma magistrantide ja doktorantidega mitmete uurimisprojektide raames ei saa seisatada, sest „isegi et teaduses paigal püsida, tuleb kiiremini joosta kui võimalik". Õnneks on aga olemas internet ja faks, mis kaotavad geograafilised piirid ja läbipaistmatud seinad.

Ärasõit. On väga varane jaanuarihommik. Nii varajane, et Hyundai dispetsher magab mu tellimuse maha ja taksot ei tulegi. Jõuan siiski õigeks ajaks lennujaama. On aga ikka veel nii vara, et unine käsipakikontroll mu reisikotti kiiritades ei viitsigi vaadata, kas

[10] Käesolev reisikiri on avaldatud TTÜ väljaandes „Tehnikaülikool" artiklite sarjana: Raimund Ubar „Vaba semester Prantsusmaal 1-6", Nr. 3-11, 1998.

arvuti selles kotis on ikka arvuti, ja kas suupill selle kõrval pole äkki püstol... Lend Helsingist Pariisi raputab kõvasti, aga pits konjakit kohvi kõrvale viib ebameeldiva rahutuse ja kiikumine hakkab isegi meeldima.

Pariis. Siin on muru juba (või ikka) roheline, inimesed on suviselt riides. Sõidan elektrirongiga Pariisi Gare de Lyon'i raudteevaksalisse. Vagunisse astub kaks väikest mustlast. Kümne aastane poisike toetab end vastu rongiust ja tõmbab akordionil lausa virtuoosliкult hääled valla. Ta õeke käib ringi ja kogub raha. Järgmises peatuses vahetavad nad vaguni... Ostan pileti Grenoble'i. Reeglid on uued, edasi-tagasi pilet ei annagi enam ökonoomiat ühe otsa kaupa ostmisega võrreldes. Perroonil tegutseb „kärupaaritaja": kui kaks üksikut pakikäru keti abil „paari panna", siis kukub avausest 10 franki (see, mille äsjane kasutaja kärusse oli jätnud). Hea teenistus (24 krooni), palju kopsakam, kui meie geoloogid pudelite pealt kokku saavad.

Grenoble. Seitsesada kilomeetrit Pariisist Grenoble'i kulub kolme tunniga. Pariis-Lyon'i eriti kiirel lõigul kihutab TGV („Train Grande Vitesse" ehk ülikiire rong) 300 km tunnis. Ei mingit rappumist, ei mingit lärmi. Mugav. Palju õhku, ehkki rong on täis ja ei ühtki vaba kohta. Grenoble'is võetakse mind jaamas vastu – need on mu kaks hiljutist doktoranti **Helena Krupnova** ja **Sergei Storožev**, kes nüüd Prantsusmaal töötavad. Aga minul kui TTÜ professoril tuleb peatselt aru anda, miks ma doktoreid ei kasvata. Helena töötab just selles laboris, kuhu ma nüüd ka ise tööle lähen. Sügisel kaitseb ta eeldatavasti oma doktorikraadi, aga temast saab prantsuse doktor. Sergei alustas samast laborist, aga on nüüd maailmakuulsas USA firmas MINC juhtiv insener. Ta töötab siin samas Grenoble'is firma esinduses ja tema ülesandeks on levitada firma tarkvaratoodangut Skandinaavia maades. Mu endised õpilased panid mu trammi peale ja ruttasid tagasi tööle – koosolekutele, nagu nad ütlesid. Kell oli ju alles (!) kuus õhtul, edukates Lääne firmades nii vara koju ei pääse.

Ühiselamu. Asun elama tudengite ühiselamusse Houille Blanche'i. Mu tuba on väike ja askeetlik, aga armas. Kraanikausiga, lauaga, tooliga ja taburetiga. Üür 4000 krooni kuus. Pisut külm on. Otsin radiaatorit, aga ei leia. Tuleb välja, et kütmine polegi ette nähtud. Ikkagi lõunamaa. Ja kapis on külmemate päevade jaoks varuks kaks tekki... Praegu ongi külmad ajad, veeloigud tänaval olid jääkirmes. Käterätti pole. Linadki sain justkui armust – küsiti, kas mul endal kaasas pole. Aga aknast avaneb homme hommikul kindlasti imekaunis vaade Belledonne'I mäeahelikule. Kusagil seal on ka Mont Blanc.

Pank. Järgmine päev kulub asjaajamistele. Avan näiteks arve pangas. Ametnik räägib prantsuse keeles, mina inglise keeles, aru saame teineteisest aga vastavalt vastupidistes keeltes. Mitmeid pabereid on vaja tõendamaks, et olen isik, kellega tasub jännata. Kahekuisest turismiviisast mu passis selleks ei piisa. Prantsuse bürokraatia on karm, aga samas ollakse väga operatiivsed. Näiteks selle asemel, et mind saata ühiselamusse tagasi elukohatõendi järele, helistab pangaametnik ise ühiselamusse ja palub tõendi panka faksida. Saan kaks arvet, üks on „normaalne" (intressita), mida saan kaardiga käsutada, teine – intressiga arve. Suvalisi summasid saab kergesti ühelt arvelt teisele kanda, tuleb vaid panka helistada, oma kood telefoni klaviatuuri abil edastada ja soov üles öelda. Telefoniliin on 24 tundi päevas selleks avatud.

Tramm. Pangast sõidan trammiga campusesse. Mu vastu pingile istub maha nägus tüdruk. Hetk hiljem muutub ta rahutuks, tõuseb püsti, tahab justkui välja minna ja tuleb siis

uuesti tagasi. Trammis olid piletikontrollid. Mõtlesin: see tüdruk jääb vist vahele. Kontrollid on ilusas sinimustas vormiriietuses (sama värvi kui trammid ja bussidki Grenoble'is) ning hästi äratuntavad. Aga jänesele pole sellest abi, jäneste püüdmise tehnika on siin hästi välja töötatud. Trammi peatusse jõudes blokeeritakse kõigepealt uksed, mitte keegi ei saa ilma piletita välja. Trammil on neli ust, iga ukse juures kaks kontrolli. Kui tramm jälle liikuma hakkab, algab töö vagunis. Tervelt kolme ukse juures on troppis jäneseid lõksu jäänud. Aga neid on veelgi rohkem, ülejäänud ootavad resigneerunult oma möödapääsmatut saatust kohapeal. Jah, ka minu vastas istuv neiu naeratab häbelikult ja ütleb, et piletit pole. Küsitakse passi. Edasi läheb kui konveieril, kes näitab piletit, kes passi...

Raha. Jäneseid oli palju, põhiliselt neegrid ja tudengid, mõni ehk korraga neeger ja tudeng. See on campuse liin ja teadagi pole tudengil palju raha. Transpordi pealt aga saab hästi kokku hoida – pilet on kallis. Kuupilet (meie rahas) maksab näiteks – 600 kooni, üksikpilet – 17 krooni... Raha kokkuhoidmise viise on muidugi ka teisi. Üks tuneeslane, mu praegune kolleeg, rääkis, et tema tudengiks olemise aegu kleebiti poes konservidele odavamaid hinnalipikuid külge, millega siis kassast läbi mindi ja hulgaliselt franke säästeti. Selles omaalgatuslikus hinnaalanduses ei tohtinud vaid ahneks minna...

Selle üle, kas labori teadus on maailmatasemel, otsustatakse maailma tippkonverentsidel, kuhu ettekandega pääsetakse läbi tiheda konkursisõela. Pildil Euroopa Testikonverentsi programmikomitee istung Montpellier's, kus valitakse välja väärikamad artiklid. Vasakult Bernd Becker Freiburgist, Christian Landrault Montpellier'st, Paolo Prinetto Torinost, Bashir Al-Hashimi Southamptonist, Erik Jan Marinissen Hollandist...

Madame Saucier. Asun tööle Grenoble'i Rahvuslikku Polütehnilisse Instituuti, laborisse, mille nimeks on Integreeritud süsteemide disain (*Conception de Systemes Integres*). Labori juhatajaks on maailmas väga tuntud teadlane – Madam Saucier. Just nõnda teda kutsutaksegi mujal Euroopas – madaam. Laboris aga on ta lähemate töökaaslaste jaoks – **Gabrielle**, doktorantidele – Professor Saucier. Labor on siin meie mõistes instituut. Õppetoole pole. Laborijuhataja on kuningas. Tal on võim ja rahad. Aga ka vastutus: ta peab olema võimeline ülikooli raha sisse tooma ja labori teadust maailmatasemel hoidma.

Kõik laborijuhatajad on selles ülikoolis maailmanimed... Laboris töötab *ca* 30 inimest. Enamus insenere, teadureid ja doktorante on mitteprantslased, enamasti arengumaadest Tuneesiast, Alzheeriast, Liibanonist, Argentiinast, Eestist... Prantslased otsivad pärast stuudiumi lõpetamist tasuvamat tööd väljaspoolt ülikooli, tööstusest, Ameerikast. Ega Eestiski pole noorem põlvkond eriti vaimustatud ülikoolikarjäärist. Aga kust peaks küll Eesti leidma ülikoolikaadri noorendamiseks oma „Aafrika"?

Grenoble, 3. veebruar 1998

Keel. Elamine sisse siinsesse keskkonda ei lähe ladusalt, kui ei räägi prantsuse keelt. Nii ma siis ehitangi püüdlikult lauseid oma 200-st prantsuse sõnast koosneva legoklotsi-

komplekti najal. Lähen välismaalaste registreerimise osakonda dokumendi järele ja ütlen: „Käisin teie juures järgmisel esmaspäeval...“. Ent prantslane ei naera niisuguse vääratuse puhul. Võidad hoopis ta südame, sest oma püüdlusega tema keelt rääkida näitad austust tema maa ja rahva vastu. Ja keelt õpib ju üksnes praktiseerides. Mingi baas peab aga siiski olema. Muidu juhtub nii nagu võõramaalasel, kes oskas vaid kahte sõna. Kui tal reisikotti aidati võtta, ütles ta „bonjour“, ja kui teda tervitati, vastas ta „merci“. Bussis või järjekorras, tänaval või mägedes jalutades kuulan walkman'iga prantsusekeelseid õppetekste või päevauudiseid. Poes, jaamas, ministeeriumis või politseis, isegi polikliinikus ja apteegis leiad harva kellegi, kes inglise keelt räägib, ja siis lõikadki kassetikuulamise vilju.

Tsirkulaarid. Tööpäev madam Saucier' laboris algab kell üheksa. Arvutivõrgu kaudu läheb hommikul laiali elektroonne tsirkulaar. Esimene, mida juhtun lugema, meenutab kõigile: „Kes hiljem kui veerand 10 tööle jõuab, võlgneb juhatajale seletuse“. Järgmisel päeval on tsirkulaar konkreetsem, käskides kõigil peale üheksat tõõle ilmunuil juhatajat „vaatama minna“ (just niiviisi see kõlaski otsetõlkes). Prantsuse keeles suheldes väljendutakse äärmiselt viisakalt ja delikaatselt, ametlikud kirjad on tulvil lugupidamisavaldusi... Hommikustes tsirkulaarides on fikseeritud labori päevaprogramm – koosolekute loetelu kellaaegade ja kestustega, vahel agendaga, kus on ära märgitud, kes millest räägib. Tsirkulaarides jagatakse ka kaugemale ulatuvaid korraldusi. Näiteks niisugusi: „Meil on kogunenud palju ainet selles küsimuses. Palun Ali'l ja Bobby'l vastutada selleks konverentsiks kahe ettekande kirjutamise eest.“ Tsirkulaaride kaudu saavad kõik teada kõigest, mis laboris toimub.

Distsipliin. Miks jälgib prof. Saucier nii kiivalt tööle hilinemisi? Peaks ju teadlane vaba olema oma aega jaotama. Inspiratsioon pole ju dirigeeritav... Aga mis on teadus tänapäeval? Mis on vabadus? Ja mis on inspiratsioon? Teadus on üha enam muutumas kollektiivseks tegevuseks. Ka siinse labori töötajad on oma töölõikude kaudu üksteisega tihedalt seotud. Sõltumatuid uurijaid pole, seega pole ka sõltumatust (loe: vabadust). Labor on allutatud professori ideele. Professorit ei huvita see, mis pole tema eesmärkidega seotud. Ta ei talu vasturääkimist. Tema vastutab ja vastutust ta ei delegeeri. Kui ta seda teeks, poleks enam tema juhataja. Teaduslabori juhatamine ei ole ainult administreerimine... Uurimistöö ülesanded on detailideni laiali jagatud, detailid aga üksteisest sõltuvad. See sõltuvus välistabki, et laborisse võiks tulla ja minna, millal süda ihaldab... Inspiratsioon on probleemiks siis, kui oled individuaalne uitaja, kel ise tuleb ennast sundida. Kollektiivis, kus sina teistest ja teised sinust sõltuvad, oled sa nagu parv keset jõevoolu, mis inspiratsioonitagi kaasa läheb. Ja ülemaks kui inspiratsioon, tuleb kohusetunnet pidada.

Katsumus. Preisilik distsipliin madam Saucier' laboris ei sobi nagu kokku rõõmsa ja kergemeelse Prantsusmaaga. On ju prantslasel igaks juhtumiks pidu olemas: kas veinipidu Burgundias või lavandlipidu Provence'is, juustupidu Champagne'is või lillepidu Antibes'is, roosipidu Grasse'is või kalapidu Korsikal, sidruniõiepidu Mentonis või hapukapsapidu Elsassis... Distsipliini ja kohusetunde poolest oleks tuntud nagu rohkem sakslased. Aga ometi tean lugu, kus just ühel saksa doktorandil pidanud närv Saucier' laboris vastu kõigest neli nädalat, mispeale see doktorant võtnud pambud ning kolinud dissertatsiooni kirjutama tagasi teisele poole Elsassi.... Ka minul seisavad nüüd ees kaks kuud laboris, kus tööpäev algab kell üheksa.

Tööpinge. Joan on rumeenlane, kes selles samas laboris 70-ndate keskel kaitses doktoritöö ja seejärel 15 aastat Bukarestis oma kodumaad teenis. Piiride avanemisel naasis ta

Prantsusmaale, töötas mõnda aega Saucier' juures ja läks siis parema teenistuse jahil USA firmasse MINC. Tööpinge muutumist oma karjääri vältel, tulenevalt vastutuse iseloomust, kirjeldab ta järgnevalt. Rumeenia uurimisinstituudis vastutust polnud ja seetõttu ei olnud ka pinget. Saucier' akadeemias lisandus küll distsipliin „ülalt", aga tõelist vastutust ka ei tunnetanud, sest seda ei delegeeritud (teadust paberil aga annab alati kuidagimoodi „ära vastutada") ja seepärast ka pinge polnud suur, ehkki mitte võrreldav lauspriiusega Rumeenias. Töö firmas MINC olevat aga hoopis midagi muud – sellist pinget pole tal varem kunagi olnud. Mitte distsipliin pole see, mis pressi peale paneb, vaid delegeeritud konkreetne vastutus. Ja see loob ise distsipliini. Distsipliini „altpoolt".

Alaväärsuskompleks. Aga ometigi ei tee ei tööandja surve ega distsipliin Prantsusmaast veel Ameerika. Helena, kes mind jaamas vastu oli võtnud, jutustas, et on tundnud kaks korda oma elus alaväärsuskompleksi. Esimene kord oli kolm aastat tagasi, kui ta Eestist Prantsusmaale asus, ja teine kord möödunud suvel, kui ta Prantsusmaalt Ameerikasse konverentsile sõitis. Olgu see siis konverentsi mastaapsus ja üldine korraldus, ettekannete slaidide kvaliteet või ettekannete seos tõeliselt praktiliste ja oluliste probleemidega – kõiges oli prantslastel palju ameeriklastelt õppida. Konverentsi eesmärgiks oli – panna tööstust huvituma teadusest. Ja seda ameeriklased teha ka mõistsid. Euroopas on teadus vana maailma traditsioonide kohaselt akadeemiline ja reaalset elu vältida püüdev. Seda hoiakut püüab nüüd Euroopa Liit oma teadusprogrammide (ESPRIT) kaudu murda, nõudes projektidelt tugevamat seost tööstusega. Ja teadus, eriti tehnikateadus on ka Euroopas nüüd muutumas üha praktilisemaks. Vaba teaduse jaoks jääb üha vähem raha, sest riikide huvides on rakendada kogu oma teadlaspotentsiaal paremate positsioonide haaramiseks innovatsiooni maailmasõjas.

Sünnipäev. Tuneeslane Ali teatab mulle laboris ühel päeval, et tal oleks au mind nädala lõpul õhtusöögile kutsuda – Julial, tema abikaasal, olevat sünnipäev. Julia on samuti mu endine, aga samas ka mu praegune doktorant. Endine selles mõttes, et ta alustas Tallinnas, praegune aga selles mõttes, et kahe ülikooli koostöölepingu järgi on tal kaks juhendajat (*cotutelle*), üks Grenoble'ist, teine Tallinnast... Sünnipäevale tuleb ka Helena oma abikaasa – rumeenlasest Joaniga. Nii väike ongi maailm, taas istun kahe endise õpilasega laua taga, nagu polekski kolme aastat vahepeal olnud, ja jälle räägime projektijuttu – prantsuse projektijuttu. Pärast kerget aperitiivi läheme kööki, istume teise lauda ja Julia kannab ette (algul teesidena, seejärel praktikas) peoprogrammi: eelroaks (ehk *comme hors-d'oeuvre*) – kalamari ning krevetid, seejärel salat (*endives*) õlis, sinepiga segatud ja pähkliga üle puistatud, pearoaks (ehk *comme plat principal*) – praetud kala riisi ja Ali tehtud hästi vürtsika tuneesia kastmega, siis traditsiooniline juustu assortii, poekook ja lõpuks puuvili. Muusikat ei olnud, kaks nädalat tagasi oli kogu CD kollektsioon läbi rõduukse ära viidud.

Ootamatu kohtumine ühel konverentsil Helenaga, kes meilt Prantsusmaale tööle ja edasi õppima oli siirdunud, ning kes on seal nüüd edukat karjääri teinud

Grenoble, 9. veebruar 1998

Mille poolest erinevad akadeemiline haridus ja tehnikakõrgharidus? Akadeemiku käes masin ei tööta, kuid akadeemik oskab seletada, miks masin ei tööta. Inseneri käes masin töötab, aga insener ei oska hästi seletada, miks masin töötab. Kui need mõlemad haridused kokku panna, siis masin ei tööta ja pole kedagi enam, kes seletaks, miks masin ei tööta... Millise haridusega diplomiomanikke peaks Tallinna Tehnikaülikool kasvatama? Alljärgnevalt mõned muljed Prantsuse haridus- ja teadussüsteemist.

Tehnikakõrgkool. Pärast keskhariduse kättesaamist (bakalaureuseks tunnistamist) on noorel, kes on huvitatud tehnikakõrgharidusest, valida kahe võimaluse vahel: akadeemiline haridus ülikoolist või inseneriharidus tehnikakõrgkoolist. Tehnikaülikoolidele pandi Prantsusmaal alus õigupoolest postrevolutsiooniaegsel ärkamisperioodil, kui akadeemikute kõrvale oli vaja praktiliste oskustega tarku inimesi, kes oleksid võimelised sildu ja teid ehitama, auruenergiat ning elektrit rakendama. Esialgselt arvati kolmest aastast piisavat. Aga aja jooksul selgus, et üldkoolituse ja inseneerihariduse vahele oleks vaja veel ühte stuudiumi, kus saadaks insenerile vajalikud süvateadmised füüsikast ja matemaatikast. Nii kujuneski välja algul üheaastane, seejärel aga kaheaastane eelstuudium enne päris tehnikahariduse kallale asumist. Täna on selle vaheastme eesmärgiks ka õppurite sorteerimine võimete järgi ning vastavalt sellele suunamine tugevamatesse, keskmistesse või tagasihoidlikemasse tehnikakõrgkoolidesse. Tugevamate hulka kuuluvad kahtlemata École Normale Supérieure ja École Polytechnique Pariisis, aga ka Institut National Polytechnique Grenoble'is.

Karjääri valik. Tugevamate kõrgkoolide diplomid annavad suure eelistuse töökohtade saamisel, seetõttu on nendesse koolidesse suur tung ja pääseda sisse väga raske. Näiteks prestiizhikaima inseneride *alma mater*'i École Normale Supérieure'i aastane väljalase on kõigest 500 inseneri, mis rahvaarvu suhtelt tähendaks Eesti puhul eliitkooli, kus aastas saaks diplomi kõigest 12 inseneri. Nõrgematesse kõrgkoolidesse suunatavatel on tööturul vähem šansse ja sageli otsustatakse pärast kahte aastat ebaõnnestunult inseneriks pürgimist valida hoopis akadeemiline karjäär ning minna edasi õppima kolmandale kursusele ülikooli, kuhu pääseb eksamiteta.

Universitas. Erinevalt tehnikakõrgkoolidest on ülikooli võimalik astuda kohe pärast keskhariduse saamist. Konkurssi pole, piisab keskkooli lõpueksamite sooritamisest. Ülikoolides saadakse teadlasteks, tehnikuteks, õpetajateks... Alates kolmandast aastast toimub spetsialiseerumine. Joseph Fourier' Ülikooli tehnikateaduste valdkonnas näiteks spetsialiseerutakse viies suunas: matemaatika, füüsika, arvutiteadus, automaatika ja elektroonika. Ülikooliprogrammide süsteem on keeruline: on olemas kahe- kolme- nelja- ja viieaastaseid programme, mille lõpetamise järel saab vastava diplomi. Ülikoolist on võimalik minna üle ka tehnikakõrgkooli, kas pärast teist aastat esimesele kursusele (kui läbitakse edukalt eksamid) või pärast neljandat aastat teisele kursusele. Lõpetamata ülikooliharidust loetakse ekvivalentseks eelõppele, mis on vajalik tehnikakõrgkooli pääsemiseks.

Topeltvisiit. Grenoble'is on kaks Prantsusmaa tuntuimat kõrgkooli: Joseph Fourier' Ülikool (UJF), kus õpitakse teadusi, meditsiini ja tehnoloogiat, ning Institut National Polytechnique (INPG), kus haritakse kolme aasta jooksul insenere. Minul on praegu võimalus töötada kummagis kõrgkoolis kaks kuud külalisprofessorina.

Föderatsioon. INPG kujutab endast föderatsiooni üheksast insenerikoolist (meie mõistes teaduskonnast). Tema asutamisaastaks on 1901, mil loodi esimene praegustest

koolidest – Elektrotehnika Instituut. Oma praeguse nime sai INPG 1971. aastal ning tema esimeseks presidendiks oli Nobeli laureaat füüsikas Louis Néel. Need üheksa kooli on: elektrokeemia ja materialiteadus, elektroonika ja telekommunikatsioon, tööstuse juhtimine *(genie industriel*), hüdraulika ja mehaanika, elektrotehnika ja automaatika, arvutiteadus ja rakendusmatemaatika, füüsika, süsteemitehnika (*embedded systems*) ning paberi- ja trükitehnoloogia. Igal koolil on oma õpilaskond, igas koolis on võimalik õppida teatud erialasid. Mõned erialad on eri koolides lähedased, näiteks informaatikat on võimalik õppida kolmes koolis. See aga tähendab koolide omavahelist konkurentsi kontingendi pärast. INPG-s on 27 laboratooriumi, mida juhivad rahvusvaheliselt tuntud professorid, kelle hulgas on Nobeli preemia laureaate, Honoris Causa doktoreid ja Prantsuse Akadeemia liikmeid. Väikesed õppeklassid võimaldavad väga head kontakti õppejõudude ja üliõpilaste vahel. Õppetöö on tihedalt seotud tööstusega, sealt tulevad diplomitööd ja hindamiskomisjonides on tööstuse esindajad.

Infotehnoloogia. Minul on tihedam kokkupuude kahe INPG kooliga: ENSIMAG (*Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et de Mathématiques Apliquées*) ja ENSERG (*Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et de Radioélectricité*). Nimede esitähed ütlevad üsnagi selgelt, mis valdkondi nendes koolides õpetatakse. ENSIMAG'is õpitakse esimesel aastal ilma profileerumata rakendusmatemaatikat ja informaatikat. Teisel aastal profileerutakse kas matemaatika või arvutiteaduse suunas, kolmandal aastal on profileerumine detailsem. Pärast esimese aasta baasõpet on võimalus nii ENSIMAG-ist kui ka ENSERG-ist siirduda üle nn. ühiskooli ENSIMAG+ENSERG, kus on võimalik elektroonika ja arvutiteaduse baashariduse foonil pühenduda digitaalsüsteemide riistvara ja arhitektuuri õppimisele. Arvutiteaduse erialal lõpetab ENSIMAG-i aastas 150 tudengit. Võrdluseks, ka Fourier' Ülikool koolitab 200 infotehnoloogi aastas, neist 50 spetsialiseerub andmebaasidele, 80 arvutivõrkudele ja 70 tarkvara projekteerimisele. INPG ja UJF töötavad selles valdkonnas väga tihedasti koos, jagades kursusi ja laboratooriume.

Finantsallikad. Prantsusmaa kõrgkoolides eristatakse kolme tegevusala: õpetamine, uurimistöö ja teenused (rakendused). Finantsallikad on erinevad. Ülikool maksab ainult õpetamise eest, vahendades Hariduse-, Teaduse- ja Kultuuriministeeriumit. Aga ülikool valib ainult neid professoreid, kes on tuntud teadlased ja kes suudavad ka ühiskonnale teenuseid osutada, sest vaid nii tagatakse õpetamise kõrge tase ja ühiskonnavajalikkus. Teadustööd („puhast teadust") finantseerib CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*), kes allub samale ministeeriumile ja kujutab endast Eesti olude mõistes midagi Teaduste Akadeemia ning Teadusfondi vahepealset. Produktiivsuse kriteeriumiks ja finantseerimise aluseks on CNRS-le teaduspublikatsioonide rahvusvaheline tase. On olemas veel organisatsioon INRIA, kes kordineerib ning finantseerib rakendusteadusi ja arendustööd ning produktiivsuse mõõduks on siin patendid. Ja lõpuks, ülikoolis toimib ka ettevõtlus ühiskonnale teenuste osutamise näol.

CNRS teadusdirektoriks on Michel Renovell, kes oponeeris Artur Jutmani doktoritööd 2004. aastal

Sünergism. Kõik need kolm organisatsiooni jaotavad infrastruktuuri, finantse, ametikohti. Antakse sinna, kuhu tuleb ka muudest allikatest. Ressurside kasutamine on ühitatud ning optimeeritud. Tudengite ja professorite tööd (ehk ülikooli rahasid) rakendatakse CNRS-i ja INRIA eesmärkide saavutamiseks, CNRS-i toetusel tagatakse õpetuse kõrge rahvusvaheline tase, ning INRIA spondeerimisel realiseerub nii kõrghariduse kui ka „puhta teaduse" ühiskonnakasulikkus. Ülikoolis tehtavate projektide kaudu võimenduvad aga eraettevõtluse investeeringud. Omapära seisneb mitte finantsallikate paljususes, vaid finantseerimise ja vastutuse konkreetsuses. Näiteks mikroelektroonika labori TIMA direktori palk tuleb CNRS-ist, dotsent Guyot'l INPG-st, aga dotsent Amblard'il UJF-st. Igaüks teeb oma tööandjale konkreetse töö, aga tema selja taga on labor, mis tagab tema tööle kaalukuse ja võimenduse. Selles seisnebki sünergism. Direktor allub CNRS-ile, aga labor kuulub nii CNRS-i, UJF kui ka INPG struktuuridesse. Direktori käsutuses on kõigilt neilt ruumid, finantsid, inimesed. Ta kordineerib ja püüab saavutada maksimaalset tulemuslikkust iga sponsori jaoks.

Stabiilsus ja ebastabiilsus. Kui direktor suudab näidata, et tema laboris on tekkinud tulemuslikult töötav potentsiaalne õppejõud või teadur, saab ta täiendava ametikoha kas ülikoolilt (näiteks UJF-lt või INPG-lt) või CNRS-ilt. Need akadeemilised kohad on väga hinnatavad, sest need on eluaegsed. Ja direktorile kujuneb siit väga kindel ja püsiv kaader, kellele ta tugevasti toetuda saab. Ei mingeid igaastaseid sihtfinantseerimise konkursse, mis tekitaksid ebastabiilsust akadeemilises vägagi haavatavas süsteemis. Ebastabiilsus on aga olemas ka – näiteks, projektidele palgatud uurijate puhul. Siin on üheselt teada: kui lõpeb projekt, on rahad läbi ja ka ametikohaga lõpp, juhul kui uurija pole vahepeal endale uut projekti leidnud. Veeretada elu projektist projekti tekitab muidugi suurt stressi. Enamasti on aga projektidele rakendatud doktorandid, kelle töö ongi seotud kindla perioodiga. Labori teadusprojektid on seega pigem õppetöö osa kui produktsioon produktsiooni pärast. Aga see saab nii olla vaid siis, kui õppetöö tase on kõrge. Meil tagab projektide konkurentsivõime mitte õppetöö tase, vaid väljakoolitatud teadurite kaader.

Koostöö. Laborid ühinevad tihtipeale ressursikasutuse optimeerimiseks. Näiteks INPG-s on kolm arvutiteadusega tihedamalt seotud laborit ühinenud grupeeringuks, et jagada raamatukogu ning ühist arvutivõrku. INPG-s on spetsialiseeritud keskus CIME, kuhu on koondatud mikroelektroonika projekteerimise ja katsetamise keskkond – väga kallis riist- ja tarkvara, mida üksikutel laboritel oleks raske üksnes endale soetada. CIME eeskujul rajas allakirjutanu aastatel 1993-1996 Tehnikaülikoolis elektroonika kompetentsuskeskust kui endise arvuti- ja süsteemitehnika teaduskonna koostööbaasi. Aga CIME-taolise keskuse idee kukkus meie tingimustes läbi, sest finantseerimise põhimõtted meil kultiveerivad mitte koostööd ega ressursside ühitamist vaid pigem institutsionaalset individualismi.

Grenoble, 15. veebruar 1998

Teadusülikool. Tehnikakõrgkool, kus ma töötan, on tüüpiline lääne teadusülikool. Mu laborikaaslasteks on 20-30 inimest, kuid vaid mõned üksikud neist on ülikooli palgal ja otseselt seotud õppetööga. Enamus rahvast on pühendunud teadustööle, kirjutatakse doktoritööd või projektide aruandeid, ja palk, stipendiumid või grantid tulevad väljastpoolt ülikooli. Seega, ülikooli laborit ei hoia püsti mitte ülikooli eelarve, vaid eelkõige laborijuu-

hataja ja tema aktiivne tegevus finantside hankimisel väljastpoolt ülikooli. Prantsusmaal on niisugune labori omapead jätmine mõeldav, sest prantsuse tööstus on kõrgtehnoloogiline, teadusmahukas, ja seega otseselt huvitatud koostööst ülikoolidega. Aga professorite orienteeritus tööstusele kujundab ka nende uurimistöö rõhutatult rakenduslikuks, mis enamasti lõpeb sellega, et varem või hiljem tekib professoril ka oma firma või ettevõtlus.

Case Story. Niisuguse firma rajas ka professor N masinprojekteerimise tarkvara loomise valdkonnas. Tuginedes oma isikliku teadustöö tulemustele, hästi korraldatud arendustegevusele tarkvara loomisel, valmis tema laboris produkt, mida võis hakata levitama elektroonikadisaini maailmas. Vastloodud firma elushoidmine äärmiselt tihedas turukonkurentsis viis peagi selleni, et professoril tuli õppetööst sootuks loobuda. Kuna selles valdkonnas on monopol USA käes, siis oma firmale suurema esinduslikkuse tagamiseks oli see otstarbekas Ameerikas registreerida ja sealt ka põhilist turgu otsida. Aga edu ei tulnud ikka, firma läks pankrotti. Ühel Väikesel pole lihtsalt asja Suurte maailmas. Firma tuli maha müüa. Esialgu säilis professori juhtideoloogi positsioon ka uute peremeeste käe all. Aga peagi hakkas ideoloog ärimehi tüütama. Kuna produkt oli olemas ja äri edenes, siis leiti, et professorit ennast polegi enam vaja. Teda asendasid piisavalt hästi tema enda õpilased, kes olid oma õpetaja ideed produktiks vorminud... Ja nõnda võis professor N tagasi pöörduda õppetöö juurde – ilma õpilaste-kaastöötajateta, ilma ideedeta, mis olid realiseerunud ja elasid oma elu, ilma rahata... Aga professor N ei murdunud, ta leidis peagi uue ökoloogilise niši ja on tänaseks rajanud ka uue tugeva labori.

Vabadusest. Prof Saucier sõitis komandeeringusse, aga teatas laborile, et siin on üks eestlane, kel on metoodika süsteemide testimiseks, vaadake, kas ta hammas ka meie probleemide peale hakkab. Nii ongi nüüd mu juures käinud juba kolm inimest lootuses messiast kohata, kes nende mure hetkega pühiks. Peab aga ettevaatlik olema, mida võtta, mida jätta. Ei saa ju lasta end tükkideks tõmmata. Samas aga oleks halb ka ei öelda, mida tõlgitsetaks kohe – pole seal tühjagi mingit metoodikat... Seetõttu, ehkki olen vaba, pean vabadust delikaatselt kasutama.

Probleem. Meil on valminud üks automaatne diagnostikasüsteem Tallinnas. Ta võtab uuritava objekti kirjelduse, analüüsib selle läbi, arvutab pisut ja siis teatab, milliseid teste on vaja, et garanteerida seadme korrasolekut. See on fantastiline automaat, sest sadade tuhandete transistoride testimiseks ei oskaks inimene miljonitest võimalikest signaalikombinatsioonidest välja otsida just need paarsada, mis niisuguse garantii annaksid. Selliste asjadega tegeleme Tallinnas... Nüüd uurisin siinsete objektide kirjeldusi ja tegin kindlaks, et nende peale me automaadi hammas ei hakka... Piltlikult võiks öelda: me automaat tunneb sadat sõna ja suhtleb vaid nende tasemel. Aga siinne keelepruuk on – tuhat sõna. Võiks ju meie automaadile rääkida talle arusaadavas keeles prantslaste jutu ümber, nagu lastelegi unejuttu vestes kõik maailma keerulised asjad ära seletatud saab. Aga see lahendus ei sobi tänasesse maailma. Enam ei kirjutata ümber, nüüd vaid „kopitakse“ ja „peistitakse“. Ja ei jäägi muud üle kui meiegi masina tesaurus tuhande-sõnaliseks teha, kui tahame, et tal palju kasutajaid oleks. Uurime veel teistki teed – automaatset tõlkimist.

Koostöö koduga. Õigete otsuste tegemiseks käib mul tihe koostöö oma magistrantide ja doktorantidega kodulaboris Tallinnas. Diskuteerime, teeme eksperimente ja kirjutame ühiselt artikleid. On päevi, kus Tallinna ja Grenoble'i vahet käib 30-40 elektronkirja. Jaan on hakkama saanud kahe konverentsiettekandega USA-sse ja Hispaaniasse. Eerolt

tulid täna huvitavad eksperimenditulemused, ta on oma geneetilise algoritmi käima saanud. Anttiga diskuteerisime terve päeva diferentsiaalanalüüsi teemadel, otsides seoseid süsteemide diagnostikaga. Gert aga simuleerib ja katsetab testprogramme, mida olen siin Grenoble'is kirjutanud, kontrollimaks algoritmide õigsust. Avastasimegi vea oma hüpoteesis, mis juhtis mõtte kohe uutele radadele. Mu vaba semester on toonud uue dimensiooni labori aktsioonidesse – rahvusvahelisuse. Tehnikateadused on praktiline valdkond, tulemusi tuleb katsetada reaalses elus. Eestis pole tööstust meie valdkonnas, mis vajaks tippteadust. Viibides Saucier' laboris olen probleemide keskel, mis tulevad Euroopa tipptööstusest. See aga annab võimaluse formuleerida just neid probleeme, mis on just täna aktuaalsed ja vajalikud, mitte aga sulepeast imetud või õpikust laenatud.

Arvutid. Pärast suhteliselt külma perioodi, kus ma toas jopega ringi pidin käima ja klaaside kaupa kuuma teed jooma, läks taas soojaks. Ilm on ilus, päikesepaisteline. Aga ometi istusin terve päeva arvuti taga. Õigemini, kahe taga. Teine arvuti on see, millega internetis töötan. Ja esimene – mu oma „läpakas" (*laptop*). Kui Jaan või Gert mulle mingi Word'i teksti saadavad, siis viin disketi kolmandasse arvutisse, „login" ennast oma teise arvuti kaudu kolmandasse, kus diskett on, kirjutan Jaani faili, mis on teises arvutis, kohaliku võrgu kaudu kolmandas olevale disketile. Siis lähen disketiga „läptoppi" ja alles nüüd näen, mida Jaan mulle kirjutanud on. Aga kui tahan selle teksti välja trükkida, siis võtan disketi, lähen sellega neljandasse arvutisse, kus ainsana saab Word'is välja printida. Aga kui tahan telneti või *ftp*-ga Tallinna minna, s.t. viiendasse arvutisse, siis login ennast serverisse ehk kuuendasse arvutisse ja selle kaudu saangi ühenduse Tallinnaga. Nii, lugesingi kokku, ei teadnudki, et töötan pidevalt kuuel arvutil. On ka lihtsamaid võimalusi, kõik sõltub arvutite hõivatusest. Vahel, kui netscape mul kinni jookseb, siis tuleb veel seitsmendassegi minna, et protsess ära lõpetada..

Viirus. Ühel päeval hakkab mu tekst arvutis ennast palavikuliselt rullima ja ei tahagi pidama jääda. Olen nakatunud viirusega siinsamas laboris. Siin töötatakse põhiliselt Unix-masinatel, ning on vaid üks PC, mis on võrgus ja mida dokumentide tegemiseks ning printimiseks kasutatakse. Sinna siis diskettide abil ka neid viirusi tuuakse. Gert saadab mulle võrgu teel programmi, millega puhastan nii oma kui labori masina. Aga järgmisel päeval on disketil taas viirused... Nüüdsest otsustan vaid postscriptis trükkida, millel on veel see eelis, et ühte arvutit läheb nüüd vähem vaja.

Perenaine ära. Professor sõidab nädalaks USA-sse. Tema viimane arvuti-tsirkulaar enne lahkumist sisaldab hüvastijättu ja soovi kõigile pingsalt töötada ning aega otstarbekalt kasutada. Niipea, kui uks ta järel sulgub, kostub laborist indiaanirõõmuhüüd ja jalgade tramp – doktorandid, ikkagi noored, temperamentsed, vabadust ihkavad inimesed. Asendajat professoril oma äraolekute ajal pole. Huvitav, mis kell homme tööpäev algab?... Kell on 9 hommikul, ainsana istub laboris külaline, firma Xilinx esindaja, kes oli konsultatsioonideks spetsiaalselt kohale tellitud. Aga keda konsulteerida, neid pole... Ja siis helistab ootamatult USA-st perenaine...

Grenoble, 21. veebruar 1998

Päikesetõus. Täna hommikul ei tule kaua bussi. Aga selle üle saab vaid head meelt tunda, sest saan nautida võrratut päikesetõusu Belledonne'i selja tagant. Sünkmustad mäeküü-

rud, õrnsinine taevas nende kohal, heledamast valgem üksik pilveriba, ja esimesed kaljuserval murduvad päikesekiired. Nüüd pressib tulekera ennast läbi, õgib pilvekese ja taevas plahvatab põlema. Need mäed jäävad seljataha, kui näoga tänava poole pööran, kus buss peaks kohe peatuma. Teisel pool, üle Houille Blanche'i ühiselamute kõrgub Vercor, see millest ma juppi oma aknastki näen. Just seda sama Moucherotte'i tippu, kuhu kord suvel mõned aastad tagasi üles ronisin... Näe, toas on ikkagi külm, hakkan aevastama. Ja nina läheb tatiseks. Võtan peale jope... Helevalged lumeväljade vöödid Vercor'il. Selged ja kirkad. Nende vahel erkroheline kuuskede sametvaip. Ja äkki – milleltki peegelduv valguskiir. Hetk hiljem kiir kaob... et pisut kõrval jälle tagasi tulla. Need on majade aknad, mis päikest tervitavad... Kõha kah tuleb veel. Ega ma ometigi külmetunud pole?... Näen täpselt seda kaljunukki, mille alla tookord jõudsin, ja kust tegin pilte kuristikus lahti rulluvast panoraamist. Nüüd vaatan sellele nukile tagasi altpoolt. Ja siis pööran pilgu sinna, kuhu buss peaks hakkama kohe-kohe minema. Järsk ja kõrge Chartreuse'i kaljusein. Paremal teravatipune Crolles'i Hammas. Seal pole lund. Sest seal pole nii kõrge ja on liiga järsk, et lumi pidama jääks. Palju värve, veel enam varjundeid.. Pilk on kinni naelutatud... Kuni mind kõrvale lükatakse, sest inimesed tahavad bussi astuda. Kougin taskust mensuel-pileti, ronin sisse, tembeldan piletile kellaminutid, loovin taha kolmandale rõdule (bussiistmed on kolmel tasandil), kust avaneb avar vaade kõigele, mis bussis toimub. Aga minu pilgu haarab uuesti päikesekullas Vercor.

Fondue Savoyarde. Paul viib mind enda juurde traditsioonilist savoi fondüüd sööma. Neli erinevat juustusorti kuumas veinis sulamas. Kui saiatükk su kahvli otsast potti kaob, oled järgmine, kes veini järele läheb. Kui kraami tule peal podisevas potis vähemaks jääb, valad veini juurde, kui vedelamaks jääb, viskad juusturibasid juurde. Siis jälle veini, siis juustu. Terve õhtu läbi. Vahel hommikuni. Kõige usalduslikumad jutud saab fondüü juures ära räägitud. Nagu eestlased saunas... Pauli väljasaetud vineerist egiptlanna ripub seinal. Ja tütre akvarell on ukse kõrval. Tütrele, kes on õpetaja Marseille's, ei meeldi see pilt. Aga isale-emale on see mälestus. CD-lt tuleb eesti meeskoorilaul... Pauli maja eest läheb läbi valgustatud jalgrattatee, mis ühendab ühiselamuid campusega. Aga Paul toob mu autoga koju, kahe klaasi veiniga võib Prantsusmaal veel rooli hoida.

Houille Blanche. Järgmine päev on pühapäev ja Paul ning Michelle on otsustanud mind Houille Blanche'i saladuste lätetele viia. Houille Blanche on ka mu ühiselamu nimi, mis tõlkes tähendab „valget sütt" (ehk hüdroenergiat). Lancey on väike linnake Grenoble'i lähistel, kus Aristide Berges aastal 1869 ehitas esimese hüdroelektrijaama Euroopas. Nüüd on seal muuseum nimega Houille Blanche. Kahjuks on muuseum talvel suletud. Näeme vaid uhket peremehe häärberit, skulptuuride ansamblit kreeka mütoloogiast õuetrepi kõrval, valgesse marmorlainesse tahutud hammasrattale toetuvat magavat inglit, massiivseid roostes ülekandemehhanisme aias põõsaste vahel, hiiglaslikku kaarjate akendega tellistest pooleldi mäe sisse ehitatud hoonet, kus kunagi turbiinid pöörlesid, selle taga endise jõuga mägedest rammu saanud kohisev veemass. Siit saigi alguse Grenoble'i kui tööstuslinna (inseneride linna) ajalugu.

Pühapäev. Sõidame läbi väikeste asulate. Iga külakese keskel on monument (kord uljast püssiga sõdurit, kord langetatud laugudega nukrat inglit kujutav) kivisse raiutud külaelanike nimedega, kes langesid I maailmasõjas. Väike küla, aga nõnda pikk (!) nimekiri... On mimooside aeg, veebruari keskpaik. Priimulad õitsevad (*primevere* – pr. k., mis

itaalia keeles tähendab kevadet). Pähkliplantaazhid. Kreeka pähklid on selle rajooni spetsiaalsus (ainult siin nimetatakse neid – Grenoble'i pähkel). Ja kõrval bambusvõsa, kust keppe pähklite togimiseks saab... Uhked lossid külade servades – ülekülarikkaim tahtis ka uhkeimas majas elada. Losse on Prantsusmaal palju, üksnes Burgundias tuhatkond... Savoie-Isere'i piir. Enne 1860. kuulus Savoie Itaaliale. Kui Garibaldi teeneks loetakse Itaalia ühendamist, siis oli Garibaldi ka see, kes Savoie rahvale andis enesemääramise võimaluse – Itaaliast lahku ja Prantsusmaa külge ennast hääletada. Seda vana Itaalia-Prantsuse looklevat piiri mägede vahel ületasime tol päeval veel mitmeid kordi... Lõunatame Col du Granier tohutu kalju jalamil: la tartiflett ehk kartuli-juustu vorm Gamay de Savoie'd kõrvale rüübates. Oleks võinud ju võtta ka Burgundia Pommard'i 1970. aastast, aga see maksis 450 franki. Nagu veine, nii ka juustusorte on Prantsusmaal lugematu hulk. Sest prantslane tahab olla isiksus – igalühel oma juust ja oma vein. Ja igalühel oma õigus öelda, mis juust ja mis vein need kõige paremad on. La tartiflett sai otsa – ja fajanssvaagna põhjas paljastus roa salajane retsept: 1 reblochon (juust) + 1kg kartuleid = neljale.

Täiendõpe. Sel nädalal olid meil stazhöörid tööstusest labori poolt organiseeritud täiendõppel. Nende hulgas, kes tööstusest kohale tulnud prantsuse insenere õpetasid, oli ka doktorant Eestist Helena. Samas reetis Christian Madagaskarilt, üks labori „treenereist" Helena kõrval, mulle salaja oma ausa arvamuse: kogu õpetus olla tegelikult läbi kukkunud ja insenerid ilmselt pettumuse osaliseks saanud. Need olid ju spetsialistid, kes seda tööd, mida neile täienduskursusena õpetati, ise hästi tundsid. Ja nende küsimused olid akadeemilistele õpetajatele väga konkreetsed. Insenerid tööstusest teadsid täpselt, mida nad teada saada tahavad. Aga just nendele liiga konkreetsetele küsimustele nad teoreetikutelt vastuseid ei saanud. Nende õpetajad oskasid küll hästi üldisi ja teoreetilisi asju seletada, aga praktiliste kogemuste pagasilt olid nad tükk maad tagapool neist, keda nad õpetasid. See oli huvitav kogemus niisugust aspekti ülikoolide täiendõppe praktikast teada saada.

Konverents. Vahepeal tuleb mul käia Pariisis komandeeringus – DATE-konverentsil ja kahel töökoosolekul (Euroopa Testkonverentsi programmikomitee ning Euroopa Testi Tehnilise Komitee istungitel). DATE'98 (Design Automation and Test in Europe) on maailma tähtsamaid foorume arvutitehnika projekteerimise valdkonnas, kus osavõtjaid oli üle kahe tuhande. Kui ettekannete statistikat puudutada, siis ameeriklasi oli 61, sakslasi – 54, hispaanlasi 19, itaallasi ja prantslasi – 14. Silma on hakanud paistma hispaanlaste edu mikroelektroonikas. See on Hispaania valitsuse kõrgtehnoloogia arendamisele suunatud poliitika silmnähtav tulemus. Ka Poola juhid on ainsatena ida-sektorist erilist tähelepanu pööranud sellele valdkonnale ja märgid näitavad, et varsti on sealtki oodata läbimurret Euroopa kõrgtasemele. Rootslastelt oli 3 ettekannet, soomlastelt ühtegi, oli üks venelane ja oli ka üks Eesti (!) kodanik – Helena, mu hiljutine doktorant, aga seekord Prantsuse värvides. Saatsime sügisel Tallinnast ka ühe teise ettekande, mis aga kahjuks läbi ei läinud. Selles sektsioonis oli konkurents liiga tihe: võistles 28 ettekannet, millest vastu võeti vaid kolm. Sisse mahtusid kolm korüfeed, kelle tööd ei pruukinud sugugi kõige paremad olla. Oli paradoksaalne, et üks ettekanne nendest, mis läbi läksid, sisaldas eksperimenditulemusi, mis jäid alla meie omadele (!). Kui seekord jäi see fakt zhüriil kahe silma vahele, siis järgmiseks korraks on meil hea võrdlustulemus must-valgel välja pakkuda. Keskmiselt pääses ettekandega konverentsile iga viies taotleja.

Dijon. Sõidan Pariisi läbi Dijoni. See on Burgundia pealinn. Kunagi oli see maa kuningriik. Burgundlased tulid Skandinaaviast, Bornholmi saarelt, Baltimaade lähistelt. Burgundlane on rõõmus, ettevõtlik ja loominguline. Siit pärinevad Eiffel, Niepce, kes esimese foto tegi, Gaspard Monge, kes kujutava geomeetria rajas. Esimene naine, kes ümber maailma purjetas, oli burgundlanna. Burgundia on veini maa ja tuhande lossi maa. Igal lossil on oma vein. Burgundia vein kuulub diplomaatilisse protokolli. Aga Burgundias peab proovima ka mustsõstralikööri, mustsõstrasinepit ja kivikõva, aga suus lausa sulavat vürtsileiba. Burgundia linnades on fachwerkmajad, munakivisillutis – sile kui parkett ja imeilusad kivist värvirõõmsad mosaiikkatused. Dijoni suunas mind Baedecker, kus barokne Burgundia Hertsogipalee ja selles asuv kunstimuuseum olid tähistatud kahe tärniga (mis tähendab erilist vaatamisväärsust). Pealegi oli pühapäev ja muuseumi külastamine tasuta. Muudel päevadel on muuseum tasuta õpilastele ja õpetajatele.

Päikeseloojang. Õhtul koju minnes on mäed täna fantastiliselt kaunid, õrnroosas neglizhees ja karged. Kõnnid Cours Beriat'l, kummalgil pool on vaateaknad, üles riputatud odav väljamüük, postkaartide stendid, aga su pilgu on vallanud tänava lõpus taevavõlvil promeneeriv hurmav Belledonne (Kaunis Naine). Erkroosa kaunikaareline kauge lumenõlv, ümar ja ahvatlev, lausa peopesal – üks suusatajagi justkui kihutaks sääl alla pimedusse mattuva kuristiku suunas. Ja siis hakkab see roosa loor aeglaselt kerkima, jättes maha kasvavad varjud ja tumeneva saladuse. Üha kõrgemale tõuseb see roosa, üha vähemaks jääb nõiduslikku katet Kauni Naise kehal, kuni Belledonne end viimaks pimeduse voodile heidab... Aga tänav on vahepeal hoopiski teiseks saanud. Kutsuv reklaam ja tuledevalges vitriinid, õhus hõljuv parfüüm ja lõbusad hõiked annavad mõista, et päev alles algab.

Grenoble, 5. märts 1998

Olümpiamängud. On viimane veebruaripäev ja Victor Hugo väljaku termomeeter mehhiko restorani El Sombrero vastas näitab +19 kraadi Celsiust. Kirsid õitsevad. Aga Eestis olevat 10 kraadi alla nulli, nagu teatab mu abikaasa telefonis... Grenoble tähistab täna ilutulestikuga siin toimunud taliolümpia 30-ndat aastapäeva. Linna keskmest – Mistrali pargist purskub taevasse värvilisi raketisülemeid, aga ka pisut kaugemalt – Chamrousse'ist ja Vercor'i kaljudelt, kus mängude suusaalasid läbi viidi. Grenoble'it ümbritsevaid lumiseid ahelikke skaneerivad kaks võimast laserkiirt, demonstreerimaks Isere'i pealinna kõrgtehnoloogilist võimsust. Ka sümboolne olümpiatuli põleb – samas kus 20 aastatki tagasi... Ja kuus aastat tagasi, siinsamas Albertville'is toimus ju samuti olümpia... Aga kui veelgi täpsem olla, siis uusaja olümpiamängud said alguse mitte Kreekas, vaid hoopis Grenoble'is 1832. aastal Rondeau seminari (nüüdse Vaucansoni lütseumi) tudengite eestvõtul. Rahvusvahelise tähenduse haarasid need mängud pisut hiljem Henri Didon'i (1840-1900) esiletulekuga, kes 1891. aastal hüüdis välja moto „Kiiremini, kõrgemale, kaugemale!", mille Pierre de Coubertin hiljem ära kopeeris. Nelja-aastase

Veebruari kontrastid: päeval õitsvate jaapani kirsipuude all ja õhtul soojas talijopes mehhiko restorani astumas

olümpiatsükli idee mõtlesid samuti välja selle seminari tudengid, kes arvasid, et sobiva päevana võiks olümpiaks kasutada liigaasta 29. veebruari. Mängude ava- ja lõputseremoonia ning olümpiamedalite traditsioon võeti tarvitusele Rondeau's 1879. aastal. Kõik enne Ateena mänge. Olümpia traditsioon kestis Dauphine's järjepanu 120 aastat (1832 - 1952).

Grenoble. See on olümpiamängude, kuid ka ülikooli ja teaduse linn. Üks paljude hulgast, üks 71-st Prantsusmaa ülikoolilinnast, aga vast kõige markantsem nende seas. Siin elab 160 000 elanikku ja kolmandik neist on üliõpilased. Kaheksandik tudengitest on välismaalased, kokku 150-st (!) eri riigist. Selles pole midagi imestada, arvestades asukoha looduslikku atraktiivsust ja Grenoble'i ülikoolide kõrget rahvusvahelist mainet. Kümnel protsendil elanikest on mingi ülikooli teaduskraad. Grenoble'i rahvuslik elukutse on – õpetaja. Oma 250 laboriga on Grenoble Pariisi järel suuruselt teine teaduskeskus Prantsusmaal. Alusteadustele on pühendunud 62,5% ja rakendusteadustele 37,5% Grenoble'i 8000-st teadustöötajast. Neist 5500 on avalikus ja 2500 – „erateaduses". Grenoble'i piirkonnas on 64 suurt tööstusfirmat ja 12300 väike – ning keskmist ettevõtet, kes kõik tarbivad ülikoolides ja teadusasutustes produtseeritavat innovatsiooni... Grenoble on maaliline linn Isere'i jõe kaldal, orus, kus otsapidi saavad kokku kolm mäeahelikku: Chartreuse, Vercor ja Belledonne. Téléphérique ehk ripptramm viib üles Bastille' kindluse terrassile, kust avaneb kaunis vaade linnale ja kaugemal avarduvatele lumistele mäemassiividele. Selge ilmaga on siit näha Euroopa katus – Mont Blanc.

Stazhöörid. Kevadsemester pärast veebruari vaheaega toob laborisse stazhöörid ehk viimase kursuse tudengid diplomitööd tegema. Labor saab uue näo. Esiteks, kõik SUN-id on nüüd kinni: kui hommikul pisut hiljem tuled, oled terveks päevaks arvutist ilma. See pole küll väga hull, sest mingi vaba ekraani ja klaveri leiab alumise korruse CIME-keskusest ikkagi. Teiseks, ka laborirahvas on nüüd justkui suuremas aktsioonis – igalühel paar-kolm stazhööri, keda vaja kantseldada. Stazhööridki peavad hommikul kell üheksa kohal olema, õhtuhiljani välja. Kõik nad rakendatakse labori projektidesse, mis õnnestub hästi, sest tudengite tase on kõrge. Paremad stazhööridest sõelutakse välja ning neile tehakse ettepanek jääda doktorikraadi tegema.

Direktor. INPG-s on 27 laborit. Ühe direktoriga polevat võimalik koos töötada. Ehk vaid siis, kui tunnustada teda kui ainuliidrit. Seepärast minevat andekamad tema laborist ära. Direktori „häda" on selles, et juhtimise kõrval töötab ta ka ise aktiivselt. Tal on ideed ja ta tahab need labori toel realiseerida. Need, kes hälbivad keskteelt, peavad oma originaalitsemise kas unustama või meeskonnast lahkuma... Üks teine direktor on aga pühendunud vaid koordineerimisele, ta ei domineeri ega suru maha andekaid, sest andekate ideed hoiavad laborit elus. Niisiis, üks direktor on teadlane ja teine – administraator. Ent ometi pole too administraator üksnes lipukandja. Ta on see, kes kannab kontseptsiooni ning vastutab selle elujõulisuse eest. Jõu ja kindluse annavad talle tema rahvusvaheline prestiizh ning selle abil loodud koostöövõrk. Üks teab, mida ta ise teeb, ja kasutab teisi. Teine aga teab, mida teised teevad, ja hoiab käes kompassi. Harilikult kasvatakse esimesest teiseks. Teinekord mitte. Ka Einstein jäi eluaegseks lapseks ja tal polnud kunagi õpilasi. Aga Einsteini ajal võis teadlane niisugust luksust endale lubada, tänapäeval tähendaks üksindus teaduses traagikat... Ja ometi on esimese etapi läbimine vajalik, vähemalt maades, mis pole totalitaarsed ega korporatiivsed. Kuid mitte alati ei tähenda teaduses täiskasvanuks saamine seda, et pääsed kohe teise etappi.

Täiskasvanu üksindus. Madam Saucier on kahtlemata täiskasvanu teaduses, aga ometi üksinda. Teda tuleb lausa imetleda, kuidas ta päevas 5-6 koosolekut maha peab, terve laboriga simultaani mängib ja kõiki võidab, olles fantastiliselt kursis kõigega, mis laboris toimub. Tema labor on kui väike „tööstusettevõte“, nagu Paul naljatades ütleb. Kui vaid aasta tagasi USA ärimehed kogu Saucier teadustulemuste portfelli temalt osavalt üle kavaldasid, jäi ta sisuliselt „purupaljaks“ ning absoluutselt üksinda. Tema õpilased võttis firma, tema ideed läksid koos tema õpilastega. Madam on aga isiksus, kes ei murdunud. Ja täna on ta taas maailmakuulus ning üldise tunnustuse saanud, aga hoopis uue ettevõtmisega – intellektuaalse omandi „internetikaubamajaga“, mis vaid paar kuud tagasi ametlikult avati, ja millele juba leidub järgijaid. Muide, ka kaks TTÜ arvutitehnika instituudis tehtud elektroonikadisaini on selles kaubamajas „müügil“. See on uus suund tänapäeva teabemaailmas... Aga elu pole professoril kergemaks läinud. Ta astus ülimalt innovatiivsele tandrile, kus aga liidriks jääda praktiliselt üksinda ehk vaid 5-6 õpilasega, kes alles tuult tiibade alla koguvad, on tänases konkureerivas turumaailmas praktiliselt võimatu. Professor tegi teist korda oma elus sama vea: ta tegi valiku olla kasulik reaalses elus, aga mitte abstraktses teadusmaailmas.

Olla või mitte olla? Ülikoolis töötaval professoril on peaaegu võimatu konkureerida reaalsel majandusturul. Tööstus ei finantseeri ülikooli riskiprojekte sedavõrd, et ülikooli palgad saaksid konkurentsivõimelisteks tööstuse omadega. Kontraktid tööstusega on ühepoolne spionaazh: tööstus ei ava kunagi kogu oma intellektuaalset omandit projekti partnerile, aga samas saab ta täieliku pildi ülikooli inimpotentsiaalist ja seejärel nopib sealt parima. Taas kaotab Madam oma kaks kõige paremat hinge, need on kaks tuneeslast, kelle korjasid üles USA firmad. Madam kirub Prantsusmaa rassismi, mille tagajärel aafriklased, kes, tulnud küll heal meelel siia ülikooliharidust saama, kohe esimesel võimalusel oma laitmatute teadmistega kolivad üle ookeani, sest Prantsusmaal on nad mitteteretulnud... Kus on siis väljapääs professorile? Väga lihtne: mitte riskida, tasa ja targu edeneda, võimalikult kaugele tööstusest, abstraktsesse teadusse jääda... Kaks direktorit, ühel probleemid, teisel mitte. Milles asi? Aga selles, et esimesel on ühe taseme struktuur, teisel hierarhia. Täiskasvanul on harilikult lapsed, ja lapsed loovad hierarhia. Probleemid on samad, aga esimesel direktoril lõhub ebaõnn terviku, teisel – ainult tüki... Mitte alati ei õnnestu aga tekitada kriitilist massi konkurentsi tingimustes, nii et sellest võiks välja kasvada hierarhiline struktuur. Eriti riskivaldkondades, kõrgtehnoloogias – seal, kus on tegemist innovatsiooniga. Eriti niisugusel arengumaal kui Eesti. Probleem pole professori, vaid on ülikooli või isegi riigi oma.

Kevad. On soe ja päikesepaisteline. Mäed kauguses on aga endiselt kutsuvalt lumised. Tudengid campuse ühiselamute vahel käivad lühikestes pükstes ja T-särkides. Kel pole suusaõnne olnud, peavad oma kipsjalgu karkude abil kaasa lohistama. Vahel tundub, et kargud on siin lausa suurmood. Nädalalõppudel on linna kohal harilikust intensiivsem helikopterimüra – mägedest tuuakse haiglatesse oma kehaosi murdnud suusatajaid, tulevasi moejüngreid...

Karneval. Selle nädalalõpu olin kavandanud tööle, sest artikkel pidi tähtajaks valmis saama. Loobusin kahjutundega sõidust Nizza karnevalile... Pabereid sorides aga avastan äkki mingi vana ülestähenduse: Crolles, 28. veebruar, kell 15.00 – karneval. Crolles ei ole nii kaugel kui Nizza. Vaatan kella, aega on ligemale kolm tundi. Mõeldud, tehtud...

Kui bussiga pärale jõuan, on kell kaks. Vastu hiiglaslikku kaljut surutud väikelinn on suikunud laupäevasesse pärastlõunauinakusse, karnevalist ei kippu ega kõppu. Keegi ei tea midagi. Väljakul mängivad vanad mehed boule'i (kuulimängu), ka nemad ei tea. Aga prantslane ei ütle naljalt, et ta ei tea. Nii nad juhatavadki mind üldsegi mitte pahatahtlikult vales suunas... Siis aga ometi lõpuks keegi teab, see on hotellitädi – la Mairie. Ja tõesti, pisut enne kolme võib raekoja juures täheldadagi teatavat liikumist. Koolitsirkus demonstreerib zhongleerimist, üherattasõitu, tasakaalutrikke, õlgseelikutes neegribänd aga põristab trumme. Aeglaselt voorib kohale karnevalipublik. Nüüd taipan, miks keegi midagi ei teadnud – need, kes teadsid, disainisid kodus kostüüme ja värvisid nägusid. Keda kõike siin pole: d'Artagnan ja don Qujote, piiri rikkunud käeraudus mehhiklane ning Texase sherif, täis maalitud nägudega klounid, suured ja väikesed ballidaamid kavaleridega, gangsterid ja rüütlid, viikingid ja mungad, 10-aastane leegionär rind täis medaleid, helesinises kleidis kuldse krooniga printsess, cowboy ja korstnapühkija, 6-aastane põskhabemes elumees ema käest kinni hoidmas, sinises turbanis araablane... Siin käib mõõgavõitlus, seal *bataille de fleurs* ehk lillesõda. Vahukoorekreemised justkui märga lund täistuisanud näod.... Mõnda aega kestab kogu see mürgel raekoja ees, siis moondub kirju mass hiiglaslikuks pikaks lohemaoks, mis muusika ja tantsu saatel vingerdab läbi küla, mina fotoaparaadiga kord keskel, kord kõige ees. Liiklus Grenoble'i suunas on suletud. Päike tuleb välja ja mäedki kooruvad pilvevatist lahti. Tants käib turuplatsil. Vaid ühel inimesel on seal kiire... Oli tõesti väga sümpaatne ja intiimne show. Kindlasti oleks Nizzas uhkem ja lärmakam olnud, aga väikesel külakarnevalil on omad võlud. Eriti, kui see toimub nii maalilises paigas nagu Crolles... Seisan bussi oodates väljaku kõrval, kus vanad mehed endiselt mängivad *boule*'i ega tea midagi sellest, et turuväljakul jätkub karnevaliball.

1993–2005
Turbulentne sajandivahetus

Instituudi jalajälg eesti teaduspoliitikasse

ATI professor Teadusfondi Nõukogu esimeheks

ETF-i Nõukogu esimees Raimund Ubar

Ühel 1993. a. Teaduste Akadeemia osakonna koosolekul tehti ATI professorile **Raimund Ubarile** ettepanek anda nõusolek konkureerimiseks Eesti Teadusfondi (ETF) Nõukogu esimehe kohale.

Olin just äsja valitud akadeemikuks, olin juhtinud ülikoolis komisjoni, kes valis professoreid, olin asutanud elektroonika kompetentsuskeskuse, mu teadustulemused olid head ja nii vist siis arvati, et just mina sobiksin juhtima asutust, kes suuresti määras Eesti teaduspoliitikat, omades hoobasid, mis on elus kõige võimsamad – Teadusfond jagas Eesti teadlastele raha.

Olav Aarna oli rektorina teinud hiljuti mulle ühe teise ettepaneku – tulla tema meeskonda teadusprorektoriks. Loobusin sellest pakkumisest. Sest just sel hetkel oli mind tabanud kriis, kogu mu uurimisrühm oli sõitnud ära Prantsusmaale ja mul tuli hakata kustutama tuld, et päästa instituudi prestiiž.

Nüüd tuli siis uus ettepanek ja just Olav Aarna vaatas jälle mulle üle laua silma ja mul oleks olnud piinlik juba teist korda talle ära öelda. Andsin nõusoleku.

1993. a. detsembris Tartus toimunud ETF Nõukogu koosolekul valiti see TTÜ-poolne kandidaat siis esimeheks. Mitte päris üksmeelselt, aga ikkagi. Tartlased oleksid parema meelega näinud esimehena „oma meest" akadeemik **Loit Reintami**, kes vähema häälte arvuga jäi nüüd aseesimeheks.

Eesti Teadusfondi tegevdirektor Helle Martinson

See oli vettehüppamine tundmatus kohas. Näiteks, polnud mulle päriselt selge isegi see, milles üldse seisnes Teadusfondi missioon ja milles oli minu kui Nõukogu esimehe roll. **Helle Martinson** oli fondi tegevdirektor ja tema andis mulle palju tuge „ree peale pääsemisel". Lugesin palju kirjandust, mis käsitles teaduse finantseerimist, evalveerimist ja retsenseerimist. Kasutasin oma kontakte Lääne-Euroopa ülikoolides ja teadusasutustes saadud kogemuste tundma õppimiseks.

Raskemaks tegi olukorra see, et lisaks Nõukogu esimehe kohustustele tuli juhtida veel ka tehnikateaduste ekspertkomisjoni. Seega oli tarvis tegeleda kogu eesti teadusega ja lisaks veel ka tehnikateaduste valdkonnaga eraldi.

Lihtsustatult öeldes oli Nõukogu esimehe ülesandeks juhtida Eesti teaduse finantseerimise protsessi ehk teiste sõnadega – jagada eesti teadlastele raha. Aga kuna Nõukogu esimees oli ise aktiivne teadlane, siis tuli tal ka iseendale raha jagada, mistõttu oli kogu „afääri" juba põhimõtteliselt sisse programmeeritud korruptsiooni alge. Ei kusagil mujal rohkem

kui siin kehtis Caesari abikaasa printsiip: *ei tule olla patust üksnes puhas, vaid tuleb ka näida, et oled patust puhas*.

ETF Nõukogu koosnes 16 liikmest, kellest osa arvati sinna ametikoha järgi: valitsuse esindaja, haridusminister, Eesti Teaduste Akadeemia president või asepresident, Tartu Ülikooli, Tallinna Tehnikaülikooli ja Eesti Põllumajandusülikooli rektor või prorektor, Fondi tegevdirektor ja Nõukogu teadussekretär. Ülejäänud Nõukogu liikmed valis kõrgkoolide ja teadusasutuste poolt valitud valijameeste kogu nii, et oleks olnud esindatud üks liige kaheksast eri teadusvaldkonnast. Nõukogu esimees valiti kolmeks aastaks. Kõrval tabelis on esitatud tookordne Teadusfondi nõukogu koosseis (kõrval on näidatud, millises protsentuaalses ulatuses jagunesid rahad erinevatele teadusvaldkondadele).

Ekspertkomisjonide esimehed (valitud kolmeks aastaks):	
1. Jüri Allik	TÜ professor, sotsiaalteadused (9,8%)
2. Arvo Krikman	Eesti keele instituut van.teadur, humanitaarteadused (9,6%)
3. Viktor Palm	TÜ professor, loodusteadused (10,3%)
4. Loit Reintam	EPMÜ professor, põllumajandusteadused (11,4%)
5. Peeter Saari	FI professor, täppisteadused (14,3%)
6. Arvo Tikk	TÜ professor, meditsiiniteadused (16,5%)
7. Martin Zobel	TÜ professor, bio-geoteadused (11,4%)
8. Raimund Ubar	TTÜ professor, tehnikateadused (16,7%)
Teadusasutuste ja organisatsioonide esindajad:	
9. Olav Aarna	TTÜ rektor
10.Jaak Aaviksoo	TÜ prorektor
11.Ene Grauberg	Bakalaureuse kooli direktor, Kultuuri- ja haridusministeeriumi esindaja
12.Mait Klaassen	Eesti Põllumajandusülikooli rektor
13.Helle Martinson	Eesti Teadusfondi tegevdirektor
14.Väino Puura	Geoloogiainstituudi vanemteadur, Eesti Teadlaste Liidu esindaja
15.Maie Toimet	Kultuuri- ja haridusministeerium,teadustalituse juhataja
16.Mihkel Veiderma	Eesti TA asepresident.

Järgneval perioodil (1993-1997) tuli nõukogu esimehel töötada koos kuue (!) erineva haridusministriga: **Paul-Erik Rummo**, **Peeter Olesk**, **Peeter Kreitzberg**, **Jaak Aaviksoo**, **Rein Loik** ja **Mait Klaassen**, kes kõik olid teatava perioodi ETF Nõukogu *ex officio* liikmeteks. Nõukogu esimees kuulus automaatselt ka peaministri alluvuses olevasse Teadus- ja Arendusnõukogusse (TAN), mille koosolekutel Toompeal tuli samuti käia kord kuus.

Millega tegeles Eesti Teadusfond

Teadusrahade jagamine fondi poolt käis kahes liinis: baasfinantseerimine teadusasutustele ja grandid väikestele uurimisgruppidele konkreetsete projektide jaoks, mida saadi konkursi alusel. Baasrahade jagamisel oli välja kujunenud teatav *status quo*. Probleeme oli palju. Kui uurimisprojekte grantide taotlemisel oli võimalik hinnata konkreetse „paberi" (projektitaotluse) järgi, siis baasfinantseerimise juhtimiseks puudus tegelikult adekvaatne info teadusasutuste kohta. Infopuudus ei võimaldanud teha poliitilist otsust ka selle kohta, kas grantide fondi protsentuaalne jaotus teadusvaldkondade vahel on otstarbekas või tuleks seda muuta. Ei olnud üht meelt küsimuses, milline asutus on teadusasutus ja milline ei ole, ehk teisiti, kellel siis on üldse privileeg saada Teadusfondilt baasrahasid. Ja muidugi, kõige valusam probleem oli – teadustegevuse üldine alarahastus. Fondi kaudu teadlastele eraldatud raha suhe rahvuslikku koguprodukti vähenes aastast aastasse.[1]

1994. a. kevadel alustati TAN-i initsiatiivil ning ETF-i ekspertide kaasabil globaalset eesti teaduse evalvatsiooni, mis kestis üle aasta. See pidi andma piisava info baasfinantseerimise korraldamiseks. Kahjuks olid evalveerimise tulemused formuleeritud ebamääraselt ega aidanud kuidagi Teadusfondi baasrahade määramisel. Teisisõnu, evalveerimisest oli olnud väga vähe kasu. Ühe olulise poliitilise otsuse viis TAN siiski läbi, fikseerides põhimõtte, et riiklikult finantseeritavaks teadusasutuseks saab olla vaid institutsioon, kes on läbinud teaduse evalvatsiooni.

[1] Ülemiste vanakesest Toompeal (R. Ubar). „Postimees", Nr.107 (704), 11. mai 1993.

Vahepeal tuli ilmale teaduskorralduse seadus, mis muutis kogu senise Teadusfondi finantseerimisstruktuuri, allutades osa sellest poliitikutele. Baasfinantseerimine jagunes nüüdsest ministeeriumi pädevusse kuuluvateks infrastruktuurirahadeks ja endiselt ETF-i kompetentsi jäävaks sihtfinantseerimiseks, mille kogumaht oli nüüd aga tublisti vähenenud. Kuna raha tähendab võimu, siis oli nüüd suur osa võimu läinud kompetentsetelt teadlastelt üle poliitikutele, kelle vastutus oli aga ebamäärane.

Poliitikud ei piirdunud sellega. Oli oodata veel ühte seadusemuudatust, mis viiks baasfinantseerimise tervikuna ministeeriumi kätte, jättes Teadusfondi objektiks vaid grandid. Olin veendunud, et Eesti majanduslik-poliitiline olukord ei olnud veel nii stabiilne, et poliitikutele jätta otsustada küsimus, milliseid teadusuuringuid on Eestile vaja ja milliseid mitte. Valitsus ei saa näiteks olla huvitatud alusuuringute finantseerimisest, sest see ei loo vahetut majanduslikku efekti. Aga samas on alusuuringud vajalikud Eesti teaduse taseme kõrgel hoidmiseks.

Järgnevad kolm aastat, mil juhtisin Fondi, möödusid pingsas „võitluses" ministeeriumiga „võimu" nimel. Seda diskussiooni oli raske pidada, sest vastane muutis pidevalt „nägu" ja taktikat (vaheldus ju kuus haridusministrit selle kolme aasta jooksul). Kirjutasin sel perioodil ridamisi teaduspoliitilisi artikleid Eesti ajakirjanduses[2], püüdes kajastada laiemale üldsusele teaduse ja selle finantseerimisega seotud probleeme.

Rahajagamise otsustustasandid

Võitlus teadusrahade eest käis niisiis neljal tasandil: valitsuse tasandil, ministeeriumi ja fondi tasandil, teadusvaldkondade tasandil ja erialade tasandil valdkonna sees.

Valitsuse tasandil käis võitlus üldse teadusrahade eest. Kui Rootsis sai teadus 3% rahvuslikust koguproduktist, siis Eesti panuseks teadusele oli üksnes 0,4%. Võrdlesin[3], Eesti riiki „jänesega tsivilisatsiooni trammis", sest me kasutame kõiki tsivilisatsiooni hüvesid, mida teadus on loonud, võrdselt kogu maailma rahvastega, aga hiilime kõrvale nende hüvede kinni maksmisest niivõrd väikese panusega teadusse, võrreldes teiste rahvastega.

Ministeeriumi ja fondi tasandil käis võitlus selle nimel, milline osa sellest 0,4%-st jääb fondi kätte teadlastele jagamiseks ja milline osa ametnike kätte. Teaduse rahastamise eesmärk seisnes ju teaduse taseme tõstmises. Fondi nõukogu koos oma ekspertide ja retsensentide armeega suutis paremini hinnata seda, milline on Eestis *hea teadus* ja millist „kapsamaad" tasuks rohkem väetada. Ministeeriumis otsustasid aga asja ametnikud, kes tahes-tahtmata pidid kalduma voluntarismi. Ja kui vajadusel hakati otsima abiks eksperte, siis tähendas see ju sisuliselt veel ühe „teadusfondi" loomist. Aga mis mõtet on mitmel fondil? Kahjuks, hiljem pööraski kogu teaduspoliitika just fondide paljususe suunas – üha rohkem inimesi tahtis olla rahade jagamise lähedal.

---

[2] Kultuuri funktsioon on resistance. Sirp, Nr. 40 (2502), 8. okt. 1993. Intervjuu: vastab tehnikateadlane R.-J. Ubar. „Horisont", Nr. 6, Okt. 1993, lk. 32-33. Tehnikateaduste tee Eestis. Kogumikus „Eesti Tulevikusuundumused". Eesti Teadlaste Liit, Tallinn, 1994, lk. 27-38. Akadeemia hädad ja Eesti Teadusfond (R. Ubar, H. Martinson). „Õhtuleht", 29. apr. 1994. Tehnokultuuri võimalikkusest tänases Eestis (Kas on võimalik jõuda kahe bussipiletiga kõrgtehnoloogilisse Euroopasse?). „Kultuurileht", Nr.13 ja 14 (6. ja 13.mail 1994.) Akadeemilisest tagasisidest ja teaduseusust. „Postimees", Nr. 156 (1053), 11. juulil 1994. Tehnikateaduste tee Eestis. „Horisont", Nr.5/94, lk. 15-19. Kas Eesti kultuuri päästaks üksainus universitas? ehk Teaduse ja kultuuri väärtustamisest Eestis. „Postimees", Nr. 270 (1167), 21. nov. 1994. Teaduse mitmekesisus on riigi rikkus. „Kultuurileht" (M. Jõgi, J. Engelbrecht, J. Kivimäe, R. Ubar), Nr.42 (2561), 2. dets.1994. Pankrotioht varitseb Eesti kõrgharidust ja teadust. „Kultuurileht", Nr. 3 (2567), 20. jaan. 1995. Otstarbeka, õiglase ja efektiivse Eesti eest. „Tehnikaülikool", Nr. 1 (1410), 23. jaan. 1995. Teadus ja tehnika ebalevas Eestis (R. Ubar, J. Engelbrecht, V. Mägi). „Tehnika ja Tootmine". – 1995/Jan – Nr. 1. – Lk. 33-37. Eesti Teadusfond vastutab grantide eest. „Päevaleht" Nr.273, 25. nov. 1996. Kes vastutab Eesti teaduse eest? „Postimees", Nr. 306 (2111), 19. dets. 1997. Teadus hämaratel kõrvaltänavatel (R. Ubar). „Postimees", Nr. 70 (2189), 14. märts 1998. Salajane teadus Eestis (R. Ubar). Tallinna Ülikoolid 2/98, lk. 38-39.

[3] Jänestena tsivilisatsiooni hüvede trammis. „Rahva Hääl", Nr. 256, 7. nov. 1994.

Teadusvaldkondade tasand oli ETF-i nõukogu ekspertide käes. Teadusfondi algushetkel tekitati mingil viisil üks jaotus, kuidas rahad jagunesid valdkondade vahel. Hiljem ei suutnud seda suhet väärata enam ükski jõud. Absoluutselt võimatu oli seda küsimust teadusfondi Nõukogu koosolekutel isegi arutama hakata, sest igat valdkonda esindas ekspert, kes seisis vaid oma valdkonna huvide eest. Tegelikult ma arvan, et saadi aru küll, et tehnikateaduste 16% oli liiga väike, selleks et Eestis saaks arenema hakata teadusmahukas tööstus ja innovatsioon. Aga kui tuli hakata mõtlema, kust midagi ära võtta, lõppes see arusaam. Oli teinegi aspekt: seitsme valdkonna eksperdid tulid Tartust, samal ajal kui tehnikateaduste esindajana olin ainsana Tallinnast. Tartu-Tallinna konfrontatsioon laienes loomulikult ka sellesse küsimusse, aga jõudude vahekord oli ebavõrdne. Ainus institutsioon, kes siin oleks pidanud suutma mingit otsust teha, oli TAN, aga sealgi ei soovitud seda küsimust arutlusele võtta.

Jüri Engelbrecht (paremal) – Akadeemia president aastatel 1994-2004

Tehnikateaduste ekspertkomisjon		
1. Materjaliteadus	Priit Kulu	8,9%
2. Mehaanika	Uno Liiv	5,7%
3. Mäendus	Enno Reinsalu	0,6%
4. Energeetika	Mati Valdma	10,5%
5. Keemiatehnika	Guido Rajalo	8,2%
6. Bio-& toiduainete.tehn.	Raivo Vilu	15,3%
7. Ehitus/Keskkonnatehnika	Harald Velner	9,5%
8. Süsteemitehnika	Leo Mõtus	12,4%
9. Masinaehitus	Maido Ajaots	6,0%
10.Põllumajandustehnika	Vambola Veinla	5,1%
11.Elektrotehnika	Teolan Tomson	8,7%
12.Biomeditsiini tehnika	Hiie Hinrikus	9,0%

Võitlus erialade tasandil käis ekspertkomisjonide sees. See oligi Teadusfondi igapäevane sisuline töö ja mis puutub tehnikateadustesse, siis see oli üksnes minu vastutada ja koordineerida.

Tehnikateaduste ekspertkomisjon koosnes 12 eriala esindajatest, kes valiti 1993. aasta sügisel valijameeste poolt teadusüldsuse esindajate hulgast. Iga ekspertkomisjoni liige juhtis oma eriala allkomisjoni. Ekspertide koosseis on näidatud kõrval olevas tabelis (protsendid näitavad, milline oli vahekord rahade jagunemisel erinevatele erialadele).

Ekspertkomisjoni juhina oli minu ülesandeks töötada grantide eraldamiseks välja selge ja läbipaistev metoodika, mis kõikidele oleks tundunud objektiivsena.

Toetuste jaotusest tehnikateadustele

Seni oli kasutatud praktikat, kus kogu raha jaotati erialakomisjonidele vastavalt sellele, millises protsentuaalses suhtes jagunesid taotletud summad erialati. See praktika end hästi ei õigustanud, kuna sageli taotleti põhjendamatult suuri summasid, mis moonutas tegelike vajaduste suhet. Esimesel aastal jäime küll selle põhimõtte juurde, et rahad kohe algul komisjonidele ära jaotada. Aga võimalikult objektiivse jaotussuhte leidmiseks võtsime arvesse mitu erinevat kriteeriumit: erialaeksperdi kiiranalüüsile põhineva arvamuse „realistliku" kogusumma kohta, eelmisel aastal erialale eraldatud summa, käesoleva aasta taotluste kogusumma antud erialal ja kõigi komisjoni liikmete antav eksperthinnang, milline võiks olla grantisummade jagunemine erialati, arvestades eriala tähtsust Eestile, taset jms. Nimetatud andmete baasil tuletasime komisjonidele määratava raha protsentuaalse jaotuse.

Järgmisel aastal loobusime raha eelnevast jaotamisest komisjonide vahel. Selle asemel korraldasime ühise ekspertiisi kõikidele taotlustele, mille tulemusena kujunes välja lõplik rahade jaotus erialade vahel. Ühtlasi andis selline ekspertiis väga hea ülevaate kõigile komisjoniliikmetele kõikidest taotlustest, mistõttu suudeti saavutada üsnagi objektiivne tulemus

grantitaotluste rahuldamisel. Töömaht oli muidugi suur, aga tulemused objektiivsemad. Tehnikateaduste eripäraks on väga tihe seotus rakendustega. Seepärast arvestasime ekspertiisil kahte kriteeriumi – nii teaduslikku taset kui ka vajalikkust Eesti riigile. Positiivseks näitajaks taotluse juures lugesime seda, kui uurimisrühmal oli olemas ka rahvusvaheline finantseerimine. Seda näitajat võis ka teisiti interpreteerida: kui uurimisrühmal on juba niigi raha, siis võiks ju tema grandi arvelt kokku hoida ja toetada rohkem neid, kel raha pole. Meie lähtusime siiski teisest põhimõttest: rohkem tuleks väetada „seda kapsamaad, kus kapsas paremini kasvab".

Olgu näitena toodud 1997. aasta, kui tehnikateadustele eraldatud raha kogusumma oli 11,5 miljonit krooni. Kokku rahuldati 149 taotlust. Keskmine grandi suurus oli 76 tuh. kr. (suurim – 289 tuh. ja väikseim – 5 tuh.). Summas üle 200 tuh. kr. eraldati – neli taotlust (**L. Mõtus**, **V. Kukk**, **A. Metspalu**, **H. Hinrikus**).

Ka ekspertkomisjoni esimees sai 160 tuh. krooni. Aga oma taotluse arutelu ajaks pidi esimees minema ukse taha, nii nagu ka kõik alakomisjonide esimehed, kui nende taotlusi arutati... Ekspertkomisjoni esimees pidi koguni kaks korda minema ukse taha, sest ekspertkomisjoni töö tulemused, seega ka esimehe grant, läksid arutamisele ja kinnitamisele veel ka nn. suures nõukogus.

Teadusfondi õrnaks kohaks jäi endiselt küsimus: kuidas ikka on selle „iseendale rahajagamisega". Maksumaksjale niisugune asi mingil juhul ei meeldiks ja ta otsiks siit korruptsiooni. Teisalt olid „raha jagajad" valitud just nende tuntuse ja kõrge teadusliku taseme ning reputatsiooni põhjal. Kui fondi rahakott jääks nende jaoks suletuks, ei nõustuks ju keegi enam ekspertidena fondis töötama. Peab mainima ka seda, et maailmapraktikas teadlaste hindamisel levinud *peer review* [4] töötab alati suurepäraselt, sest teadlased on loomult väga kriitiline rahvas ja „tutvused" teaduse hindamise puhul ei tööta, sest teadlase ausus ja reputatsioon on väärtused, millega ei mängita.

Teadusfond ja ministeerium

Igal kevadel algas Teadusfondi juhil traditsiooniline „võitlus" ministeeriumiga selle nimel, et Eesti teadusele määratavat rahasummat suurendada. Sel ajal algas järgmise aasta eelarve koostamine. Kirjutasin 1994. aasta kevadel haridusminister Rummole:

„…Senine poliitika on juba viinud Eesti teaduspotentsiaali korvamatute kaotusteni. Teaduse alafinantseerimine ja sellega seostuv tendents teadustöö prestiiži alanemisele ülikoolides viib omakorda ahelreaktsioonina kõrghariduse taseme langusele. Seetõttu Kultuuri- ja Haridusministeeriumi teaduspoliitika peaks käesoleval hetkel seisnema just teaduse ennakfinantseerimises, isegi juhul kui kõrghariduse finantseerimise tase jääb samaks…"

Eelseisva teadusstruktuuri muutmise ja teadusasutuste arvu vähendamise kohta märkisin oma kirjas järgmist:

„Käesoleval hetkel, kus eesti teaduse evalvatsioon on alles käivitunud ja kus pole veel toimunud selle tulemuste analüüsi, ei oleks õige alustada ennatlikku teaduse restruktureerimist – ei ühtede või teiste teadusasutuste või uurimisgruppide likvideerimist ega ka nende finantseerimise vähendamist."

Eesti senine elektroonikatööstus oli kokku varisenud. Kunagine Nõukogude Liidu eliitasutus TKBRE[5], kus minagi kord oma insenerikarjääri alustasin, oli lakanud olemast

[4] Omataoliste retsenseerimine omataoliste poolt.
[5] Tallinna raadioelektroonika konstrueerimisbüroo.

ja tema varad olid laiali tassitud. Viidates kõrgtehnoloogiliste alus- ning rakendusuuringute pärsitusele, kirjutasin:

„…Ilma tasemel infrastruktuurita ei ole eesti teadus, ehkki omades piisavat vaimset potentsiaali, suuteline täitma kõrgtehnoloogilisi riigitellimusi riiklike sihtprogrammide raames.“

Nendest kirjadest polnud mingit abi. Oli olemas poliitiline koalitsioonilepe Eesti teadusrahade suurendamiseks isegi nii vähe kui üksnes 0,5%-ni rahvuslikust majanduse koguproduktist, aga valitsus ignoreeris sedagi.

Uue teaduskorralduse seaduse järgi oli Teadusfondist saanud Sihtasutus. Aga juba teist aastat töötasime põhikirjata. Seadus kohustas Valitsust kolme kuu jooksul pärast seaduse kinnitamist reorganiseerima Teadusfondi Eesti Teaduse Sihtasutuseks. Esitasime oma uue põhikirja ministeeriumile, mille saatmise Valitsusele ministeerium aga blokeeris. Põhikirja puudumine tähendas aga seda, et *de jure* meid lihtsalt ei eksisteerinud, *de facto* aga seda, et me ei saanud oma funktsioone õigusriigis täita, sest meil endal puudusid õigused. Vana põhikirja järgi ei saanud me enam töötada sellepärast, et nii terminoloogiline taust, meie tegevusobjekt kui ka fondi ülesanded olid uue seaduse kohaselt teisenenud. Seaduses oli selgesõnaliselt öeldud, et Sihtasutus käsutab oma vahendeid ja vastutab nende sihipärase jaotamise eest. Kuid seaduses oli ka märge, et Haridusministril on vetoõigus Sihtasutuse Nõukogu otsuste suhtes. Ka siin arenes ministeeriumiga konflikt, milles otsisin abi peaministri alluvuses olevalt Teadus- ja Arendusnõukogult:

„…1996. a. sihtotstarbelise finantseerimise kohta võttis Teadusfondi Nõukogu vastu otsuse, mille suhtes haridusminister rakendas vetoõigust, esitades ja kinnitades uue ministeeriumi poolse sihtfinantseerimise eelarve… Kas vetoõiguse kasutamisel on ka kogu vastutus Teadusfondi vahendite sihipärase finantseerimise eest ülekandunud ministri õlgadele? Kui ei, siis ei pea ma Teadusfondi Nõukogu esimehena õigeks, et minister võib teha suvalise poliitilise otsuse, nullides Teadusfondi Nõukogu poolt korraldatud süvaekspertiisi tulemuse…“

Enne kirja teele läkitamist, vestlesin vahetult ka haridusministriga, refereerides sedasama eelpool toodud küsimust. „Kui minister otsustab, siis loomulikult vastutab minister,“ kõlas vastuseks. Kuid milline on poliitiku vastutus? Või teisiti, kui poliitik võtab ise enda peale ekspertide õlgadele pandud vastutuse, siis milleks üldse eksperdid? Ja siit järgneb ka Teadusfondi eksistentsiaalne probleem: milleks fond, kui niikuinii otsustab poliitiline võim.

Poliitikud põhjendasid, et teadusrahade tõstmiseks Eestil võimalusi ei ole. Aga küsimus polnud lihtsalt kokkuhoius, sest teadlaskond ise redutseerus ja paradoksaalselt „abistas sellega“ (!) poliitikuid. Küsimus oli Eesti teaduse ellujäämises, sest tekkis kriitiliste masside kadumise oht.

Kui nüüd toimunut tagantjärele vaadata, siis võiks öelda, et selle raha vähesuse juures polegi midagi katastroofilist juhtunud, teadus polegi ära surnud ja on hoopis jõudu kogunud. Seda aga suuresti tänu fanaatikutele, kes pühendusid oma tööle ega hoolinud sellest, et tavainimese elu neist mööda läheb. Ja lõppkokkuvõttes surub elujanune taim isegi raskeimates tingimustes ennast betooni ja kivide vahelt päikese poole.

Nii nagu poliitiline buldooser lükkas kunagise, maailma tipptasemel töötanud elektroonikaettevõtte TKBRE ühe hetkega maa pealt, nii on lastud mõtlematult hävida ka palju Eesti teaduspotentsiaali, sest riik ei osanud seda hinnata. Parimad läksid Eestist ära või vahetasid teaduse ettevõtluse vastu. Järele jäid pühendunud ja vähemnõudlikumad ning ka vähem andekad, kes mujale ei suutnud konkureerida. Ja nii oleme kaotanud palju aega.

Kümme aastat kaotatud aega tänases kõrgtehnoloogilises maailmas tähendab mahajäämust kolme (!) generatsiooni võrra. Sest näiteks arvutid tehisintelligentsi baasina amortiseeruvadki kolme aastaga. Aga elektroonika funktsionaalne võimsus kasvab vastavalt Moore'i seadusele 10 aastaga koguni 100 korda.

Võib küsida, kas Teadusfond ise kandis mingit vastutust, saades enda kätte maksumaksja raha ning jagades seda laiali teadlastele. Niisuguse küsimuse esitas mulle kui Teadusfondi juhile ka teadusüldsus. Vastasin tookord:

„Vastutus finantseerimisel võib olla otsene või kaudne. Otsene vastutus on võimalik vaid konkreetse ülesande korral, näiteks riikliku programmi või konkreetse rakendusprojekti korral, mil tulemust on kerge kontrollida. Teadusfondi puhul on tegemist kaudse vastutusega. Teadus on kultuuri osa ja toetus fundamentaaluuringutele tähendab dotatsiooni loominguliseks tegevuseks, aga mitte konkreetse ülesande täitmise kinnimaksmist. Dotatsiooni andmise eelduseks on teatavate tingimuste täitmine, mille teevad kindlaks eksperdid. Nii või teisiti tähendab aga toetuse andmine ühtaegu usaldust ja riski, mille puhul vastutust on raske mõõta. Vastutus jaguneb ühtlaselt retsensentide ja ekspertide õlgadele. Mida rohkem neid on, seda väiksem on vastutuse koorem aga ka „võimu" kuritarvitamise tõenäosus."

Eksperdid vastutavad oma nimega, neid on mitu ja nende otsuseid saab võrrelda. Kui nad praaki toodavad, mida teised eksperdid märkavad, siis nende teeneid edaspidi enam ei küsita. Ministreid on aga üks ja tema otsuseid ning praaki ei saa mitte kunagi ja mitte millegagi võrrelda. Sellepärast ei vastutagi poliitikud ja ministrid sisuliselt mitte millegi eest.

Esimehe taandumine

Mu kolmeaastane ametiaeg hakkas lõppema ja valmistusime nõukogu järgmise koosseisu valimisteks. Nõukogu liikmete üksmeelne seisukoht oli, et peaksin fondi edasi juhtima ka järgmisel kolmel aastal.

Aegamisi aga hakkasid mu vaated mitte üksnes ministeeriumi, vaid ka Fondi Nõukogu endaga siiski lahku minema.

Kui olin äsja esimeheks saanud, olin täis „nooruslikku" indu Eesti teaduselu korraldamisel midagi korda saata. Tundes konkreetset vastutust, suhtusin eesti teaduses valitsevasse olukorda väga kriitiliselt ja tahtsin hooga „peenraid umbrohust puhastama" hakata. Olin oma tõekspidamistes liigagi printsipiaalne ja reformimeelne, pidades teaduses ainsaks väärtuseks väljapaistvust ja kvaliteeti.

Aga õige ruttu taipasin, et elu ei ole must-valge ja teadust ei ole võimalik mõõdulindiga mõõta, et öelda, mis on oivaline teadus ja mis ei ole. Eriti raske on seda teha tehnikateadustes, kus tulemuslikkusel on palju rohkem erinevaid kriteeriume, võrreldes näiteks loodusteadustega. Loodus ei muutu ja selle tunnetamisel liigume sügavuti. Tehnika aga ainult muutub ja vana tuleb pidevalt unustada. Seetõttu on loodus- ja tehnikateadustes täiesti erinev publitseerimiskultuur ja tsiteerimiste tähendus. Neil aastail, kui fondi nõukogu juhtisin, hoiti neid kahte valdkonda eraldi ja kasutati ka erinevaid väärtushinnanguid. Täna üritatakse mõlemat valdkonda mõõta sarnaste kriteeriumide põhjal, mille toimimise objektiivsusesse ja efektiivsusesse mina ei usu.

Teadusrahade sidumisel üksnes tulemuslikkuse ja väljapaistvusega on teisigi negatiivseid aspekte. Tulemused pole teaduses kunagi garanteeritud, mis aga tähendab, et teadlased loobuvadki uuendusmeelsusest, et mitte riskida finantsidest ilmajäämisega. Ei peaks ka ülikoolid orienteeruma üksnes tippudele nii väikesel maal nagu Eesti.

Mõistsin õigeaegselt, et olin oma kriitilise meelega tahtnud liiga kaugele minna. Ei tohiks erialasid hakata välja suretama ainult seetõttu, et hetkel nende rahvusvaheline tase

jätab soovida. Võistlus on vajalik, aga nõrgemat õppetooli hoopiski rahadeta jätta, tähendaks ülikooli enda nõrgendamist ehk selle oksa saagimist, millel istutakse.

> Teaduspõhine konkurents õppetoolide vahel tähendaks laiapõhise *universitas*'e aeglast muundumist kitsalt spetsialiseerunud teaduslaboriteks. Seda aga ei vaja Eesti, sest niisugune areng poleks meile jätkusuutlik ja sarnaneks pigem sildade põletamisele selja taga. „Ülikooliteadusel" on rahvusvahelise väljapaistvuse kõrval veel teinegi eesmärk – toetada õppetööd. Teadus Eestis peaks olema pigem vahend kui eesmärk ja teaduse juhtimine peaks toimuma pigem prääniku kui piitsa abil.

Seetõttu olin mitmetes komisjonides peaaegu ainuisikuliselt vastu ka uuele *sihtfinantseerimise* põhimõttele, mis aga ikka veel toimib, ehkki tähendab vaid Teadusfondi mõttetut dubleerimist erinevate ekspertkogude poolt, kus suuremaid projekte sihtfinantseeritakse, väiksematele aga *jagatakse grante*. Sisuliselt tekkis *kaks sarnast grantisüsteemi*, milliste erinevuseks oli vaid projektide suurus.[6]

Sihtfinantseerimise korraldamiseks loodi *Teadusfondi* kõrvale *Teaduse Kompetentsinõukogu*. Kummalgi olid omad eksperdid ja retsensendid. Kui minu ajal oli töö nõukogus tasustamata, siis praegu saavad hüvitist kõik eksperdid. Ja väga palju raha. Selle asemel, et anda see raha töötegijatele – teadlastele, läheb see hoopis teaduse korraldamisele ja korraldamise mitmekordsele dubleerimisele paljudes eri fondides, mille efektiivsus ja tasuvus tervikuna on kaheldav.

Ma ei pidanud ka seda õigeks, et mitte mingit raha ei delegeeritud ülikooli juhtkonna käsutusse teadustöö tüürimiseks ülikooli nägemuse järgi. Rektorilt võeti niiviisi kõik tema hoovad, mis teadustöö juhtimisse puutus. Hiljem seda viga mõisteti ja praegu eraldatakse ülikoolidele vähemalt näpuotsaga minimaalseid baasrahasid, mida juhtkond võib oma äranägemise järgi ülikooli sees kasutada.[7]

Ministeeriumi positsioon Teadusfondi suhtes muutus järjest domineerivamaks, ametnikud võtsid teadlastelt üle üha rohkem ja rohkem otsustusõigust. Kui Teadusfond pidi ministeeriumi survel hakkama Eestis ennatlikult kinni panema teadusasutusi ja kui nägin, et enamus Nõukogu liikmetest ka ise on hakanud mõtlema nagu ministeerium, küpses mul soov astuda kõrvale.

Tartus toimus meil koosolek, kus tuli vastu võtta otsus kahe teadusasutuse sulgemise kohta. Kuna ma ei saanud sellel koosolekul haiguse tõttu ise osaleda, siis saatsin Nõukogule selles küsimuses oma memorandumi. Seda ei arvestatud. Järgmist koosolekut avades esinesin avaldusega:

> Eesti Teadusfondi Nõukogu koosolekule 10. veebr. 1997
>
> *Avaldus*
>
> *Oma läkituses ETFN koosolekule 11. jaanuaril 1997, kus arutati ja võeti vastu otsus teadusasutuste 1997. a. sihtfinantseerimise küsimuses, juhtisin tähelepanu sellele, et seoses Haridusministeeriumi korraldusega esitada sihtfinantseerimise eelarve projekt 15. jaanuariks, ei olnud võimalik täita meie Nõukogu 16. detsembri otsuseid 5.1, 5.3 ja 5.5, ehk teiste sõnadega, ei olnud enam võimalik läbi viia teadusasutuste 1997. a. sihtfinantseerimist, lähtudes täidetavate teemade analüüsi tulemustest, nii nagu see oli meil kavandatud ja nii nagu seda nägi ette ka HM komisjoni otsus 31. okt.1996. Tekkinud olukorras, kus korrektne analüüs polnud võimalik, nägin ainsa võimalusena lähtuda*

[6] Nüüd, 15 aastat hiljem on sellest hakatud aru saama. Praegu teoksil olev uue teadusreformi väljatöötamine näebki ette senise sihtfinantseerimise kui instrumendi kaotamist.

[7] Tänaseks on see stabiilsust garanteeriva baasraha suhe konkursipõhise jaotatava rahahulgaga võrreldes suurenenud ja isegi koguni 80-protsendini, mis viib meid nüüd aga hoopis teise äärmusesse, võrreldes sellega, kuidas mõeldi Teadusfondi algaastatel.

‚möödunud aasta status quo*'st, muutes seda mõnevõrra vaid väga veenvate argumentide olemasolul. Olukorras, kus informatsioon oli mittetäielik ja sisuliselt sunniti Fondi ülepeakaela tegutsema, oleks pidanud nimelt just aega maha võtma, et analüüsida aruannete põhjal tegelikku olukorda, võtta varakult vastu otsused järgmise aasta sihtfinantseerimise kujundamiseks ja teavitada aegsasti ette asutusi, kes langevad edaspidi Teadusfondi poolt finantseerimisest välja. Lähtudes ülaltoodust ning jäädes eriarvamusele Nõukogu 11. jaan. sihtfinantseerimise otsuste suhtes, tunnen, et ma ei ole õige isik praeguseid Nõukogu seisukohti esindama ja kaitsma. Seetõttu, viidates ka oma tervise järsule halvenemisele, palun end vabastada Nõukogu esimehe kohustuste täitmisest.*

Lugupidamisega Raimund Ubar.

Iseloomulik oli ühe Nõukogu liikme reaktsioon mu avaldusele. Ignoreerides täielikult mu kirja sisu, ütles ta: „Kirja esimese poolega pole ma sugugi nõus, aga tervise halvenemist loen küll mõjuvaks põhjuseks tagasiastumisel". Seejärel andsin koosoleku juhatamise üle Nõukogu aseesimehele akadeemik Loit Reintamile.

Sellega lõppes mõneks ajaks arvutitehnika instituudi esindatus Eesti teaduspoliitikas.

ATI on tagasi Eesti teadust korraldamas

Alates aastast 2009 valiti Sihtasutusse Eesti Teadusfond taas esindaja TTÜ arvutitehnika instituudist – prof. **Gert Jervan**, kes töötas seal aastatel 2009 – 2012 reaalteaduste ja tehnika ekspertkomisjoni liikmena.

Pärast Eesti Teadusfondi ümber formeerimisest Sihtasutuseks Eesti Teadusagentuur (ETAG) oli Gert Jervan ETAG-i ekspertkomisjoni liige (2013) ning praegu töötab ta ETAG-i Eesti – Prantsuse koostööprogrammi „J. F. Parrot" ekspertkomisjonis, alates 2012 selle liikmena ning alates 2014 ekspertkomisjoni juhina.

Ülevaade instituudi ETF-i grantidest

Alljärgnev on ülevaade aastatel 1993 - 2015 instituudis teoksil olnud ETF-i teadusgrantidest, mille omanikeks on olnud **Sergei Devadze**, **Peeter Ellervee**, **Maksim Jenihhin**, Gert Jervan, **Artur Jutman**, **Andres Keevallik**, **Margus Kruus, Jaan Raik**, **Aleksander Sudnitsõn**, **Kalle Tammemäe** ja **Raimund Ubar**. Ülevaade grantide kokkusurutud annotatsioonide näol annab küllaltki hea ülevaate ATI teadustöö kulgemisest, temaatikatest ja arengust nimetatud ajajärgul. Ära on märgitud ka grantidega seotud olnud doktoritööde kaitsjate nimed, kusjuures grantihoidjad on seejuures olnud ka mainitud doktorantide juhendajateks.

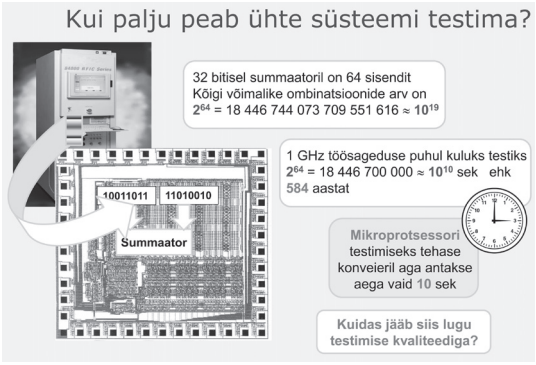
Grantide loetelu

1. G-1433 (R. Ubar, 1993-1995) „Meetodid ja tarkvara digitaalsüsteemide diagnostikaks"
2. G-1434 (R. Ubar, 1994-1995) „TTÜ elektroonika kompetentsuskeskuse infrastruktuur"
3. G-1546 (A. Keevallik, 1994-1996) „Dekompositsioonmeetodid digitaalsüsteemide sünteesiks kõrgtaseme kirjeldustest"
4. G-1824 (M. Kruus, 1995-1997) „Testitavate lõplike automaatide võrkude dekompositsioonilise sünteesi meetodid"
5. G-1850 (R. Ubar, 1996-1999) „Digitaalsüsteemide diagnostilise analüüsi meetodite uurimine ja väljatöötamine"
6. G-2104 (R. Ubar, 1996-1998) „Digitaalelektroonika projekteerimise ja teadusuuringute keskkond"
7. G-2808 (K. Tammemäe, 1997-1998) „Kontroll-orienteeritud süsteemide riist- ja tarkvara koosdisaini meetodid"
8. G-3385 (A. Keevallik, 1998-2000) „Digitaalsüsteemide dekompositsiooniline süntees entroopsete keerukushinnangute alusel"
9. G-3395 (M. Kruus, 1998-1999) „Testitavate lõplike automaatide võrkude dekompositsioonilise sünteesi meetodid"
10. G-3658 (R. Ubar, 1999-2002) „Digitaalelektroonika disaini ja testi virtuaallaboratoorium"
11. G-3667 (K. Tammemäe, 1999) „PCI-siinil krüptokiirendi Interneti serveritele"
12. G-4076 (A. Kalja, 2000-2003) „Raalprojekteerimise ja modelleerimisülesannete lahendamine tehisintellekti süsteemide abil"

13. G-4294 (P. Ellervee, 2000-2001) „Multiparadigmaline ühekiibi digitaalsüsteemide projekteerimise keskkond“
14. G-4300 (R. Ubar, 2000-2003) „Disainivigade diagnostika digitaalskeemides ja -süsteemides“
15. G-4876 (A. Sudnitsõn, 2001-2002) „Lõplike automaatide dekompositsiooniliste sünteesimeetodite arendamine“
16. G-5141 (P. Ellervee, 2002) „Hajuskontrollerid suure-graanuliliste rekonfigureeritavatele riistvaralistele arhitektuuridele“
17. G-5601 (P. Ellervee, 2003-2005) „Digitaalsüsteemide käitumuslik ja funktsionaalne tükeldamine“
18. G-5637(J. Raik, 2003-2005) „Kõrgtaseme testigenereerimine ja testitavuse analüüs digitaalskeemidele“
19. G-5643 (A. Sudnitsõn, 2003-2005) „Võrreldavatel kvaliteedihinnangutel põhinev digitaalsüsteemide dekompositsioon“
20. G-5649 (R. Ubar, 2003-2006),„Digitaalskeemide defekt-orienteeritud diagnostika“
21. G-5766 (A. Kalja, 2004-2007) „Raalprojekteerimise ja modelleerimisülesannete lahendamine hajutatud teadmisbaaside abil“
22. G-5910 (R. Ubar, 2003-2006) „Isetestivad digitaalsüsteemid“
23. G-6717 (P. Ellervee, 2006-2009) „FPGA põhine disaini valideerimiskeskkond“
24. G-6829 (G. Jervan, 2006-2009) „Kiipvõrkudel põhinevate kiipsüsteemide veakindlus ja testimine“
25. G-7068 (J. Raik, 2007-2010) „Kõrgtaseme otsustusdiagrammidel põhinevad verifitseerimis- ja testimismeetodid“
26. G-7483 (R. Ubar, 2008-2011) „Isediagnoosivad digitaalsüsteemid“
27. G-7894 (A. Jutman, 2009-2012) „Kiibisisesed instrumendid elektroonikasüsteemide testimiseks“
28. G-8478 (M. Jenihhin, 2010-2013) „Riistvara funktsionaalne verifitseerimine ja silumine“
29. G-9251 (A. Sudnitsõn, 20012-2015) „Rekonfigureeritav protsessor kombinatoorsete ülesannete lahendmiseks.“
30. G-9423 (S. Devadze, 2012-2015) „Kiibisisesed instrumendid elektroonikasüsteemide testimiseks“
31. G-9429 (J. Raik, 2012-2015) „Isetestivad usaldatavad mesokroonsed kiipvõrgud“

Grantide annotatsioonid

G-1433 (**Raimund Ubar**, 1993-1995) „Meetodid ja tarkvara digitaalsüsteemide diagnostikaks“[8]



*Digitaalsüsteemide diagnostika võtmeküsimus: kui palju, s.t. kui „täielikult“ peab süsteemi testima garanteerimaks, et süsteem ei ole rikkis. Matemaatikud on arvutanud, et mikroprotsessorit peaks testima **37** aastat, diagnostikateadlased aga teavad, kuidas testida vähem kui minutiga. Kus on siis tõde? Või on teadlased leiutanud ajamasina?*

Viidi läbi alternatiivsete graafide (AG) teoorial põhinevaid uuringuid digitaalsüsteemide testide sünteesi üldistamiseks süsteemi erinevatel tasanditel (loogika, registrite, protseduuride ja käitumise tasanditel). Töö tulemused näitasid, et AG-mudelit on võimalik kasutada universaalse matemaatilise baasina laia spektri diagnostikaülesannete lahendamiseks, võimaldades nii ühtse mudeli loomist kui ka ülesannete taandamist standardprotseduuridele (*horisontaalne* universaalsus). AG võimaldab ühtset lähenemisviisi erinevatel süsteemi tasanditel (*vertikaalne* universaalsus). Erinevalt binaar-otsustusdiagrammidest (BDD), AG toetab testide sünteesi struktuursete rikete suhtes. Projekti tulemusteks on: uued meetodid testide sünteesiks, AG-põhine testide sünteesi süsteem Turbo Tester, mis on juurutatud õppetöösse TTÜ-s ja reas ülikoolides Soomes, Rootsis ning Inglismaal. Samal teoreetilisel baasil loodi ka testigeneraator FTGEN mikroprotsessorsüsteemide tarbeks.

G-1434 (Raimund Ubar, 1994-1995) „TTÜ elektroonika kompetentsuskeskuse infrastruktuur“[9]

Instituudis loodi disaini ja testi keskkond. Disaini tarkvarast on kasutada XILINX ning ALTERA

[8] R. Ubar. Test Generation for Digital Systems Based on Alternative Graphs Theory. Lecture Notes in Computer Science No 852. Dependable Computing - EDCC-1. Springer-Verlag, 1994, pp.151-164.

[9] R. Ubar, A. Buldas, P. Paomets, J. Raik, V. Tulit. A PC-based CAD System for Training Digital Test. Proc. 5th EUROCHIP Workshop on VLSI Design Training. Dresden, October 17-19, 1994, pp.152-157.

kiipide projekteerimissüsteem, CADENCE ASIC-disainisüsteem, SYNOPSYS loogikasünteesi pakett, disainitarkvara SOLO-1400, migratsiooni ja optimeerimise pakett ASYL, simulaatorid HILO, VHDL ja VIEWLOGIC ning skeemiredaktorid ORCAD ning DIXI-CAD. Õppetöös kasutatakse ka instituudis välja töötatud diagnostikatarkvara TURBO TESTER ja digitaalsete juhtautomaatide sünteesi süsteemi DILOS.

G-1546 (**Andres Keevallik,** 1994-1996) „Dekompositsioonmeetodid digitaalsüsteemide sünteesiks kõrgtaseme kirjeldustest“[10]

Teema eesmärk: VHDL kirjeldustest ekstraheeritud juhtautomaatide dekompositsioonalgoritmide väljatöötamine, programne realiseerimine ja katsetamine. Põhitulemused: meetodid VHDL kirjeldustest ekstraheeritud automaatide dekomponeerimiseks, mida on edukalt katsetatud rahvusvaheliselt aktsepteeritud katseülesannete kogumil. Arenguperspektiivid: Süsteemi DILOS näol on olemas paindlik uurimisinstrument digitaalsüsteemide sünteesi ja analüüsi ülesannete lahendamiseks ning algoritmide uurimiseks. On avanenud võimalus uute dekompositsiooniülesannete uurimiseks (*design for testability, low power synthesis* jne.). Kaitstud doktoritöö: **Kalle Tammemäe** – 1997

G-1824 (M. Kruus, 1995-1997) „Testitavate lõplike automaatide võrkude dekompositsioonilise sünteesi meetodid“

Projekti käigus töötati välja testitavate lõplike automaatide võrkude dekompositsioonilise sünteesi meetodid, samuti meetodid nimetatud automaatide võrkudele kontrolltestide loomiseks. Meetodid realiseeriti programmikompleksina ning viidi läbi ulatuslikud eksperimentaalsed uuringud nii reaalsete kui ka pseudojuhuslike automaatide võrkrealisatsioonidega.

G-1778 (**Raimund Ubar**, 1996-1999) „Digitaalsüsteemide diagnostilise analüüsi hierarhiliste meetodite väljatöötamine“[11]

Eesmärk: välja töötada ühtne teooria ja selle baasil uued efektiivsemad hierarhilised meetodid keerukate digitaalsüsteemide analüüsiks. Põhitulemused: üldistatud rikete mudel digitaalskeemide rikete simuleerimiseks alternatiivsetel graafidel ja uus hierarhiline testigeneraator digitaalsüsteemidele, mida on edukalt katsetatud ühistöös Fraunhoferi instituudiga Dresdenis Saksamaal. Projekti raames edasiarendatud tarkvara Turbo Tester on kasutusel Rootsis (Jonköpingi ülikoolis ja firmas DIGSIM DATA AB Linköpingis), Soomes (Helsingi Tehnikaülikool), teda on kasutatud Michigani Ülikooli tudengite õpetamisel USA-s ja plaanitakse juurutada õppetöösse Bratislava Tehnikaülikoolis ja Sofia Tehnikaülikoolis. Tarkvara kohendamise eesmärgil laiemaks kasutuseks Euroopa ülikoolides on käivitatud uus europrojekt SYTIC programmi INCO-COPERNICUS raames. Töö raames kaitsti doktoritöö: **Julia Dušina** – 1999.

G-1779 (Raimund Ubar, 1996-1998) „Digitaalelektroonika projekteerimise ja teadusuuringute keskkond“[12]

Eesmärgiks oli luua instituudi juures oleva disaini ja testi keskuses professionaalsete disainipakettide SYNOPSYS, CADENCE, XACT jt. ning nende senise kasutamiskogemuse baasil töökeskkond süsteemide juhtimise metaprogrammide (skriptide), tööriistade, liideste, konverterite ja mudelteekide näol, et võimaldada arvutiteadlastel ja inseneridel katsetada uusi ideesid ning innovaatilisi süsteemide arhitektuurilahendusi. Põhitulemused: (1) liidesed kõrgtasemel süsteemide sünteesivahendite ja ETF grantide 574 ja 1850 raames loodud diagnostikatarkvara vahel, (2) tarkvara Turbo Tester funktsioonide laiendamine, (3) kompleks eksperimente uute diagnostikameetodite katsetamiseks, ning (4) arendustööd krüptograafiaelektroonika valdkonnas. **Jüri Põldre** poolt projekteeritud esimene suur integraalskeem Eestis – krüptoprotsessor PLD001 on vastuvõetud ülemaailmsesse andmebaasi „Design and Reuse“ Prantsusmaal. Turbo Testrit ja krüptoprotsessorit PLD001 demonstreeriti 1998. a. Hannoveri messil. Töö raames kaitsti doktoritöö: **Jaan Raik** – 2001.

---

[10] Keevallik, A.; Kruus, M.; Lensen, H. (1997). Decompositional Design of Testable FSM Networks. Proceedings of 4th International Workshop „Mixed Design of VLSI Circuits and Systems“. Poznan, Poland 1997.

[11] R. Ubar. Test Synthesis with Alternative Graphs. IEEE Design and Test of Computers. Spring, 1996, pp.48-59.

[12] G. Jervan, A. Markus, P. Paomets, J. Raik, R. Ubar. Turbo Tester: A CAD System for Teaching Digital Test. In „Microelectronics Education“. Kluwer Academic Publishers, pp.287-290, 1998.

G-1873 (**Kalle Tammemäe**, 1997-1998) „Kontroll-orienteeritud süsteemide riist- ja tarkvara koosdisaini meetodid“[13,14]

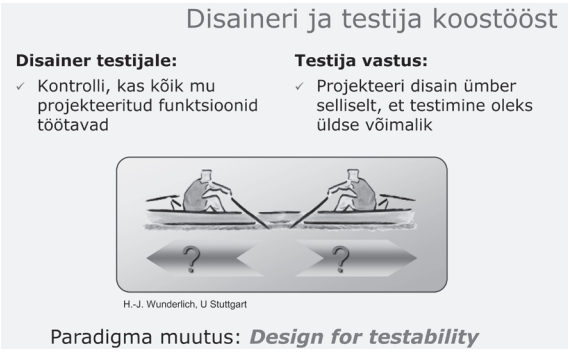
Projektis viidi läbi kontroll-orienteeritud süsteemide uurimine nende koosdisaini meetodite ja metoodika väljatöötamise eesmärgil ja töö tulemusena valmis õppe- ja uurimistöös kasutatav süsteemide sünteesipakett, mis võttis aluseks lähtekirjelduste detailse profileerimise tulemused baasplokkide tasemel. Projektis läbi viidud tööde kompleksi kuulus ka Java keele kasutatavuse uuring ning RSA krüptoalgoritmi baastehte FPGA-realisatsiooni väljatöötamine.

G-3385 (**Andres Keevallik**, 1998-2000) „Digitaalsüsteemide dekompositsiooniline süntees entroopsete keerukushinnangute alusel“[15]

Teema eesmärk: Tükelduste ja tükelduste paaride entroopsetele hinnangutele baseeruva automaatide võrkude informatsioonilise modelleerimise meetodite väljatöötamine ning nende analüüs. Minimaalse infosidemega täieliku tükelduste süsteemi valik ja uute ligikaudsete dekompositsioonimeetodite väljatöötamine selle alusel. Entroopsete võrefunktsioonide omaduste analüüs ning uue kvantitatiivse dekompositsiooniteooria aluste väljatöötamine. Põhitulemused: On edasi arendatud automaatide võrkude informatsioonilise modelleerimise metoodikat, mis võimaldab lõpliku automaadi dekomponeerimist baseerudes minimaalsele tükelduste infosidemele. Dekompositsiooniülesande lahendamise optimeerimine tükelduste entroopsete keerukushinnangute alusel.

G-3395 (**Margus Kruus**, 1998-1999) „Testitavate lõplike automaadivõrkude dekompositsioonilise sünteesi meetodid“[16]

Eesmärk: Välja töötada lõplike automaatide dekompositsiooniteooriale baseeruvad testitavate juhtseadmete võrkrealisatsioonide loogilise sünteesi meetodid ja algoritmid. Välja töötada automaadivõrkudele universaalsete testjadade sünteesi meetodid, kasutades baasinfona juhtseadme kõrgtasandi kirjeldust. Luua eelpool nimetatud meetodite baasil programmide kompleks, mis võimaldaks interaktiivselt dekompositsioonilise sünteesi käigus juhtida saadava realisatsiooni testitavust ning sünteesida samaaegselt ka universaalsed testjadad. Programmide kompleksi väljund peab olema kasutatav sisendina tunnustatud digitaalsünteesi süsteemidele (SYNOPSYS jt.). Viia läbi väljatöötatud metoodika eksperimentaalne analüüs. Põhitulemused: Uued meetod ja algoritmid hästitestitavate juhtseadmete võrkrealisatsioonide loogiliseks sünteesiks, baseerudes lõplike automaatide dekompositsiooniteooriale; uus metoodika võimaldab sünteesi protsessis arvestada testitavust kui üht realisatsiooni põhilist optimeerimisparameetrit. Universaalsete testjadade sünteesimeetodite ja algoritmide väljatöötamine; metoodika põhineb klassikalise kontrolleksperimentide teooria vahendite rakendamisel reaalse keerukusega sünteesiülesannete lahendamiseks.



Projekteerijate ja testijate vahel valitseb igipõline vastuolu, mis seisneb teineteisele „vastutöötamises“: mida paremate näitajatega on süsteem projekteeritud (suurem kiirus, väiksem energiatarve), seda vähema usaldusväärsusega saab süsteemi testida. Tõde (parim majanduslik tasuvus) on kusagil vahepeal. Ja seda tõde otsivadki ATI teadlased.

[13] Jüri Põldre, Kalle Tammemäe, Marek Mandre „Modular Exponent Realization on FPGAs“, Field Programmable Logic and Applications (8th International Workshop, FPL'98), 1998, pp. 336-347.

[14] Põldre, J; Tammemäe, K. (1999). Reconfigurable Multiplier for Virtex FPGA Family. Field Programmable Logic and Applications: 9th International Workshops, FPL'99, Glasgow, Sept. 1999. Ed. Lysaght, Patrick, Irvine, James, Hartenstein, Reiner (Eds.). Berlin: Springer-Verlag, 359-364. (Lecture Notes in Computer Science; 1673).

[15] Keevallik, A.; Kruus, M.; Lensen, H. (1998). Checking Sequence Design for FSM. Proceedings of 5th International Conference on „Mixed Design of Integrated Circuits and Systems“ Lodz, Poland, June 18-20, 1998. 325–330.

[16] Kruus, Margus (2000). Testitavate lõplike automaatide võrkude dekompositsioonilise sünteesi meetodid : Sihtasutuse Eesti Teadusfond grandiprojekti nr. 3395 lõpparuanne.

G-3658 (**Raimund Ubar**, 1999-2002) „Digitaalelektroonika disaini ja testi virtuaallaboratoorium“[17]

Projekti eesmärgiks oli luua arvutitehnika instituudi juurde professionaalsete disainipakettide SYNOPSYS, CADENCE, XILINX, ALTERA jt. baasil kaasaegne töökeskkond, luues vastavaid süsteemide juhtimise metaprogramme (skripte), tööriistu, liideseid, konvertereid ja mudelteeke, mis võimaldaksid elektroonikainseneridel ja arvutiteadlastel katsetada uusi ideesid ning arhitektuurilisi innovatiivseid lahendusi süvenemata liigsetesse tehnilistesse detailidesse disainisüsteemide kasutamisel. Põhitulemused: (1) internetipõhine eksperimentaaluuringute keskkond, (2) uued meetodid hästitestitavate ja isetestivate süsteemide projekteerimiseks ning (3) internetipõhine õpitarkvara diagnostika valdkonnas.

G-3667 (**Kalle Tammemäe**, 1999) „PCI-siinil krüptokiirendi Interneti serveritele“[18]

Eesmärgiks oli krüptoalgoritmide riistvaraliste kiirendusvõimaluste uurimine. Põhitulemus: krüptograafilise moodulkorruti arhitektuur ja selle genereerimisprotsess. Arenguperspektiivid: töö objekt võib saada osaks rahvusvahelisest intellektuaalse omandi andmebaasist VLSI kiipide projekteerimiseks; evitamine sõltub katsetustest Virtex FPGA kiipidel. Tingituna projekti täitjate lahkumisele TTÜst on tulemused nõrgemad planeeritust.

G-4076 (**Ahto Kalja**, 2000-2003) „Raalprojekteerimise ja modelleerimisülesannete lahendamine tehisintellekti süsteemide abil“

Antud projekt on teoreetilis-eksperimentaalne uurimus. Teoreetiline osa sisaldab uuringuid tehisintellekti alal kasutatavate matemaatiliste meetodite sobivuse kohta projekteerimistöö ja modelleerimise valdkonnas. Eksperimentaalses osas kasutatakse tehisintellekti programmeerimismeetodeid (teadmisbaaside kasutamine, loogiline programmeerimine, tarkvara automaatne süntees). Kaitsti doktoritöö: **Irina Astrova** – 2003.

G4294 (**Peeter Ellervee**, 2000-2001) „Multiparadigmaline ühekiibi digitaalsüsteemide projekteerimise keskkond“[19]

Põhieesmärgiks on olemasolevate efektiivsete digitaalsüsteemide projekteerimise meetodite integreerimine ühtsesse keskkonda ja olemasolevate meetodite kitsaskohti adresseerivate meetodite väljatöötamine, mis kokkuvõttes võimaldaksid luua prototüüpsüsteemi ülikiirete ning ülikeerukate ühekiibi digitaalsüsteemide projekteerimiseks. Valikuna projekteerimisteekonnast keskendutakse järgnevatele alamülesannetele: (1) standardsisendkeelte nagu VHDL ja C/C++ alamhulkade transleerimine uudsesse ja paindlikku projekteerimissüsteemi sisekeelde IRSYD (*Internal Representation for System Description*); (2) andmevoo osa automaattöötluse arendamine, sh väga pikkade operandidega teostatavate operatsioonide tükeldamine kompromissina jõudluse ja hinna (hõivatava pooljuhi pinna) vahel. Kitsamas mõttes kuulub andmevoo alla veel kõikvõimalike operatsioonidega seotud andmete hoidmiseks vajalike mälustruktuuride süntees; (3) süsteemi IRSYD-sisekirjelduse analüüsi- ja tükeldamismeetodite arendamine (alamülesanne on seotud koosdisaini küsimustega); (4) disaini väljundkvaliteedi hindamise meetodite arendamine, pidades esmajoones silmas kiibitaseme ühendus- ja liidesskeemide mõju arvestamist süsteemi tasemel; (5) veebipõhiste liideste tegemine kõigile väljatöötatavatele alamsüsteemidele, mis võimaldaks avatud juurdepääsu ja kasutamise.

G-4300 (Raimund Ubar, 2000-2003) „Disainivigade diagnostika digitaalskeemides ja -süsteemides“[20]

Töötati välja teoreetiline baas traditsioonilise testide sünteesi metodoloogia kasutamiseks disainivigade diagnostikas, mis seisneb uue matemaatilise teisendusaparaadi loomises riistvara konstantsete rikete mudeli kujutise leidmiseks disainivigade universumis. Uus kontseptsioon võimaldab kasutada

---

[17] K.-H. Diener, G. Elst, E. Gramatova, W. Kuzmicz, Z. Peng, R. Ubar. Virtual Laboratory for Research in Dependable Miroelectronics. 7th Baltic Electronics Conference, Tallinn, October 8-11, 2000, pp.217-220.

[18] J. Põldre, K. Tammemäe (1999). Reconfigurable Multiplier for Virtex FPGA Family. Field Programmable Logic and Applications: 9th Internat Workshop, FPL'99, Glasgow, Sept. 1999. Ed. Lysaght, Patrick, Irvine, James, Hartenstein, Reiner (Eds.). Berlin: Springer-Verlag, 359–364. (Lecture Notes in Computer Science; 1673).

[19] P. Ellervee, M. Miranda, F. Catthoor, A. Hemani. System-level Data-Format Exploration for Dynamically Allocated Data Structures. IEEE Transactions on CAD, Vol. 12, pp.1469-1472.

[20] A. Jutman, R. Ubar (2000). Design error diagnosis in digital circuits with stuck-at fault model. Microelectronics Reliability, 40(2), 307-320.

traditsioonilist riistvara testimise tarkvara disainivigade lokaliseerimisel. Tulemus on saadud kahe teadusvaldkonna – riistvara testimine ja disaini verifitseerimine – piirimail, ühendamaks kahte erinevat koolkonda. Töötati välja disainivigade diagnostikameetod, mis erinevalt tuntud lähenemisviisidest ei vaja veamudeleid. Digitaalsüsteemide verifitseerimise efektiivsuse tõstmiseks töötati välja ühtsel teoreetilisel baasil (otsustusdiagrammide mudelit kasutades) rida uusi simuleerimismeetodeid nii loogika- kui ka registersiirete kõrgtasandil. Töötati välja uus kontseptsioon defekt-orienteeritud testide genereerimiseks ja rikete simuleerimiseks. Formuleeriti digitaalsüsteemide hübriid-isetestimise ja diagnostika protseduuride uudne optimeerimisprobleem. Kaitsti kaks doktoritööd (**Marina Brik** – 2002, **Artur Jutman** – 2004).

G-4876 (A**leksander Sudnitsõn**, 2001-2002) „Lõplike automaatide dekompositsiooniliste sünteesimeetodite arendamine ja vastavate WWW-põhiste disainivahendite loomine“[21]

Eesmärgiks oli välja töötada dekompositsioonilised sünteesimeetodid lõplike automaatide loomiseks ja nende meetodite realiseerimine WWW-põhise tarkvarakeskkonnana. Teoreetiliseks aluseks oli lõplike automaatide algebraline struktuuriteooria, mida arendati edasi vastavalt kaasaegsetele digitaalsüsteemide disainimeetoditele. Sünteesitavat automaatide võrku optimeeritakse vastavalt antud kriteeriumitele, millest keskseim on tarbitava energia minimeerimine. Töötati välja meetodid digitaalsüsteemide dekomponeerimiseks, mis võimaldavad dünaamilist energiatarbe minimeerimist erinevates arhitektuurides. Uuringu tulemused kinnitasid, et loogikaelementide lülituste arvu skeemis on võimalik märgatavalt minimeerida ilma skeemi töökiiruse languseta, loobudes ebaolulistest sisenditest skeemi igal konkreetsel töötsüklil. Automaatide dekompositsiooniline süntees viib vajadusele lahendada NP-keerukaid alamülesandeid, mille lahendamiseks töötati välja heuristilised algoritmid.

G-5141 (**Peeter Ellervee**, 2002) „Hajuskontrollerid suure-graanuliliste rekonfigureeritavatele riistvaralistele arhitektuuridele“[22]

Eesmärgiks on olemasolevate automaatide dekompositsioonimeetodite laiendamine, et võtta arvesse suure-graanuliste rekonfigureeritavate arhitektuuride iseärasusi – suured, piiratud funktsionaalsusega rekonfigureeritavad moodulid ja nendevaheliste ühenduste fikseeritud iseloom. Lahendatud ülesanded: (1) kontrolleri-arhitektuuride võimsustarbe analüüs ja hindamismeetodite väljatöötamine, mis arvestaksid moodulite paigutust kristallil. (2) hajuskontrollerite võrguarhitektuuride analüüs ning dekompositsiooni- ja optimeerimismeetodite väljatöötamine minimeerimaks võimsustarvet; (3) Hindamis- ja optimeerimismeetodite sidumine prototüüp-projekteerimiskeskkonnaga xTractor; (4) Prototüüp-mikroskeemi loomine, mis modelleerib suure-graanulilist rekonfigureeritavat arhitektuuri; loodav mikroskeem lubab kontrollida mitte ainult antud projekti raames välja töötatavaid meetodeid, vaid ka kontrollida praktikas nii varasemaid kui ka tulevikus loodavaid disaini-, hindamis- ja testimismeetodeid.

G-5601 (Peeter Ellervee, 2003-2005) „Digitaalsüsteemide käitumuslik ja funktsionaalne tükeldamine“[23]

Töö eesmärgiks on välja töötada uusi meetodeid, algoritme ja tarkvara digitaalsüsteemide tükeldamiseks, lähtudes nende käitumuslikust ja/või funktsionaalsest kirjeldusest. Lahendatud ülesanded: (1) algoritmi käitumusliku kirjelduse tükeldusmeetodid; (2) skeemi komponentide tükeldamine nende funktsioonist sõltuvalt; (3) kahe tükeldusmeetodi sidumine ühtsesse metoodikasse ja vastavate hindamismeetodite väljatöötamine; (4) heuristiliste ning iteratiivsete tükeldusalgoritmide väljatöötamine ja sidumine prototüüp-projekteerimiskeskkonnaga xTractor. Saadud tulemused: (1) algoritmide tükeldamisel saavutati lisaks komponentidevahelise andmevahetuse vähenemisele ka ühenduste koguarvu ja võimsustarbe vähenemine; (2) registersiirete taseme mooduli tükeldamisel võeti komponentide ge-

[21] E. Fomina, A. Keevallik, A. Sudnitson. Entropic Analysis of Finite State Machines' Networks. IEEE 5th International Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS 2002), Brno, Czech Republic, 2002, pp.244-251.

[22] K. Puttaswamy, L. N. Chakrapani, K. W. Choi, Y. S. Dhillon, U. Diril, P. Korkmaz, K. K. Lee, J. C. Park, A. Chatterjee, P. Ellervee, V. Mooney, K. Palem, W.F.Wong (2002). Power-Performance Trade-Offs in second level memory used by an ARM-Like RISC Architecture. In: Rami Melhem (Ed.). Power Aware Computing (211–224). Kluwer Academic / Plenum Publishers.

[23] E. Ivask, P. Ellervee. (2004). VHDL Front-End for High-Level Synthesis Tool xTractor. The 9th Biennial Baltic Electronic Conference (BEC'2004), Tallinn, Estonia, Oct. 2004. 111–114.

nereerimisel arvesse ka füüsikalise taseme parameetreid, mistõttu tulemus saadi oluliselt optimaalsem, võrreldes tükeldamisega algoritmilisel tasemel (3) kahe tükeldusmeetodi kombineeritud kasutamine võimaldab laiendada arhitektuursete lahenduste otsimist ja saavutada täpsemat lõpptulemust; heuristiliste tükeldusmeetodite arendamisel tugineti varasema uurimistöö käigus väljatöötatud kaalutud graafide värvimiseks kasutatud heuristilistele algoritmidele; iteratiivsed meetodid baseeruvad eelkõige närvivõrkude ja geneetiliste optimeerimisalgoritmide omaduste kasutamisel.

Jaan Raiki doktoritöö kaitsmine. Eduka kaitsmise puhul õnnitleb teda oponent Norrast – Einar Aas.

G-5637 (**Jaan Raik**, 2003-2005) „Kõrgtaseme testigenereerimine ja testitavuse analüüs digitaalskeemidele“[24]

Eesmärk: välja töötada uusi algoritme ja programme testide genereerimiseks ja testitavuse analüüsiks keerukatele digitaalskeemidele kõrgematel abstraktsioonitasanditel. Projekti tulemused: täpsem kõrgtaseme rikkemudel, mis põhineb kinnitus- ja skaneerimistesti kombinatsiooni kasutamisel ning selle rakendamine kõrgtaseme testigeneraatoris; meetod ja tarkvara otsustusdiagrammide skeemimudeli genereerimiseks riistvara kirjelduskeelest VHDL; uus algoritm testitavuse mõõtude leidmiseks kõrgtasemel ning vastav tarkvaralahendus; uus, deterministlik algoritm ning vastav tarkvara kõrgtaseme testi kitsenduste lahendamiseks; meetodid ning tarkvara seadme algoritmi optimaalse tsüklite arvu leidmiseks kõrgtaseme testigenereerimisel; projekti raames loodud tarkvaralahenduste integreerimine TTÜ-s välja töötatud testigeneraatorisse DECIDER. Töös saavutatud tulemustel põhineb väitekiri: **Vineeth Govind** – 2009.

G-5643 (**Aleksander Sudnitsõn**, 2003-2005) „Võrreldavatel kvaliteedihinnangutel põhinev digitaalsüsteemide dekompositsioon“[25]

Uuringu eesmärgiks oli välja töötada digitaalsüsteemide sünteesimeetodid, mis valivad etteantud optimeerimiskriteeriumi juures ja kvaliteedihinnangut arvestades alternatiivsetest sünteesiprotsessidest välja parima sünteesi. Uus kontseptsioon põhineb keeruka digitaalsüsteemi jaotamisel väiksemateks, üksteisest sõltumatult toimivateks alamosadeks, mis koos töötades säilitavad süsteemi funktsionaalsuse. Selline lähenemine võimaldas sünteesietappe paremini jälgida, kuna keskendutakse väiksematele ja efektiivsemalt lahenduvatele alamülesannetele. Tulemused: on defineeritud karakteristikud, mis võimaldavad hinnata digitaalskeemi energiatarvet; on väljatöötatud kvaliteedihinnangutel põhinevad dekompositsiooni protseduurid kõrgtasemel; on esitatud automaatide võrgu kodeerimisprobleemi lahendus hüperkuupide sisalduvuse kontekstis; on tehtud lõplike automaatide võrgu tõenäosusliku käitumise analüüs; on käsitletud infovooge lõplike automaatide võrgus; on arendatud metodoloogia tükeldamisprobleemi lahendamiseks FSMD dekompositsiooni puhul. Kaitsti üks doktorikraad: **Jelena Fomina** – 2005.

---

[24] J. Raik, T. Nõmmeots, R. Ubar. A New Testability Calculation Method to Guide RTL Test Generation. Journal of Electronic Testing: Theory and Applications – JETTA. Springer Science + Business Media, Inc. 21, pp.73-84, 2005.

[25] E. Fomina, A. Keevallik, M. Kruus, A. Sudnitson. A Decomposition Procedure for Register-Transfer Level Power Management, Int. Conf. on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'2003), Sofia, Bulgaria, ACM Press, 2003, v.1, pp.21-26.

G-5649 (**Raimund Ubar**, 2003-2006)„Digitaalskeemide defekt-orienteeritud diagnostika“[26]

Uurimistöö eesmärgiks oli edasi arendada digitaalsüsteemide diagnostika teooriat, luua uut tüüpi matemaatilisi mudeleid, ning töötada uuendatud teoreetilise baasi alusel välja efektiivseid meetodeid, algoritme ja tarkvaratööriistu defekt-orienteeritud testide sünteesiks ja analüüsiks digitaalsüsteemides. Panus konfliktsituatsiooni lahendamisele digitaalsüsteemide diagnostikas: leiti viis, kuidas parandada testimise ja diagnostika kvaliteeti süsteemide kasvava keerukuse tingimustes. Traditsioonilised loogikataseme mudelid on kaotanud praktilise tähtsuse nii ebapiisava täpsuse kui ka keerukuse tõttu. Täpsuse suurendamine loogikataseme rikkemudeli asendamisega transistortaseme defektimudeliga tähendaks keerukuse veelgi suuremat kasvu. Teiselt poolt, loogikatasemel simuleerimise asendamine kõrgtaseme operaatoritega tähendaks rikete simuleerimise täpsuse langust.

Granti raames töötati välja süsteemide hierarhilise diagnostika universaalkontseptsioon, mille aluseks sai uus funktsionaalne rikkemudel, mis sisuliselt tähendab meetodit diagnostilise info kujutamiseks ühelt hierarhiatasandilt teisele. Alumisel tasandil defineeritakse rike struktuurselt, ülemisel – funktsionaalselt, teatava kitsendusena. Uue mudeli erijuhuks on defektide kujutamine transistortasandilt loogikatasandile võimaldamaks modelleerida defekte kõrgematel tasanditel. Rikete ühtne definitsioon uue mudeli näol suvalise tasandi jaoks võimaldab rakendada universaalseid diagnostikameetodeid eri tasandite jaoks, mis teeb süsteemide diagnostika transparentseks ja kergemini automatiseeritavaks. Uuritud probleemid ja uued teadustulemused võib jagada kolme gruppi: (1) mudelid digitaalsüsteemide täpsemaks diagnostiliseks modelleerimiseks; (2) uued rikete simuleerimise ja analüüsi meetodid testide kvaliteedi efektiivsemaks mõõtmiseks; (3) uued meetodid efektiivsemaks testide genereerimiseks digitaalskeemidele ja süsteemidele.

Töö oli koordineeritud 6 rahvusvahelise projektiga s.h. 5. Raamprogrammi europrojektid REASON ja eViking II. Koostööpartneriteks oli rohkem kui 20 ülikooli Euroopas. Granti raames avaldatud 28 ühispublikatsiooni kaasautoriteks olid 23 teadlast 14 ülikoolist 8 välisriigist. Kokku avaldati granti tulemusena 55 publikatsiooni, s.h. 2 monograafiat. Kaitsti kaks doktoritööd (**Eero Ivask** – 2006, **Elmet Orasson** - 2007).

G-5766 (**Ahto Kalja**, 2004-2007) „Raalprojekteerimise ja modelleerimisülesannete lahendamine hajutatud teadmisbaaside abil“

1. Uurida, hinnata ja võrrelda loova töö tehnikaid, loovuse kasutamist modelleerimis- ja projekteerimisülesannete lahendamisel, loovust ja leiutamist toetavaid tarkvarasüsteeme (näit. TRIZ jt.). Oodatavad tulemused: Võrdlusülevaated. Eksperimentaalsed arvutisimulatsioonid erinevate loovusülesannete lahendamisel; 2. Uurida teadmisbaaside koostamist ja kasutamist võrguhalduse ülesannete lahendamisel. Kasutada andmekaevandamise meetodeid suuremahuliste teadmisbaaside töötlemisel diagnostikaülesannete lahendamiseks. Oodatavad tulemused: arvutivõrgu diagnostika teabebaaside andmekaevandamise algoritmide kohandamine ja eksperimentaalne teabebaaside tarkvara; 3. Uurida hajutatud tarkvara arendamise meetodite ja matemaatika tarkvara kasutamist kaasaegsetes masinprojekteerimise ja modelleerimise süsteemides. Oodatavad tulemused: Hindamisaruanded. Süsteemiga NUT loodud masinprojekteerimise tarkvarapakettide täiustused ja eksperimendid JAVA keeles loodava uue teadmisbaase ja programmide automaatset koostamist toetava programmeerimiskeskkonnaga ning paketiga MATLAB; 4. Määratleda perspektiivsed masinprojekteerimise ja modelleerimise tarkvara loomise arengusuunad. Oodatavad tulemused: Masinprojekteerimise tarkvara uued eksperimentaalsed masinaelementide projekteerimise projekteerimispaketid, mis töötavad intelligentsete agentide põhimõttel, kasutavad multimeedia vahendeid ja internet/intranet võrgutöö võimalusi; 5. Täiustada relatsioonilise ja objekt-orienteeritud andmemudelite teisendusreegleid ja -algoritme. Oodatavad tulemused: täiustatud reeglistik, eksperimentaalülesannete lahendused. 6. Uurida tarkvaraprotsesside kvaliteedi tõstmise meetodeid ja standardeid. Oodatavad tulemused: Eesti tarkvarafirmade jaoks sobitatud tarkvaraprotsesside hindamise ja parandamise metodoloogia. Kaitsti doktoritöö: **Risto Vaarandi** – 2005.

[26] J. Raik, R. Ubar, J. Sudbrock, W. Kuzmicz, W. Pleskacz. DOT: New Deterministic Defect-Oriented ATPG Tool. Proc. of 10th IEEE European Test Symposium, May 22-25, 2005, Tallinn, pp.96-101.

G-5910 (**Raimund Ubar**, 2003-2006) „Isetestivad digitaalsüsteemid“[27]

Töötati välja uued efektiivsemad hübriidse isetestimise ja isediagnoosi meetodid ning uut tüüpi testimise ja diagnoosi meetodid digitaalsüsteemidele (kiipsüsteemidele ja -võrkudele). Töötati välja uued defektide ja rikete mudelid täpsemaks isetestimise kvaliteedi hindamiseks. Töötati välja senistest kiiremad rikete simuleerimise meetodid. Töötati välja uus meetod süsteemide veakindluse hindamiseks ja aparatuurne kiirendi rikete simuleerimiseks, mis võimaldab kaks suurusjärku kiiremat rikete analüüsi kui traditsioonilised tarkvarasimulaatorid. Uued teadustulemused on juurutatud veebipõhises uurimiskeskkonnas, mis võimaldab kõrgekvaliteedilist eksperimentaalset uurimistööd ning tugevdada õppetöö kvaliteeti digitaalsüsteemide disaini ja testi valdkonnas. Eriti väärib väljatõstmist kaks tulemust: (1) uus meetod rikete deduktiivseks analüüsiks, kus esmakordselt on ühitatud nii testide kui rikete paralleelanalüüs; meetod võimaldas luua simulaatori, mis ületab kiiruselt tööstuses kasutatavaid professionaalseid analooge; (2) uus meetod defekt-orienteeritud testide genereerimiseks, mis esmakordselt võimaldab tõestada füüsikaliste defektide liiasust (mitteolulisust) skeemides; meetod on realiseeritud testigeneraatoris DOT, mis võimaldab märgatavalt tõsta genereeritavate testide usaldusväärsust. Avaldati monograafia[28], millega on kaasas CD koos soovitatavate diagnostika-alaste tarkvaratööriistadega ning eestikeelne õpik.[29] Granti tulemusena kaitsti doktoritöö: **Maksim Jenihhin** – 2008.

G-6717 (**Peeter Ellervee,** 2006-2009) „FPGA põhine disaini valideerimiskeskkond“[30]

Digitaalsüsteemid funktsionaalsuse kontrolli simuleerimise teel tuntakse valideerimisena. Töö põhieesmärgiks on välja töötada prototüüpkeskkond simuleerimise riistvaraliseks kiirendamiseks – emuleerimiseks. Selle aluseks on eeldus, et riistvara kirjelduskeeles (VHDL, Verilog, SystemC) esitatud süsteemi spetsifikatsiooni on võimalik tükeldada selliselt, et erinevatele abstraktsioonitasemetele vastavad stiilid oleksid modelleeritavad erinevat tüüpi simulaatoritel/emulaatoritel. Eelkõige võib eeldada kolme stiili eristumist: 1) Register-siirete tase, mis on sünteesitav ja seega otseselt realiseeritav FPGAs. 2) Käitumuslik (funktsionaalne) tase, mis on teatud tingimustel sünteesitav kõrgtaseme sünteesi vahenditega, kuigi tulemused ei pruugi olla optimaalsed. 3) Ülejäänud osa, sisuliselt tarkvara, on oma abstraktsusest kaotanud riistavaraga seotu ja on seega kompileeritav kasutatava protsessori jaoks, mis omakorda lubaks kasutada lihtsustatud simulaatoreid. Põhiülesanded ja eeldatavad tulemused võiks üles lugeda järgnevalt: 1) Metoodika ja vahendid riistvara kirjelduskeelte konstruktsioonide grupeerimiseks sünteesitavuse seisukohalt. 2) Arhitektuursed lahendused täitursõlmede (protsessorite) realiseerimiseks - käsustik, mälud, liidesed - ja meetodid nende kasutatavuse hindamiseks erinevail abstraktsiooni tasemeil. 3) Lihtsustatud simulatsioonimehhanismid katmaks realiseeritavaid konstruktsioone (mida on piiratum hulk keelte täielike simulaatoritega võrreldes). 4) Liidesed ja sünkronisatsioonimehhanismid eri tüüpi täitursõlmede vahel. Tarkvara emulatsiooni protsessi juhtimiseks. 5) Juhtnöörid (disainivoog) lähtekirjelduse tükeldamiseks, sünteesiks/kompileerimiseks ja emuleerimise juhtimiseks. Granti raames kaitsti doktoritöö: **Sergei Devadze** – 2009.

G-6829 (**Gert Jervan**, 2006-2009) „Kiipvõrkudel põhinevate kiipsüsteemide veakindlus ja testimine“[31]

Moodsad kiipsüsteemid põhinevad tavaliselt siinilaadsele (nagu AMBA või põhiplaat) struktuurile, kus testvektorite transpordiks on täiendav juhtmestik. Sellised arhitektuurid ei suuda aga tagada moodsate kiipsüsteemide jaoks vajalikku ribalaiust ja latentsust ning seetõttu on tuumade vahelised ühenduste realiseerimisel üha sagedamini kasutatud kiipvõrkude (NoC) ideoloogiat. Taoliste süsteemide testimisel esinevad kõik samad probleemid, mis esinevad moodsate nanomeetriliste kiipsüsteemide juures, kuid lisanduvad ka nii mitmedki uued. Selles projektis uurime me võimalusi kiipvõrkude

---

27 R. Ubar, T. Shchenova, G. Jervan, Z. Peng. Energy Minimization for Hybrid BIST in a System-on-Chip Test Environment. Proc. of 10th IEEE European Test Symposium, May 22-25, 2005, Tallinn, pp. 2-7.

28 O. Novak, E. Gramatova, R. Ubar. Handbook of Electronic Testing. CTU Printhouse, Prague, 2005, 400 p.

29 R. Ubar. Digitaalsüsteemide diagnostika. I. Diagnostiline modelleerimine. Tallinn, TTÜ kirjastus, 2005, 148 lk.

30 M. Gorev, P. Ellervee. FPGA Based System for Video Compression and Transmission over Bluetooth. The 53rd IEEE Int. Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS'2010), Seattle, Washington, USA, Aug. 2010. IEEE, 367–370.

31 Tagel, Mihkel, Ellervee, Peeter, Jervan, Gert (2009). Scheduling Framework for Real-time Dependable NoC-Based Systems. International Symposium on System-on-Chip 2009 (95–99). IEEE.

funktsionaalsuse uuesti kasutamiseks testimise eesmärgil. Seda tööd teostatakse paralleelselt taolistele arhitektuuridele sobivate testimismeetodite väljatöötamisega. Meie tähelepanu all on hübriidsed isetestimise meetodid, kui kõige lootustandvam tehnoloogia taoliste süsteemide testimiseks. Selle projekti raames plaanime me luua meetodeid, algoritme ja tarkvara loodavate hübriidsete isetestitavate struktuuride ja kiipvõrkude optimeerimiseks. Sellele lisaks pööratakse projekti teises pooles ka tähelepanu loodavate kiipvõrkude veakindlusele ja selle parandamise meetoditele. Töö raames kaitsti doktoritöö: **Mihkel Tagel** – 2012.

G-7068 (**Jaan Raik**, 2007-2010) „Kõrgtaseme otsustusdiagrammidel põhinevad digitaalsüsteemide verifitseerimis- ja testimismeetodid“[32]

Elektroonikakiipide väljatöötamise kulud kasvavad pidevalt ning test ja verifikatsioon on moodustamas üha suuremat osa kiipide projekteerimise maksumusest. Käesoleva grandiprojekti peamiseks eesmärgiks on välja töötada meetodeid digitaalsüsteemide diagnostikaks, testitavaks projekteerimiseks ja verifitseerimiseks, mis töötaksid süsteemitasemel, võimaldades seega parema skaleeruvuse näol tõsta kiibi projekteerija töö tootlikust. Projektis käsitletakse järgmiseid teemasid: 1) skeemi modelleerimine süsteemitaseme testi ja verifitseerimise eesmärgil; 2) rikkemudelid ja algoritmid kiipide süsteemitaseme testigenereerimiseks; 3) uute verifitseerimisele orienteeritud kattemõõtude väljatöötamine; 4) deterministlik testjada genereerimine jälgitavuse mõõtude katte jaoks; 5) hierarhilised rikkesimuleerimismeetodid; 6) sardtesti arhitektuurid järjestikskeemidele. Töö raames kaitsti doktoritööd: **Vineeth Govind** – 2009, **Anna Rannaste** – 2010, **Taavi Viilukas** – 2012, **Anton Karputkin** – 2012, **Uljana Reinsalu** – 2013.

G-7483 (**Raimund Ubar**, 2008-2011) „Isediagnoosivad digitaalsüsteemid“[33]

Tulemused: (1) Mudelid. Kaks uut tüüpi mudelit digitaalsüsteemide diagnostiliseks modelleerimiseks: struktuursed jaotatud binaarotsustusdiagrammid (SSMIBDD) ja üldistatud ehk kõrgtaseme otsustusdiagrammid (HLDD). (2) Simulaator.[34] Uudne algoritm ja tarkvara rikete ülikiireks paralleelseks analüüsiks digitaalskeemides, mis võimaldas mitmekordistada testide kvaliteedi hindamise kiirust võrreldes maailma tipptööstustes kasutatavate professionaalsete süsteemidega. (3) Uus idee[35] hübriidsete isetestimisprotsesside hierarhiliseks optimeerimiseks, kus otsinguruum esitatakse funktsioonina mingist protsessi parameetrist ja seejärel iga punkt selles ruumis veel mingi optimeeritava funktsioonina. Niisugune lähenemisviis võimaldas luua efektiivseid heuristilisi algoritme keeruliste optimeerimisülesannete lahendamiseks (4) Digitaalsüsteemide

Kommentaar: **G-7483** oli viimane **Raimund Ubari** ETF grant.

Uue granti taotluse järgmiseks 2013. aastaks otsustas ETF nõukogu tagasi lükata (seejuures ebaselge ekspertiisi juures – näiteks 4 doktorandi kaasamist töösse loeti hinde 2,5 vääriliseks (5-pallisel skaalal) ja ainsaks märkuseks töö kohta (muude kiitvate hinnangute kõrval) oli retsensendi subjektiivne arvamus, et riistvara diagnostika asemel oleks olulisem (!) uurida tarkvara dignostikat). Niisiis hinnati mitte tööd, vaid retsensendi „soovi“.

Paradoksaalselt ei karistatud selle negatiivse otsusega mitte juhendajat, kelle töötasu ju grantist ei sõltunud, vaid kahjustati hoopis TTÜ doktoriõpet, jättes toetuseta terve rea doktorante, kes seni olid edukalt töötanud. Irooniana just selle kõige viimase grandi tulemuseks (ja kogu senise R. Ubari grantide seeria luigelauluks) oli tervelt 5 uut doktorit. Seda ei märganud ETF.

Seletus sellele paradoksile seisnes ilmselt selles, et Teadusfondi eksisteerimise kahe aastakümne vältel oli hakanud ununema ETF grantide süsteemi esialgne põhieesmärk – tugevdada Eestis doktoriõpet. Kui algselt olid grandirahad ette nähtud eeskätt doktorantidele stipendiumideks, aga mitte grandihoidjatele palgarahaks, siis aegamisi see põhimõte ununes.

See grant G-7483 oli eriti edukas Raimund Ubarile (tervelt viis tema juhendatud doktoranti kaitsesid selle granti raames oma väitekirjad). Paraku ei pidanud Teadusfond Raimund Ubarit enam järgmise granti vääriliseks.

[32] Viilukas, Taavi; Raik, Jaan; Jenihhin, Maksim; Ubar, Raimund; Krivenko, Anna (2010). Constraint-based Test Pattern Generation at the Register-Transfer Level. Proceedings of the 13th IEEE Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems: April 14–16, 2010 Vienna, Austria. IEEE, 352–357.

[33] R. Ubar, J. Raik, H. - T. Vierhaus. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip. IGI Global, 2011, 550 p.

[34] R. Ubar, S. Devadze, J. Raik, A. Jutman. Parallel X-Fault Simulation with Critical Path Tracing Technique. IEEE Conf. Design, Automation & Test in Europe – DATE-2010, Dresden, Germany, March 8-12, 2010, pp. 1-6.

[35] G. Jervan, E. Orasson, H. Kruus, R. Ubar. Hybrid BIST Optimization Using Reseeding and Test Set Compaction. J. of Microprocessors and Microsystems, Volume 32, August 2008, pp. 254-262.

enesediagnoos.[36] Uus kontseptsioon digitaalsüsteemide enesediagnoosiks, kus leiti efektiivne funktsioonide jaotus *on-line* ja *off-line* operatsioonideks süsteemi sees ja tulemuste analüüsiks süsteemist väljaspool. (5) Mikroprotsessorite diagnostika.[37] Esmakordselt loodi HLDD-põhised formaalsed alused ja realiseeriti tarkvara testprogrammide automatiseeritud koostamiseks trükkplaatidele, mis seniajani toimub intuitiivselt ja „käsitsi". (6) Granti arendustöö põhitulemuseks oli eksperimentaaluuringute keskkonna rajamine teadustöö jätkusuutlikkuse tagamiseks antud valdkonnas ja TTÜs läbiviidava õppetöö hoidmiseks rahvusvahelisel tasemel. Töö raames kaitsti doktoritööd: **Sergei Devadze** – 2009, **Helena Kruus** – 2011, **Sergei Kostin** – 2012, **Anton Tšertov** – 2012, **Anton Karputkin** – 2012.

G-7894 (**Artur Jutman**, 2009-2012) „Kiibisisesed instrumendid elektroonikasüsteemide testimiseks"[38]

Viimasel aastakümnel on elektroonikasüsteemide areng teinud tohutu hüppe. Keerulised, mitmekihilised, integreeritud komponentidega tihedalt täidetud trükkplaadid on saanud reaalsuseks tänapäeva tarbe-elektroonikas (mobiiltelefonid, digikaamerad, lauaarvutid). Ühest küljest võimaldab see trend luua „targemaid", kompaktsemaid ja energiasäästlikumaid seadmeid, teisest küljest aga mõjutab negatiivselt kaasaegsete süsteemide töökindlust ja testitavust. Töökindlus on alati olnud esmatähtis nõue selliste missioonikriitiliste rakenduste puhul nagu sõjaväe, tuumaenergia, meditsiini, lennunduse ja kosmonautika seadmed. Tänapäeval on elektroonikasüsteemid aga levinud kõikjale ning nende töökindlus ja usaldatavus moodustab tarbija jaoks suure osa toote kvaliteedist ja seega ka suure osa tootja reputatsioonist. Kahjuks pole elektroonikasüsteemide arendamise ja tootmise etapid veatud. Seetõttu ongi testimisest saanud iga tootmis- ja disainitsükli etapi lahutamatu osa.

Testimine algab kontseptsiooni tõestamisest (idee testimine) ja ulatub tootmisrikete testimiseni. Käesolev projekt käsitleb just seda viimast etappi, s.o. tootmisrikete testimist, millel on kõige otsesem mõju toote kvaliteedile ja töökindlusele. Kuigi trükkplaatide testimine on tänaseks juba laialtlevinud uurimis- ja rakendustemaatika oma selgesti juurdunud standardite ja lahendustega, muudab uus tehnoloogiline reaalsus traditsioonilised meetodid vananenuks. Projektis töötati välja meetodid keerukate trükkplaatide testimiseks kasutades automaatset testide sünteesi mikroprotsessoritele ning tuginedes kõrgtaseme otsustusdiagrammide mudelile. Uurimistemaatika valikul juhinduti paljuski praktika nõuetest, mis kristalliseerusid tööstuslikel seminaridel ja standardiseerimistöörühmade koosolekutel ning samuti arvukates mõttevahetustes firmade Elcoteq Tallinn AS (Estonia) ja GÖPEL electronic GmbH (Germany) juhtivinseneridega. Nimetatud fakt oli garantiiks projekti tulemuste rakendatavusele nii Eestis kui ka raja taga. Töö raames kaitsti doktoritööd: **Igor Aleksejev** – 2012, **Anton Tšertov** – 2012.

G-8478 (**Maksim Jenihhin**, 2010-2013) „Riistvara funktsionaalne verifitseerimine ja silumine"[39]

Digitaalsüsteemide kiire areng nõuab endisest suuremaid jõupingutusi nende töökindluse kontrollimiseks. Test, mis kasutaks kõiki sisendväärtuste kombinatsioone pole mõeldav ja seega on suur vajadus efektiivsete testide genereerimise meetodite järele süsteemide verifitseerimiseks. Lisaks verifitseerimisele on tarvis ka silumismeetodeid, mis oleksid võimelised diagnoosima vigade algpõhjuseid ning pakkuma lahendusi nende parandamiseks. Efektiivsete silumisvahendite puudus tänapäeval piirab inseneride produktiivsust ning pidurdab digitaalsüsteemide edasist arengut. Ühtsesse voogu integreeritud homogeenne verifitseerimis-/silumislahendus aitaks tõsta disaini-inseneri tööviljakust ning ühtlasi ka tänapäeva keeruliste digitaalsüsteemide kvaliteeti. Käesolev projekt käsitleski sellist integreeritud lahendust. Hiljuti pakuti grandihoidja dissertatsioonis välja uudsed meetodid simuleerimisel põhinevaks verifitseerimiseks. Dissertatsioon oli aluseks uue verifitseerimiskeskkonna APRICOT loomisel. Nimetatud keskkond rajaneb ühtse otsustusdiagrammide mudeli (OD) kasutamisel. OD eelisteks on

[36] R. Ubar, S. Kostin, J. Raik. Embedded Fault Diagnosis in Digital Systems with BIST. J. of Microprocessors and Microsystems, Volume 32, August 2008, pp. 279-287.

[37] A. Tsertov, R. Ubar, A. Jutman, S. Devadze. Automatic SoC Level Test Path Synthesis Based on Partial Functional Models. IEEE 20th Asian Test Symposium 2011, New Dehli, Nov. 20-23, 2011, p.1-6.

[38] Jutman, Artur; Devadze, Sergei; Shibin, Konstantin (2013). Effective Scalable IEEE 1687 Instrumentation Network for Fault Management. IEEE Design & Test of Computers, 30 (5), 26–35.

[39] Jenihhin, M.; Raik, J.; Chepurov, A.; Ubar, R. (2010). Application of High-Level Decision Diagrams for Simulation-Based Verification tasks. Estonian Journal of Engineering, 16 (1), 56–77.

kiiruse võit diagnoosimisel ja simuleerimisel ning väiksem kulu mudeli instrumenteerimisel. Grandi raames töötati välja verifitseerimis- ja silumismeetodid, mis integreeriti ka süsteemi APRICOT. Uued meetodid tagavad riistvara funktsionaalse verifitseerimise suurema kiiruse, täpsuse ning silumise efektiivsuse. Projektis arendati uusi lähenemisi formaalseks verifitseerimiseks, mis oleksid suunatud nendele disaini osadele, kus simuleerimisel põhinev verifitseerimine võib olla ebapiisav ja ebaefektiivne. Töötati välja automaatne silumisprogramm ja integreerida see homogeensesse APRICOT voogu. Tulemused realiseeriti koostöös IBM-i ja Zamiaga (Saksamaa). Osa teostatud APRICOT verifitseerimiskeskkonnast on realiseeritud avatud lähtekoodiga tarkvarana. Töö raames kaitsti doktoritööd: **Anton Tšepurov** – 2013, **Saif Abrar Syed** – 2016.

G-9251 (**Aleksander Sudnitsõn**, 2012-2015) „Rekonfigureeritav protsessor kombinatoorsete ülesannete lahendamiseks puulaadsete andmestruktuuride baasil“[40]

Eksisteerib palju praktilisi rakendusi, mis nõuavad keerukate kombinatoorsete ülesannete lahendamist. Suurem osa sellistest ülesannetest on NP-täielikud ning seetõttu väga aja- ning ressursinõudlikud. Projekti eesmärgiks on viia läbi teoreetilised uuringud rekonfigureeritavate protsessorite projekteerimiseks, mis oleksid võimelised lahendama kombinatoorseid ülesandeid optimiseerimistehnikate abil eesmärgil minimeerida vajalikku ressurssi. Hiljutiste uuringute tulemusena Aveiro Ülikooli ja käesoleva projekti taotleja koostöös töötati välja uudsed meetodid kombinatoorseteks arvutusteks puulaadsete struktuuride baasil. Meetodite eeliseid demonstreeriti seejuures kasutades tarkvaralist simuleerimist ja FPGA-põhist prototüüpimist. Käesoleva projekti eesmärgiks oli välja töötada keerukate kombinatoorsete arvutuste teostamiseks vajaliku rakendus-spetsiifilise FPGA-põhise protsessori arhitektuur, mis võimaldab baasoperatsioonide maatriksipõhise alamhulga täitmist. Parima realisatsiooni saamiseks lahendati erinevaid spetsiifilisi probleeme nagu ülesande optimaalne tükeldamine üldotstarbelise tarkvara ning lahendus-spetsiifilise rekonfigureeritava riistvara vahel, tarkvara ning riistvara vaheline andmevahetus, rakendatavad rekursiivsed või iteratiivsed arvutusmeetodid, eriotstarbeliste ahelate kasutamine maatriks-spetsiifiliste arvutuste läbiviimiseks ja madala enegriatarbega disaini küsimused. Uurimistöö viidi läbi koostöös DETI/IEETA ning Aveiro Ülokooliga. Projekti tulemusi on planeeritud kasutada elektroonika ning info- ja kommunikatsioonitehnoloogia kompetentsuskeskuses ELIKO ning integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskuses CEBE. Töö raames kaitsti doktoritöö: **Dmitri Mihhailov** – 2012.

G-9423 (**Sergei Devadze**, 2012-2015) „Kiibisisesed instrumendid elektroonikasüsteemide testimiseks“[41]

Tänapäeval on mikroelektroonika üks produktiivsematest valdkondadest tööstuses. Digitaalsüsteemide lai levik on teinud kaasaegse ühiskonna äärmiselt sõltuvaks nende töö usaldusväärsusest. Selleks, et tagada veatu süsteemide toimimine, tuleb iga toodetud elektroonikasüsteem põhjalikult testida. Samas teeb süsteemide üha kasvav keerukus, miniatuurseks muutumine ja suurenev töökiirus tootmisvea leidmise väga raskeks ülesandeks. Käesolevas projektis on keskendutud sellele, et parandada keerukate süsteemide ja trükkplaatide testitavust. Käesolev uurimus oli suunatud täiesti uuele teaduse ja tehnoloogia nišile: trükkplaatide automatiseeritud testimisele kiibisiseste

Sergei Devadze – üks andekamaid instituudi teadureid. Tema programmeeritud simulaator oli selle valmimise hetkel kiirem kui teised analoogid maailmas.

[40] Sklyarov, V.; Skliarova, I.; Rjabov, A.; Sudnitson, A. (2013). Implementation of Parallel Operations over Streams in Extensible Processing Platforms. The 56th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (IEEE MWSCAS 2013), Columbus, Ohio, USA, August 4-7, 2013. IEEE, 852–855.

[41] Aleksejev, Igor; Devadze, Sergei; Jutman, Artur (2016). On Coverage of Timing Related Faults at Board Level. IEEE 21st European Test Symposium, Amsterdam, Netherlands, May 24 – May 27.

instrumentide abil. Projekti tulemuseks on kiibi sisse ehitatav ümberkohandatav testinstrumentide genereerimise metoodika. Kiibisiseste instrumentide arendamine oli suunatud trükkplaadi- ja süsteemitaseme testimise paljude probleemide lahendamiseks (nt töökiirusel toimuv struktuurne test, viiterikete ja ülekostvushäirete testimine/diagnostika jne). Projekti raames välja töötatud metoodika vähendab testimisest tulenevaid kulusid, asendades kõrgehinnalise testi- ja mõõtmisaparatuuri suhteliselt odavate kiibisiseste virtuaalsete instrumentidega. Uurimistööd motiveeris mikroelektroonika suurettevõtete tõsine huvi oodatavate tulemuste vastu. Arvestades seda asjaolu, on projekti tulemustel põhinev tehnoloogia otseselt rakendatav kodumaises ja ülemaailmses mikroelektroonikatööstuses. Töö raames kaitsti doktoritöö: **Igor Aleksejev** – 2012.

G-9429 (**Jaan Raik**, 2012-2015) „Isetestivad usaldatavad mesokroonsed kiipvõrgud“

Elektroonikatööstus on sisenenud nanomeeter-ajastusse, milles skeemide keerukus on saavutanud uue taseme. Tänapäeva skeemid koosnevad sadadest moodulitest ehk tuumadest ning miljarditest transistoritest. Sarnaste skeemide projekteerimine ja testimine muutub järjest raskemaks. Keerukusega võitlemiseks on välja arendatud nn. *Network-on-a-Chip* (NoC) ehk kiipvõrgu paradigma. NoC on asendamas traditsioonilisi siinipõhiseid kiibiliideseid pakkudes suuremat jõudlust ja skaleeruvat infrastruktuuri kiibil toimuva kommunikatsiooni jaoks. NoC paradigma tugineb paketi-põhise side kasutamisele kiibi sees. See pakub omakorda paralleelsust, mida saavad ära kasutada kiibil jooksvad rakendused. See paralleelsus võimaldab ka realiseerida tõrkekindlaid lahendusi, sest ta võimaldab kiibiühenduste liiasuse tõttu rikkis ühendusi välja lülitada ja kasutada pakettide edastamiseks alternatiivseid teid. Sellist kiibi ruuterite ümberkonfigureerimist saab rakendada nii tootmistesti, kui ka süsteemi töö ajal toimuvas nn. *on-line* testi tulemusena. Käesoleva grandiprojekti tulemuseks on kiipvõrgu tõrkekindluse taseme tõstmine, pakkudes välja integreeritud lahenduse, mis hõlmab aplikatsiooni taset, trasseerimisalgoritmi, ümberkonfigureerimise haldust ning tuuma isoleerimist testi ajal. Lisaks on projektis välja töötatud uudsed NoC testimismeetodid. Hoolimata varasematest arvukatest töödest antud vallas, puudub NoC testi jaoks tõhus lahend. Olemasolevad lähenemised tuginevad standardsetele testitava projekteerimise struktuuridele ning nõuavad lubamatult palju lisapindala ega kasuta testide edastamisel optimaalselt kiipvõrgu enese paralleelset infrastruktuuri. Projektis on lähtutud meie varasemast kogemusest funktsionaalse rikkemudeli rakendamisel NoC-skeemidele. Meetodeid on edasi arendatud toetamaks mesokroonsete võrkude isetesti ning keeruliste juhtstruktuuride testi NoC ruuterites. Projekt viidi läbi tihedas koostöös oma ala ekspertidega – partneritega: Ferrara Ülikool, IHP Frankfurt Oder, TU Darmstadt, TU Cottbus, KTH Stockholm ja TU Potsdam. Töö raames on kaitstud doktoritööd: **Hanno Hantson** – 2015, **Saif Abrar Syed** – 2016.

Väljavõte ühe õppetooli aruandest (1997)

Õppetooli iseloomustus

Üheks tähtsamaks viimaste aastate tulemuseks arvutitehnika ja -diagnostika õppetoolis oli PLD-labori rajamine ja elektroonika kompetentsuskeskuse (EKK) loomine 1993. aasta lõpul.

EKK loodi formaalselt iseseisva struktuuriüksusena, kuid tema arengumootoriks ja sisulise töö kandjaks oli arvutitehnika ja -diagnostika õppetool. Keskuse missiooniks kujunes mikroelektroonika disaini alase tegevuse käivitamine arvuti- ja süsteemitehnika teaduskonnas. Keskuse kaks arvutiklassi ja disainilabor olid baasiks arvutite riistvara käsitlevatele õppeainetele, aga ka paljudele informaatika alastele õppeainetele. Infrastruktuur kujutas endast tervikut nii serverressursi kasutamise kui ka õppetöö mobiilsuse poolest. Samu laboritöid oli võimalik läbi viia nii klassides kui ka disainilaboris, kusjuures klasse kasutati nooremate kursuste ja suuremate õpperühmade korral. Optimaalse ressursikasutuse motiivi silmas pidades arenesid keskuses käsikäes spetsialiseeritud ja üldõpetus.

Teaduskonna pooldumine 1996. a. sügisel tähendas struktuurseid ümberkorraldusi, mille tulemusena keskus ja õppetool lahutati: õppetool ATI koosseisus jäi infotehnika teaduskonda, EKK aga süsteemitehnika teaduskonda ja õppetooli senise organisatoorse töö tulemusena soetatud riistvara koondati rektoraadi alluvuses olevasse arvutuskeskusesse.

Õppetooli isikkoosseis: prof. **Raimund Ubar** (juhataja), dots. **Teet Evartson**, dots. **Harri Mägi**, ass. (0,5) **Jaan Raik** (doktorant), ass. (0,5), **Priidu Paomets** (doktorant), ins. **Jüri Põldre** (magistrant), ins. **Marina Brik** (doktorant), ins. **Eero Ivask** (magistrant), ins. **Gert Jervan** (magistrant), ins. **Antti Markus** (üliõpilane), ins. **Marek Mandre** (üliõpilane).

Õpetamise valdkond: arvutite projekteerimine, arvutid I ja II, arvutiarhitektuurid, arvutite teooria ja projekteerimine, digitaalsed spetsialiseeritud süsteemid, paralleeltöötlus, mikroskeemitehnika, arvutite perifeerseadmed, arvutite standardliidesed, programmeeritavate loogikaskeemide disain, digitaalsüsteemide diagnostika, veakindlad süsteemid, digitaalsüsteemide disain ja test.

Infrastruktuur: Arvutid ja lisaseadmed arvutitehnika ja diagnostika õppetooli juures: SPARC Server 20/752, **SUN Sparcstation 5** (2tk), SUN SparcStation IPX, PC 486 DX4/100 („tulemüür"), **PC 486 DX2/66 (DX4/100)** (kokku 13 tk), **PC Pentium 90...120** (kokku 3 tk), scanner HP ScanJet IIcx, printer HP LaserJet 4M, printer HP LaserJet 5M, paljundusmasin XEROX 5334, UV Eraser, SPRINT Expert (ROM ja kontrollerite programmaator), XILINX 4000-series demoboard, teler FINLUX SkyLine, videomakk.

Kõik arvutid on ühendatud lokaalvõrku. Läbi tulemüüri on lokaalvõrk ühendatud internetiga (alamdomeen pld.ttu.ee). Mingit täiendavat juurdepääsu lokaalvõrgule turvakaalutustel ei ole. (Selle tõttu ei ole ka juurdepääsu ülikooli sisesele Novell'i võrgule ning arvestades meie käsutuses olevale Euroopa tipptööstusest hangitud eritarkvarale kehtestatud nõudeid ei ole seda võimalik ka tulevikus lubada).

Tarkvara: Synopsys v1997.08 (Logic Synthesis and Simulation), Cadence v97A (Silicon Compiler, Layout editor and Router), Xilinx M1.3, Xilinix FPGA (Field Programmable Gate Array), MAX PLUS II (Programming system for Altera PLDs), OrCad (Schematic Entry and Simulation for Xilinx). EUROPRACTICE kaudu – tarkvarateenindus.

Arendustegevus: Tänu mitmetele rahvusvahelistele grantidele, Eesti fondide grantidele, aga samuti Euroopa assotsiatsioonide EUROCHIP ja EUROPRACTICE liikmeks olemisele on osutunud võimalikuks rajada kaasaegne riist- ja tarkvarabaas arvutielektroonika õpetuseks ning väga kallite professionaalsete töövahendite kasutuselevõtuks õppetöös. Infrastruktuur kujutab endast töökeskkonda, mis on samaväärne euroopa tippülikoolidele, millega on loodud eeldused nii euroinseneride koolituseks kui ka väikeettevõtete arendustegevuse toetuseks elektroonika disaini valdkonnas.

Disainitarkvara litsentsid eeldavad aga iga-aastase hooldustasu maksmist vahendusorganisatsioonile EUROPRACTICE. Käesoleval aastal toimus hoolduse kompensatsioon järgmiste tarkvara süsteemide osas: ALTERA (100 ECU), CADENCE IC PACKAGE (925 ECU), SYNOPSYS SECP &/OR COSSAP DSP (595 ECU), XILINX (350 ECU). Kokku: 1970 ECU.

Kuna ülikoolilt on puudunud adekvaatne toetus nimetatud infrastruktuuri baasil toimuva õppetöö kulutustele, on tulnud teha valik ja loobuda osa disainitarkvara kasutamisest õppetöös. Loobuda otsustati digitaalsüsteemide simulaatortarkvarast HILO. Seda otsust ei võetud vastu kerge südamega, sest süsteemi kasutatakse Euroopa ülikoolides väga laialdaselt ja ka õppetooli teadustöös on suur osa eksperimente läbi viidud just selles keskkonnas.

Käesoleva aasta ülikoolisisesel projektide konkursil jäeti rahuldamata õppetooli taotlus laboris toimuva õppetöö toetamiseks. Ülikool ei pidanud otstarbekaks ära kasutada õppetooli võimalust EUROPRACTICE liikmena hankida õppetöö eesmärkidel disainitarkvara maksumusega 5% litsentside tegelikust väärtusest.

Teadustegevus

Õppetooli teadustegevus on seotud põhiliselt digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika valdkonnaga. Sellesse valdkonda toodud uus diagnostikamudeli kontseptsioon pakub uusi veel lõpuni uurimata võimalusi ning üldistusi nii horisontaalses kui ka vertikaalses mõttes (nii ülesannete klassi laiendamise mõttes kui ka ülesannete lahendamisel hierarhia eri tasanditel).

Märkimist väärib publikatsioonide tsükkel digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika valdkonnas (k. a. 20 nimetust), mis haarab valdkondi: loogikaskeemide diagnostika (3 artiklit), digitaaldisain (1 artikkel), veakindlad süsteemid (2 artiklit), lõplike automaatide diagnostika (1 artikkel), hierarhiliste süsteemide diagnostika (9 artiklit) ja signaalide dünaamiline analüüs loogikaskeemides (4 artiklit).

Selles tsüklis esitatud meetodite ja lahenduste uudsus seisneb ühtse matemaatilise instrumentaariumi – struktuursete otsustusdiagrammide – kasutamises ja arendamises keerukate digitaalsüsteemide (mikroprotsessorite, arvutite, kontrollerite) diagnostikas erinevatel esitustasemetel. Traditsiooniliselt on eri tasanditel kasutatud erinevaid matemaatilisi vahendeid nagu *Boole'i algebra, Boole'i diferentsiaalarvutus, register-edastus-taseme mudelid, Petri võrgud* jne. Ühtne teooria, nagu see eksisteerib Boole'i algebra näol ühetasemeliste loogikaskeemide puhul, hierarhiliste süsteemide diagnostika jaoks puudub. Struktuursete otsustusdiagrammide kasutusele võtt uurimisgrupi poolt ja edasiarendus käesoleva publikatsioonide tsükli näol on oluliseks sammuks sellise teooria loomisel.

ATI-s väljatöötatud *diagnostikatarkvara Turbo Tester* [42] on edukalt kasutatud Helsingi Tehnikaülikooli (Soome), Chalmersi Tehnoloogiainstituudi (Rootsi) ja Michigani Ülikooli (USA) tudengite õpetamisel. Süsteemi on kasutatud Rootsis inseneride täiendõppes. EL projekti SYTIC eesmärgiks on süsteemi laiem kasutuselevõtt Euroopa ülikoolides. Publitseeritud[43] on Eesti esimese ülikeeruka integraalskeemi – *krüptoprotsessori* arhitektuurne lahendus. Protsessori projekteeris magistrant **Jüri Põldre**. Üle 200 tuhande loogikaelemendi sisaldav mikroskeem kristalli pindalaga 107 mm^2 vastab keerukuselt personaalarvutites kasutatavale Intel 386 protsessorile. Seade valmistati Lääne-Euroopa tehases ES2 assotsiatsiooni EUROPRACTICE vahendusel ja Küberneetika Instituudi toetusel, katsetused läbiti edukalt. Seade võimaldab salastatud sidepidamist läbi avalike infokanalite ja peaks huvi pakkuma nii laiale tarbijaskonnale (politsei, kaitsevägi, pangad, mobiiltelefonide kasutajad) kui ka Eesti tööstusele perspektiivse toote näol.

Veakindlate digitaalsüsteemide analüüsi meetodite väljatöötamisele ja eksperimentaalsele katsetamisele on pühendatud 2 artiklit.[44,45] Võrreldes veakindluse analüüsil kasutust leidvate VHDL simulaatoritega on uus meetod, mis on välja arendatud koostöös Torino Tehnikaülikooliga Itaalias, toetudes ATI-s loodud AG-kontseptsioonile, seniste meetoditega võrreldes palju kiirem.

Hierarhiliste süsteemide diagnostikas on välja töötatud uutel põhimõtetel testigeneraator[46,47], mis sünteesib ja lihtsustab kõrgtasemel defineeritavaid kitsendusi, kompileerib seejärel nende kitsenduste

[42] R. Ubar, P. Paomets, J. Raik. Low-Cost CAD System for Teaching Digital Test. Microelectronics Education. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996, p.185-188.

[43] A. Buldas, J. Põldre. A VLSI implementation of RSA and IDEA encryption engine. IEEE 15th NORCHIP Conference, Tallinn, November 10-11, 1997, pp. 281-288.

[44] A. Benso, P.Prinetto, M.Rebaudengo, M.Sonza, R.Ubar. A New Approach to Build a Low-Level Malicious Fault List Starting from High-Level Description and Alternative Graphs Proc. IEEE European Design & Test Conference, Paris, March 17-20, 1997, pp. 560-565.

[45] A. Benso, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda, J. Raik, R. Ubar. Exploiting High-Level Descriptions for Circuits Fault Tolerance Assessments. 1997 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems. Paris, October 20-22, 1997, pp. 212-216.

[46] R. Ubar, M. Brik. Multi-Level Test Generation and Fault Diagnosis for Finite State Machines. Lecture Notes in Comp. Science No 1150. Dependable Computing – EDCC-2. Springer-Verlag, 1996, pp.264-281.

[47] R. Ubar. Test Synthesis with Alternative Graphs. IEEE Design and Test of Computers. Spring, 1996, pp.48-59.

baasil testid ning analüüsib ventiiltasemel viimaste kvaliteeti. Meetod võimaldab efektiivsemat testide sünteesi ja analüüsi, mida demonstreeriti RISC-tüüpi protsessorite puhul.

Dünaamiliste protsesside arvesse võtuks diagnostikaülesannete lahendamisel töötati välja meetod[48] digitaalskeemide mitmeväärtuseliseks simuleerimiseks, mis erinevalt tuntud lähenemisviisidest ei ole enam seotud vajadusega esitada uuritavat skeemi ventiilide tasandil. Selle tulemusena õnnestub vähendada mudeli keerukust ja tõsta simuleerimise efektiivsust. Simuleerimise idee põhineb uurimisgrupi poolt loodud ja eksperimentaalselt katsetatud uuel arvutusmeetodil Boole'i diferentsiaalide arvutamiseks.

Teadusalane koostöö: koostööpartnereid europrogrammide raames – 15, ametlikke koostöölepinguid – 7 (*Rutherford Appleton Laboratory* (UK), Jonköpingi Ülikool ja firma DIGSIM DATA A.B. (Rootsi), Joseph Fourier' Ülikool (Grenoble, Prantsusmaa), Varssavi Elektroonikainstituut, Dresdeni Tehnikaülikool (Saksamaa), Brandenburgi Tehnikaülikool Cottbuses (Saksamaa).

Korraldatud konverents: IEEE International NORCHIP'97 Conference, Tallinn, Nov. 10-11 1997.

Saadud aunimetusi: I preemia kollektiivse töö „Publikatsioonid TTÜ PLD-labori diagnostikagrupilt aastatel 1996-1997" eest eesti üliõpilaste teadustööde 1997. a. riiklikul konkursil.

Arendustest õppe- ja teadustöös

Töögrupi kompetentsus on rahvusvaheliselt tunnustatud, millest räägib tihe koostöö paljude Euroopa teadusasutustega ühisprojektide raames. Kollektiivi väljatöötatud tarkvara on leidnud kasutust mitmel pool Euroopas, mille tulemusena (arvutiprogrammide vahetuse kaudu) on TTÜ-s installeeritud hinnaline eritarkvara, mida kasutab arvutite baasõppes *ca* 300 üliõpilast aastas.

Keskuse tarkvaralised võimalused, meeskonna tööstiil ja töökohtade arv võimaldasid ellu viia euroopalikku õpetamismeetodit elektroonika disaini valdkonnas – *learning by doing*, mis eeldab ühest küljest mahukat iseseisvat tööd, aga teisest küljest pideva konsultatsiooni saamise võimalust. Just selline võimalus avanes keskuse PLD-laboris kus töötasid koos juba kogemusi omandanud doktorandid, vähem kogenud magistrandid ja uustulnukad – veel rohelised bakalaureuse-tudengid. Kahtlemata tähendas õppimise efektiivsuse kasv antud juhul aga ka suuremaid õpetamiskulutusi.

EKK oli veel möödunud aastal tõenäoliselt ülikooli kõige intensiivsema kasutusega ja kõige avatum arvutikompleks. See oli labor, kus töö käis ka pühapäeviti, sest muidu poleks olnud võimalik hoida saavutatud positsiooni konkurentsitihedas Euroopas. Keskuses võis tinglikult eristada kahte poolt – disainilaborit ning arvutiklasse, mis mõlemad olid, ühelt poolt, IT-alase õppe/teadustöö baasiks, ning teiselt poolt, täitsid ka arvutuskeskuse rolli (avatus kasutamiseks tervele ülikoolile, internet 2800-le aktiivsele tarbijale, infoserverid jms.). Selline eristamine oli tinglik ja pidas silmas vaid töökohtade jaotust. Keskuse infrastruktuuri süda – serverressurss oli aga terviklik ja selle võimsuse määrasid eeskätt elektroonikadisaini vajadused.

Õppe- ja teadustegevus on õppetoolis orgaaniliselt seotud. Ühelt poolt püütakse uusi teadustulemusi integreerida ka õppetöösse uute uurimuslike laboritöödena ja uute pea-

[48] R. Ubar. Multi-Valued Simulation of Digital Circuits with Structurally Synthesized Binary Decision Diagrams. OPA (Overseas Publishers Assotiation) N.V. Gordon and Breach Publishers, Multiple Valued Logic, Vol.4, pp. 141-157, 1998.

tükkidena loengutes. Teiselt poolt püütakse kursusetööde ja loomulikult ka diplomitööde ülesandeid formuleerida selliselt, et neis oleks alati ka mingi uurimuslik probleem sisse põimitud. Sellisel moel areneb pidevalt ka õppetooli uurimistöös ja õppetegevuses kasutada olev eritarkvara pakettide portfell.

Tarkvara väljatöötlusi:

1. Digitaalskeemide mitmeväärtuseline simulaator (J. Raik).
2. Järjestikskeemide veasimulaator (J. Raik).
3. Testide generaator ventiiltaseme kombinatsioonskeemidele (J. Raik).
4. Hierarhiline testide generaator digitaalskeemidele (J. Raik).
5. Digitaalsüsteemide VHDL -keele parser diagnostilise analüüsi teostamiseks (G. Jervan).
6. Alternatiivsete graafide süntesaator (G. Jervan).
7. Digitaalsüsteemide juhtosade testigeneraator (G. Jervan).
8. Testprogrammide optimisaator (G. Jervan).
9. Lõplike automaatide hierarhiline testjadade süsntesaator (M. Brik)
10. Interneti raamatukogu andmebaasisüsteem (E. Ivask).
11. Geneetilistel algoritmidel põhinev programm optimiseerimiseks/planeerimiseks (E. Ivask).
12. Geneetilistel algoritmidel põhinev lõplike automaatide testide süntesaator (E. Ivask).
13. Kinopiletite müügi infosüsteem (P. Paomets).
14. Filmitiitrite redaktor (P. Paomets).
15. Turbo Tester 3.0 kasutajaliides (P. Paomets).

Esinemisi näitustel:

1. A CAD System for ASIC Test and Design (R. Ubar, J. Raik, P. Paomets, G.Jervan, A.Markus). CeBIT'97, Hannover.
2. Turbo Tester (R. Ubar, J. Raik, P. Paomets, G.Jervan, A.Markus). TTÜ infopunkti avamine Tartus, Tallinn, 2. Dets. 1997.

Võrdlus eelmise aruandeperioodiga

Positiivsed tendentsid: õppetooli uurimisgrupp on tugevnenud ja küpsemaks muutunud, tudengite iseseisvus kasvanud; on saadud häid tulemusi nii teoorias kui ka algoritmide realiseerimisel ja eksperimentaalses töös; teadusproduktsioon (publikatsioonide arv) on jäänud samaks; on suurenenud huvi raja taga meie töötulemuste vastu, mis eeldab lähemas tulevikus rahvusvahelise koostöö tihenemist.

Negatiivsed tendentsid: Viimasel paaril aastal tudengitele võrdlemisi positiivselt mõjunud ja atraktiivseks osutunud õpetamiskontseptsiooni *learning by doing* motivatsioon õppejõududele ja objektiivsed eeldused seda õpetamisstiili jätkata on vähenemas. Meetod on osutunud liiga kulukaks, kuna magistrantide-doktorantide tööajast on hakanud konsultatsioonidele liiga palju aega kuluma. Sisuliselt on seni õpetamiskulusid kaetud riigieelarve-välistest allikatest – projektide vahenditest. Sellisel moel jätkata ei saa, seda enam, et ülikooli juhtkond on juba kaks aastat järjest õppetöö parandamisele suunatud ülikoolisisesed grantitaotlused tagasi lükanud.

Hinnang koostööle teiste struktuuriüksustega: Teaduskonna pooldumise tulemusena ja neid kahte poolt seni ühendanud keskuse kadumisele on mõlema „poole" vahele tekkinud administratiivne barjäär ja kumbki pool püüab nüüd arendada teineteisest sõltumatult omaenda IT baasi. Sellest on kahju, sest IT on kallis ja piiratud ressursside juures oleks ühise baasi loomine, nagu see toimus EKK puhul, palju otstarbekam.

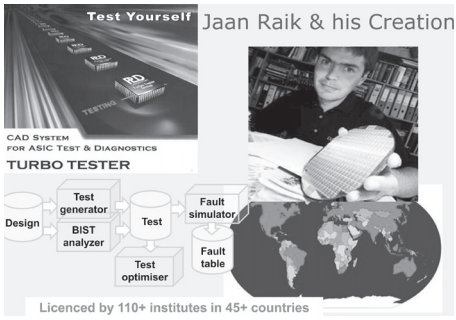
Instituudi sihtfinantseerimise aruanne 1998 – 2002

Kui eelmises peatükis oli näidisena esitatud väljavõte ühe õppetooli aruandest, mis võttis kokku ühe aasta (1997) lõikes tehtust, siis alljärgnev kirjeldab kokkuvõtet kogu instituudi teadustegevusest ühel viie-aastasel perioodil (1998-2002) väljavõttena vastava sihtfinantseeritava teema lõpparuandest.

Teadusteema finantseerimine:		
1. aasta	1998	1 000 000 kr
2. aasta	1999	1 320 000 kr
3. aasta	2000	1 320 000 kr
4. aasta	2001	1 385 000 kr
5. aasta	2002	1 515 000 kr
KOKKU:		**6 540 000 kr**

Põhitulemused

1. Töötati välja uus otsustusdiagrammidel (OD) põhinev **matemaatiline mudel** ühtsete algoritmide väljatöötamiseks nii ventiiltasemel esitatud digitaalskeemide[49,50] kui ka keerukate kõrgematel tasanditel esitatavate digitaalsüsteemide[51] diagnostiliseks modelleerimiseks. Mudel võimaldab tõsta simuleerimise kiirust nii loogilisel abstraheerimise tasandil[52] kui ka süsteemide modelleerimise kõrgematel tasanditel.[53]
2. Kasutades ära OD mudeli universaalsust ning eriomadusi, mis võimaldasid täpsemalt ennustada testide konstrueerimisel võimalike variantide perspektiivsust, õnnestus luua teadaolevatest lahendustest efektiivseim **hierarhiline testide genereerimise** meetod[54] ja vastav rakendus.[55] Võrdlevad eksperimendid näitasid, et generaator on kiireim „akadeemilises maailmas". Kommertsturul taolised generaatorid üldse puuduvad. Tulemuse originaalsus seisneb ühtse matemaatilise instrumentaariumi loomises, mida on võimalik rakendada nii madalatel kui ka kõrgematel tasanditel. Uue kontseptsiooni efektiivsuse tagas mitmete ideede uudne kombineerimine nagu *top down* ja *bottom-up* meetodite ühitamine hierarhilises ideoloogias, funktsionaalse ja struktuurse lähenemisviisi ühitamine ning stohhastiliste ja deterministlike algoritmide kombineerimine erinevatel hierarhia tasanditel. Koostöö süsteemi rakendusvõimaluste laiendamise eesmärgil toimub Fraunhoferi Integraalskeemide Instituudiga Dresdenis, Linköpingi Ülikooliga ja firmadega ERICSSON Telecom AB ning DIGSIM DATA AB Rootsis. Koostöö tulemusena on arendatud välja uus kompleksne lähenemine disaini ja diagnostikaülesannete lahendamiseks. Loodi ühtne tarkvarasüsteem disaini ja testide sünteesi ühendamiseks[56], mille taoline kommertsturul puudub.
3. Koostati TTÜ õppetöös kasutamist leidva testitarkvara paketi „**Turbo Tester**" installatsioon. Paketti on viimastel aastatel aktiivselt täiendatud ja parandatud. Aastast 1997 hakati „Turbo Testrit" levitama vabavara litsentsi alusel ning tänaseks on paketi



[49] R. Ubar. Dynamic Analysis of Digital Circuits with Multi-Valued Simulation. Microelectronics Journal, Elsevier Science Ltd., Vol. 29, No. 11, Nov. 1998, pp.821-826.

[50] J. Raik, R. Ubar. Test Generation with Structurally Synthesized BDD Models. Proceedings of the 5th Electronic Devices and Systems Conference, Brno, June 11-12, 1998, pp.66-68.

[51] G. Jervan, A. Markus, J. Raik, R. Ubar. Hierarchical Test Generation with Multi-Level Decision Diagram. Models Proc. of the 7th IEEE North Atlantic Test Workshop, West Greenwich RI, USA, May 28-29, 1998, pp.26-33.

[52] A. Jutman, R. Ubar, Z. Peng. Algorithms for Speeding-Up Timing Simulation of Digital Circuits. DATE, Munich, March 13-16, 2001, pp.460-465.

[53] R. Ubar, A. Morawiec, J. Raik. Cycle-Based Simulation Algorithms for Digital Systems Using High-Level Decision Diagrams. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe. Paris, March 27-30, 2000.

[54] J. Raik, R. Ubar. Sequential Circuit Test Generation Using Decision Diagram Models. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe. Munich, March 9-12, 1999, pp. 736-740.

[55] G. Jervan, A. Markus, J. Raik, R. Ubar. DECIDER: A Decision Diagram Based Hierarchical Test Generation System. Proc. of the 2nd International Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems. Szczyrk, Poland, Sept. 2-4, 1998, pp.269-273.

[56] G. Elst, K-H. Diener, E. Ivask, J. Raik, R. Ubar. FPGA Design Flow with Automated Test Generation. Proc. of German 11th Workshop on Test Technology and Reliability of Circuits and Systems. Potsdam, 1999, pp. 120-123.

omandanud üle 30 välisülikooli ja firma.[57] Tarkvara on installeeritud USA, Kanada, Suurbritannia, Prantsuse, Saksa, Rootsi, Iiri, Poola, Tšehhi, Slovakkia ja Ukraina ülikoolidele lisaks ka selliste maade nagu Malaisia, Hiina, Lõuna-Korea, Costa Rica, India ja Omaani instituutides. Tuntumatest ettevõtetest on paketi omandanud Austrian Microsystems (AMS), mis on Euroopa juhtivaid ränitehnoloogia projekteerijaid. (AMSi tehnoloogial põhinevad muuhulgas ka Cadence loogikalülide andmeteegid).

4. On välja töötatud uus mitmetasemeline digitaalsüsteemide **testitavuse analüüsi** meetod, mis võimaldas märgatavalt tõsta testprogrammide automaatse sünteesi kiirust.[58]
5. Füüsika ja tehnika piirimail toimuva interdistsiplinaarse koostöö tulemusena Poola, Slovaki ja Ukraina teadlastega töötati välja uus efektiivne meetod **füüsikaliste defektide** statistiliseks modelleerimiseks ja neile testide genereerimiseks.[59] Põhiidee seisneb keerulise ülesande dekomponeerimises kaheks erineval tasandil lahendatavate ülesannete hulgaks: statistiline defektide eelanalüüs, selle tulemuste kujutamine loogikatasandile komponentide teekidesse, ning kõrgemal loogikatasandil toimuv funktsionaalne simuleerimine ja testide genereerimine.
6. Töötati välja efektiivne metoodika hübriidsete **enesediagnostika arhitektuuride** projekteerimiseks digitaalsüsteemides ja nende optimeerimiseks, reaalajas genereeritavate pseudojuhuslike testide ja mälus salvestatavate deterministlike testide optimaalses ühitamises.[60]
7. Uus meetod **disainivigade diagnostikaks**[61,62], mis põhineb riistvara konstantrikke mudeli kasutamisel, aga samuti uus veamudelit mittekasutav meetod disainivigade lokaliseerimiseks. Veamudeli mittekasutamine tagab üldisuse ja universaalsuse. Tulemus on saadud kahe teadusvaldkonna – riistvara diagnostika ja disaini verifitseerimine piirimail ning võimaldades kasutada traditsioonilisi ventiilskeemide rikete diagnostika meetodeid avab uue suuna disainivigade lokaliseerimiseks ja skeemide verifitseerimiseks.
8. Internetipõhine eksperimentaaluuringute keskkond digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika meetodite, algoritmide ja tarkvara uurimiseks, katsetamiseks ning efektiivsuse hindamiseks.[63] Koostöös Fraunhofer Instituudiga Saksamaal realiseeriti keskkond MOSCITO nelja Euroopa ülikooli ja teadusasutuse (Fraunhofer Instituut Dresdenis, Linköpingi ülikool Rootsis, Slovaki Teaduste Akadeemia ja TTÜ) disaini- ning diagnostikatarkvara kaugkasutamiseks üle Interneti ning loodi ühtne disaini ja testi keskkond – **virtuaalne labor**. Tänu uue keskkonna võimalustele on oluliselt paranenud rahvusvaheline koostöö.
9. Töötati välja uus **õpitarkvara** pakettide süsteem Java applettide baasil võimaldades distantsõpet digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika valdkonnas.[64,65] Uus distantsõppe kontseptsioon võimaldab läbi viia nii õppejõu demonstratsioone loenguruumis, individuaalõpet ja -treeningut, mis ei sõltu ajast ega kohast, kui ka eksamineerida tudengeid.

---

[57] 2016. a. seisuga on Turbo Testri diagnostikatarkvara litsentseeritud rohkem kui 110 ülikoolile või uurimisasutusele enam kui 45 riigis.

[58] R. Ubar, J. Raik, T. Nõmmeots. Testability Guided Hierarchical Test Generation with Decision Diagrams. 20th IEEE Conference NORCHIP'2002, Copenhagen, Denmark, November 11-12, 2002, pp.265-271.

[59] R. Ubar, W. Kuzmicz, W. Pleskacz, J. Raik. Defect-Oriented Fault Simulation and Test Generation in Digital Circuits. 2nd Int. Symp. Quality of Electronic Design, San Jose, California, March 26-28, 2001, pp.365-371.

[60] G. Jervan, Z. Peng, R. Ubar. Test Cost Minimization for Hybrid BIST. IEEE Int. Symp. on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems. Tokio, October 25-28, 2000, pp.283-291.

[61] R. Ubar, D. Borrione. Single Gate Design Error Diagnosis in Combinational Circuits. Proceedings of the Estonian Acad. of Sci. Engng, 1999, Vol. 5, No 1, pp.3-21.

[62] A. Jutman, R. Ubar. Design Error Diagnosis in Digital Circuits with Stuck-at Fault Model. Journal of Microelectronics Reliability. Pergamon Press, Vol. 40, No 2, 2000, pp.307-320.

[63] A. Schneider, E. Ivask, P. Mikloš, J. Raik, K. H. Diener, R. Ubar, T. Cibáková, E. Gramatová. Internet-based Collaborative Test Generation with MOSCITO. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe - DATE. Paris, March 4-8, 2002, pp. 221-226.

[64] R. Ubar, A. Jutman, E. Orasson, J. Raik, T. Evartson, H.-D. Wuttke. Internet-Based Software for Teaching Test of Digital Circuits. In the book „Microelectronics Education", Marcombo Boixareu Ed., 2002, pp.317-320.

[65] S. Devadze, A. Jutman, A. Sudnitson, R. Ubar, H.-D. Wuttke. Teaching Digital RT-Level Self-Test Using a Java Applet. 20th IEEE Conference NORCHIP'2002, Copenhagen, Denmark, November 11-12, 2002, pp.322-328.

10. Projekteeriti FPGA-l avaliku võtme krüptokeskkonna RSA krüpteerimis/dekodeerimisfunktsiooni **riistvaraline kiirendi.**[66] Põhilise teadustulemusena töötati välja ja simuleeriti moodulkorruti funktsiooni realisatsioon väliprogrammeeritaval loogikal kasutades nn. Wallace puu algoritmi.
11. Töötati välja uudne digitaalsüsteemi juhtosa **energiasäästlik lahendus** ja määrati efekti saavutamispiirkond.[67,68] Lahendus baseerub sünkroonsete juhtautomaatide dekompositsioonil võttes arvesse üksikute osiste võimsustarbe ja kus komponentautomaadid realiseeritakse pseudo-asünkroonsetena.
12. Loodi kontroll- ja mäluintensiivsete rakenduste kõrgtaseme prototüüp-projekteerimissüsteem „**xTractor**“, mis on kasutatav nii akadeemilises kui ka õppetöös.[69] Süsteemi modulaarne ülesehitus võimaldab selle paindlikku kasutamist ja laiendamist. Osa alamülesannetest lahendatakse kaalutud graafide optimeerimisülesandeid kasutades (vt. ka järgmine punkt).
13. Töötati välja kiired heuristilised meetodid kaalutud konflikt- ja sobivusgraafide kasutamiseks **projekteerimisülesannete** lahendamisel.[70] Algoritmid on kasutatavad füüsikataseme sünteesist süsteemitaseme sünteesini. Kiirete algoritmide kasutamine on eriti oluline esialgsete otsuste tegemisel süsteemi või selle osa võimalike arhitektuursete lahendite analüüsil.
14. Töötati välja rida tehisintellekti meetodeid kasutavaid tarkvarapakette masinaelementide projekteerimiseks, hinnati tarkvaraprotsesside kvaliteeti, loodi eksperimentaalset võrguhaldustarkvara, uuriti säilivuse probleeme objekt-orienteeritud tarkvara loomisel ja töötati välja turvalist andmevahetust võimaldav süsteem **X-tee.**[71]

Kokkuvõtlikult tuleks kõige olulisemaks uurimistöö tulemuseks lugeda, arenguvõimalusi silmas pidades, üles ehitatud eksperimentaaluuringute keskkonda, mida iseloomustab

– digitaalsüsteemide disaini ja testi tarkvaraga toetatud uurimisobjektide matemaatiliste mudelite, uurimistasandite ning analüüsi- ja sünteesimeetodite **varieeruvus**, mis võimaldab kergesti formuleerida uusi probleeme ning lahendusideede katsetamiseks operatiivselt kombineerida erinevaid eksperimentaaluuringute stsenaariume;
– keskkonna **virtuaalsus** e. tarkvara distantskasutuse võimalus, mis teeb keskkonna atraktiivseks ka välispartneritele ja mille tõttu on paljude aktiivsete kooperatsioonisidemete taustal arvutitehnika instituudist kujunenud hästi tuntud rahvusvaheline keskus digitaaldisaini ja -diagnostika valdkonnas.

Teadusteema põhitäitjateks olid: Raimund Ubar (teema juht), Margit Aarna, Marina Brik, Peeter Ellervee, Teet Evartson, Eero Ivask, Gert Jervan, Artur Jutman, Ahto Kalja, Lilja Kaširova, Andres Keevallik, Margus Kruus, Harri Lensen, Elmet Orasson, Priidu Paomets, Jüri Põldre, Jaan Raik, Aleksander Sudnitsõn, Kalle Tammemäe.

Teema täitjateks olid: Irina Astrova, Sergei Devadze, Julia Dušina, Jelena Fomina, Jaanus Heinlaid, Janel Kasuk, Tarmo Klaar, Helena Kruus, Marion Lepasaar, Aimar Liiver, Marek Mandre, Anti Markus, Rein Raidma, Tarvo Raudvere, Lennart Raun, Tarmo Robal, Risto Vaarandi.

---

66 J. Põldre, K. Tammemäe, M. Mandre. Modular Exponent Realization on FPGAs. In „FPGA and Applications“. Lecture Notes in Computer Science 1482, Springer, 1998, pp.336-347.

67 B. Oelmann, K. Tammemäe, M. Kruus, M. O'Nils. Automatic FSM Synthesis for Low-Power Mixed Synchronous/Asynchronous Implementation. Special issue on Low Power System Design Issues of the VLSI Design Journal, Gordon and Beach Science Publishers, 2001. Vol. 12, No. 2, pp. 167-186.

68 P. Ellervee, T. Klaar, M. Kruus, K. Tammemäe, „Using Weighted Graphs for Fast Architecture Exploration.“ The 8th Biennial Baltic Electronic Conference (BEC'2002), pp.111-114, Tallinn, Estonia, Oct. 2002.

69 P. Ellervee, „xTractor: An Academic High-Level Synthesis Tool for Control and Memory Intensive Applications.“ The 20th NORCHIP Conference, Copenhagen, Denmark, pp.253-258, Nov. 2002.

70 P. Ellervee, M. Miranda, F. Catthoor, A. Hemani. System-level Data-Format Exploration for Dynamically Allocated Data Structures. IEEE Transactions on CAD, Vol.20, No. 12, pp.1469-1472, Dec. 2001.

71 A. Kalja. The X-Road Project. A Project to Modernize Estonia's National Databases. Baltic IT&T Review, No 1(24), 2002, pp. 47-48.

Projektid ja väitekirjad

Europrojektid:

31. Europrojekt programmi Framework V raames IST-2000-30193 „Research and Training Action for System-on-Chip Design – REASON“ (2002-2004)
32. Europrojekt programmi Framework V raames IST-2000-30193 „Establishment of the Virtual Centre of Excellence for IST RTD in Estonia – eVikings II“ (2002-2004)
33. INCO-COPERNICUS JEP 9601/70 „VILAB - Microelectronics Virtual Laboratory for Cooperation in Research and Knowledge Transfer“ (1998 - 2001)
34. INCO-COPERNICUS JEP 9601/70 „SYTIC – Promotion of System Design Training and Information Centers in CCE/NIS“ (1997-1999)
35. Europrojekt programmi ESPRIT raames – Action EUROPRACTICE (PRomoting Access to Components, subsystems and microsystems Technologies for Industrial Competitiveness in Europe)

Muud rahvusvahelised projektid:

36. EST-00/001 „Functional Built-in Self-Test“ – Saksa-Eesti Haridusministeeriumide koordineeritud trilateraalne projekt Stuttgarti Ülikooli ja Fraunhoferi Instituudiga Dresdenis (2000-2002).
37. Koostööprojekt Kesk-Rootsi Ülikooliga „LIFS – Low Power Implementations of Finite State Machines“ (finantseerija: The Royal Swedish Academy of Sciences, 2000)
38. Koostööprojekt Ilmenau Tehnikaülikooliga „DILDIS – Distance Learning on Digital Systems“ Saksamaa Haridusministeeriumi poolt koordineeritud projekt (1999-2003).
39. Bilateraalne Saksa-Eesti WTZ projekt „Synthesis for heterogeneous hardware/software systems“ aastateks 1998-2001 (finantseerija DLR – Deutsches Zentrum Für Luft- und Raumfart)
40. EST-008-96 „Automated Test Generation for FPGA based Designs“ (1997-1999). Saksa-Eesti Haridusministeeriumide koordineeritud bilateraalne projekt
41. Visby projekt „UMC: A Unifying Multidigm Hardware/Software Codesign Framework for Electronic System Development“ aastateks 1998-2001 (finantseerija Swedish Institute)
42. PHARE HESR projekt „Engineering Enviroments for Design of Digital Systems“, 1998
43. „Generic VHDL Descriptions for Synthesizing Embedded Test Processors“ (1997/98) Partner: Jonköping University (Rootsi).

ETF grandid:

44. ETF grant G3385 „Digitaalsüsteemide dekompositsiooniline süntees entroopsete keerukushinnangute abil“
45. ETF grant G5141 „Hajuskontrollerid suure-graanuliliste rekonfigureeritavatele riistvara arhitektuuridele“
46. ETF grant G4876 „Lõplike automaatide dekompositsiooniliste sünteesimeetodite arendamine“
47. ETF grant G4294 „Multiparadigmaline ühekiibi digitaalsüsteemide projekteerimise keskkond“
48. ETF grant G3658 „Digitaalelektroonika disaini ja testi virtuaallaboratoorium“ (1999-2002)
49. ETF grant G4300 „Disainivigade diagnostika digitaalskeemides ja -süsteemides“ (2000-2003)
50. ETF grant G2114 „Digitaalelektroonika projekteerimise ja teadusuuringute keskkond“ (1996-1998)
51. ETF grant G1873 „Kontroll-orienteeritud süsteemide riist- ja tarkvara koosdisaini meetodid“
52. ETF grant G1850 „Digitaalsüsteemide diagnostilise analüüsi meetodite uurimine ja väljatöötamine“ (1996-1999)
53. ETF grant G1824 „Testitavate lõplike automaatide võrkude dekompositsioonilise sünteesi meetodid“

Lepingud tööstusega:

54. Tehnoloogiaagentuuri ESTAG finantseeritav arendustöö projekt firmaga ARTEC „Mikroprotsessorite isetestimise kontseptsioon ja projekteerimisvahendid - MIKROTEST“ (2001-2003)

Kaitstud doktoritööd:

1. Marina Brik „Investigation and Development of Test Generation Methods for Control Part of Digital Systems“ (2002)
2. Jaan Raik „Hierarchical Test Generation for Digital Circuits Represented by Decision Diagrams“ (2001)
3. Peeter Ellervee „High-Level Synthesis of Control and Memory Intensive Applications“ (2000)
4. Helena Krupnova. „Digitaalskeemide dekompositsioonimeetodid“ (1999)
5. Julia Dušina. „Digitaalskeemide kõrgtaseme formaalne verifikatsioon“ (1999)

Kaitstud magistritööd:

2002

1. Elmet Orasson „Digitaalsüsteemide testi- ja diagnostika-alase õppetarkvara arendus“
2. Kalle Sammal „Digitaal- ja mikroprotsessortehnika õppe ümberkorraldamisest Tallinna Polütehnikumis“
3. Mihhail Meškov „Lõplike automaatide võrgu stohhastiline analüüs“
4. Grigori Zapevalov „Elektroonika ametikoolis“
5. Jüri Udre „Tarkvara arendusprotsess ja selle õpetamine ülikoolis“
6. Janek Alla „Radiolinja Eesti andmevaramu“
7. Ksenia Grigorjeva „Informaatika ülesannete kogu“
8. Arvo Toomsalu „RISC-arhitektuuriga mikroprotsessorid“
9. Toomas Kont „Programmeerimiskeele JAVA eriteemad (õppemetoodiline käsitlus)“
10. Tarmo Klaar „Kiired heuristilised algoritmid kaalutud graafide värvimiseks“

2001

11. Jaanus Heinlaid „Digitaalskeemide signaalijälgitavuste analüüs ja arvutamine“
12. Lennart Raun „Digitaalskeemide signaalijuhitavuste analüüs ja arvutamine“
13. Margit Aarna „Digitaalskeemide rikete paralleelne simuleerimine binaarsetel otsustusdiagrammidel“
14. Kristiina Kindel „Hübriidsete tarkvarasüsteemide kasutamine masinprojekteerimise tarkvara loomisel“
15. Aarne Laansoo „PC draiver suurte andmehulkade kiireks edastamiseks ja töötlemiseks“
16. Erkki Aruse „Com-tehnoloogial põhinev andmevahetuse tugitarkvara e-teenusele“
17. Aimar Liiver „Meetod juhtautomaatide dünaamilise energiatarbe vähendamiseks“
18. Marion Lepasaare „Tarkvaraprotsesside parandamine väikestes tarkvarafirmades“

2000

19. Jelena Sanko „Masinprojekteerimise tarkvara loomine tehisintellekti programmeerimiskeskkonnas“
20. Kert Uutsalu „Objektimudeli persistentsus temporaalse andmebaasi põhjal“
21. Elvira Lomova „Digitaalsete juhtseadmete kahetasemeline optimeerimine“
22. Tarvo Raudvere „Kvantitatiivsed hinnangud lõplike automaatide dekompositsiooniülesannete lahendamisel“

1999

23. Artur Jutman „Digitaalskeemide disainivigade diagnostika“
24. Jelena Fomina „Lõplike automaatide dekompositsioonimeetodite uurimine“

1998

25. Priidu Paomets „Avatud dünaamiline kasutajaliides CAD-süsteemile TURBO- TESTER“
26. Eero Ivask „Geneetilised algoritmid testvektorite genereerimisel“
27. Gert Jervan „Otsustusdiagrammide süntees VHDL-st“
28. Jüri Põldre „Krüpteerimisprotsessor PLD001“
29. Irina Astrova „Objectoriented database systems: Persistence“

Rahvusvaheline koostöö

2002

1. Konverentsi kaaskorraldamine (peakorrald. ELIN) Tallinnas – Baltic Electronics Conference (6.-9.10.)
2. Konverentsi korraldamine Tallinnas – Baltic DB & IS'02 (3.-6.06.)
3. Rahvusvaheline õppeseminar Tallinnas – Tutorial on Testing of Systems on Chip: Digital Test (9.10., 27 osavõtjat)
4. Rahvusvaheline õppeseminar Tallinnas – Tutorial on Testing of Systems on Chip: Analog Test (7.10., 35 osavõtjat)
5. Leping Ilmenau Tehnikaülikooliga: Õpitarkvara väljatöötamine arvutitehnika riistvara õpetamiseks Teadustöö Ilmenau TÜ juures (R. Ubar, A. Sudnitsõn, A. Jutman, S. Devadze, R. Gorjatshov, V. Rosin).
6. Teadustöö Fraunhoferi Integraalskeemide Instituudis Dresdenis: internetipõhise arvutiprogrammide distantskasutamise keskkonna väljatöötamine (R. Ubar, E. Ivask).
7. Teadustöö Stuttgarti Ülikoolis: digitaalsüsteemide funktsionaalse isetestimismeetodi väljatöötamine (J. Raik).

8. Loengud Stockholmi Kuninglikus Tehnoloogiaülikoolis (P. Ellervee, K. Tammemäe)
9. Teadustöö Darmstadti Tehnikaülikoolis: TTÜs väljatöötatud laborikursuse juurutamine sealses õppetöös (R. Ubar, A. Jutman), loengukursuse ja treeningõppe läbiviimine rahvusvahelises suvekoolis (R. Ubar, A. Jutman)
10. Osalemine rohkem kui 10 rahvusvahelise konverentsi korraldamisel kas org. või progr. komiteedes (DATE, EUROMICRO, ISQED, ECCTD, EDCC, ETW, NORCHIP,EEAEIE, MIXDES, DDECS, BEC jt.).

2001

11. Leping Ilmenau Tehnikaülikooliga: Õpitarkvara väljatöötamine arvutitehnika riistvara õpetamiseks. Teadustöö Ilmenau TÜ juures (R. Ubar, A. Sudnitsõn, A. Jutman, H. Kruus, E. Orasson, S. Devadze).
12. Teadustöö Fraunhoferi Integraalskeemide Instituudis Dresdenis: internetipõhise arvutiprogrammide distantskasutamise keskkonna väljatöötamine (R. Ubar, E. Ivask).
13. Teadustöö Stuttgarti Ülikoolis: digitaalsüsteemide funktsionaalse isetestimismeetodi väljatöötamine (J. Raik).
14. Teadustöö Jonköpingi Ülikoolis: TTÜs väljatöötatud laborikursuse juurutamine sealses õppetöös (R. Ubar, A. Jutman), loengukursuse läbiviimine „Digitaalsüsteemide diagnostika"
15. Loengud Stockholmi Kuninglikus Tehnoloogiainstituudis (P. Ellervee, K. Tammemäe).
16. Videoloengud arvutiarhitektuuride alal Soome tudengitele (K. Tammemäe).
17. Teadustöö Georgia Tehnoloogiainstituudis, Atlanta, USAs (P. Ellervee) - konsulteerimine ja juhendamine
18. Osalemine rohkem kui 10 rahvusvahelise konverentsi korraldamisel kas org. või progr. komiteede).

2000

19. Konverentsi kaaskorraldamine (peakorrald. ELIN) Tallinnas – Baltic Electronics Conference (11.-13. okt.)
20. Leping Ilmenau Tehnikaülikooliga: õpitarkvara väljatöötamine arvutitehnika riistvara õpetamiseks. Töö Ilmenau TÜ juures (R. Ubar, A. Sudnitsõn, A. Jutman, T. Robal, E. Orasson)
21. Loengud Stockholmi Kuninglikus Tehnoloogiaülikoolis (P.Ellervee, K.Tammemäe)
22. Koostööprojekt Linköpingi ülikooliga: Veakindlate digitaalsüsteemide disain. Töö Linköpingi ülikooli juures (R. Ubar, P. Paomets, A. Jutman)
23. Töö Fraunhoferi Integraalskeemide Instituudis Dresdenis (R. Ubar, J. Raik, E. Ivask)
24. Töö Stokholmi Kuninglikus Tehnoloogiainstituudis (P. Ellervee, E. Ivask)
25. Videoloengud arvutiarhitektuuride alal Soome tudengitele (K. Tammemäe)
26. Osalemine *ca* 10 rahvusvahelise konverentsi korraldamisel kas org. või progr. komiteede liikmena.

1999

27. Leping Ilmenau Tehnikaülikooliga: Õpitarkvara väljatöötamine arvutitehnika riistvara õpetamiseks. Töö Ilmenau TÜ juures (R. Ubar, A. Sudnitsõn, P. Paomets, A. Jutman, T. Robal, E. Orasson, 2 tudengit)
28. Külalisprofessuur Joseph Fourier' Ülikoolis Grenoble'is (R. Ubar, 2 kuud)
29. Töö Fraunhoferi Integraalskeemide Instituudis Dresdenis (R. Ubar, J. Raik, E. Ivask)
30. Töö USA firmades National Semiconductor ja ZFMicro (J. Põldre, 4 kuud)
31. Töö Stokholmi Kuninglikus Tehnoloogiainstituudis (P. Ellervee, E. Ivask)
32. Videoloengud arvutiarhitektuuride alal Soome tudengitele (K. Tammemäe)
33. Osalemine *ca* 7-8 rahvusvahelise konverentsi korraldamisel kas org. või progr. komiteede liikmena.

1998

34. Konverentsi korraldamine: 8th International Workshop FPL'98, Aug. 31 - Sept. 3, Tallinn
35. Konverentsi kaaskorraldamine (peakorrald. ELIN): 6th Biennial Baltic Electronics Conference BEC'98, Oct. 7-9, 1998, Tallinn
36. Osalemine 9 rahvusvahelise konverentsi korraldamisel kas org. või progr. komiteede liikmena.
37. Külalisprofessuur Prantsusmaal: Institut National Polytechnique Grenoble (R. Ubar, 2 kuud)
38. Külalisprofessuur Prantsusmaal: Joseph Fourier Univ. Grenoble (R. Ubar, doktorant J. Dushina kaasjuhendamine 2 kuud)
39. Töö Saksamaal külalisteadurina: Fraunhofer Gesellschaft Institute, Dresden (R. Ubar, E. Ivask, J. Raik, kokku 4 kuud)
40. Teadustöö Rootsis Linköpingi Ülikoolis (G. Jervan, 3 kuud)

Linnulennult läbi ATI projektide (1992-2016)

1992

1. **ESTPID** (**R. Ubar**, 1992-1995) Rootsi-Eesti ühisprojekt ESTPID – Electronics Cooperation between Stockholm KTH and Tallinn, TTU for the Promotion of Industrial Development. Projekti põhieesmärkideks olid: (1) stipendiumide käivitamine KTH ja TTÜ ning Rootsi ja Eesti elektroonikatööstuste teadlastele ja inseneridele vastastikkuseks külastamiseks ja eestlaste väljaõppe korraldamiseks Rootsis; (2) Eesti elektroonika saavutuste esitlemine Rootsi elektroonika alastel ELMIA näitustel; (3) elektroonika kompetentsikeskuse asutamine TTÜ kampuses.

1993

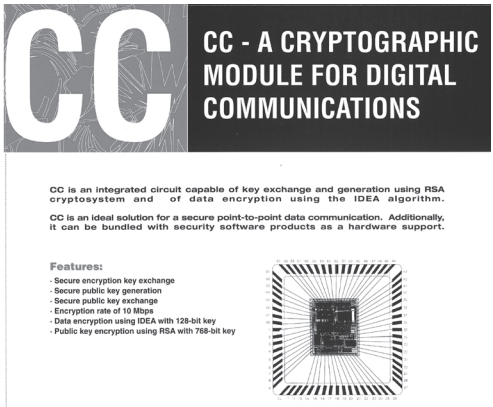
2. **TEMPUS** (R. Ubar, 1993-1995) EL projekt TEMPUS JEP 4772 „Digital System Design Based on PLD-Technology". Programmi TEMPUS eesmärgiks oli toetada Ida-Euroopa ja Baltimaade ülikoole õppeprogrammide moderniseerimisel ja õppejõudude ning üliõpilaste õppereiside läbiviimiseks Lääne-Euroopa ülikoolidesse. Projekti tulemused: Elektroonika kompetentsuskeskuse ja PLD-labori loomine, *ca* 60 tudengi ja õppejõu saatmine õppevisiitidele Darmstadti Tehnikaülikooli Saksamaal ja TIMA laborisse Prantsusmaal, külalisloengud partneritelt ja uute kursuste ning laboritööde väljatöötamine ATI-s.
3. **EEMCN** (R. Ubar, 1993-1995) EL project PECO JEP 7668 „East European Microelectronic Cooperation Network of Support and Competence Centres". Projekti eesmärgiks oli spetsialiseeritud mikroelektroonika kompetentsuskeskuste võrgu välja arendamine valitud Ida-Euroopa maades ja nendes keskustes infrastruktuuri ettevalmistamine ühisprojektide läbiviimiseks.TTÜ-s loodi Elektroonika kompetentsuskeskus.
4. **FUTEG** (R. Ubar, 1993-1996) EL projekt COPERNICUS JEP 9624 „Functional Test Generation and Diagnosis". Viidi läbi ühisuuringud digitaalsüsteemide diagnostika uute meetodite ja tarkvara väljatöötamiseks. ATI-s loodi algoritmid ja programmid diagnostikamudelite sünteesi ja kõrgtaseme funktsionaalsete testide genereerimiseks.
5. **EUROCHIP** (R. Ubar, 1993-1995) oli EL Raamprogrammide raames toimuv projekt, mille partneriteks olid üheltpoolt Euroopa elektroonikatööstuse tippfirmad ja teiselt poolt valitud tehnikaülikoolid, kus tegeldi mikroelektroonika disaini teadustöö ja õpetamisega. Projekti missioon: vahendada tööstust ja ülikoole võimaldamaks ülikoolides kasutada õppe- ja teadustöö eesmärkidel Euroopa elektroonika tipptööstuse tehnoloogiaid ja professionaalset disainitarkvara.

1994

6. **ATSEC** (R. Ubar, 1992-1995) FP3 ESPRIT III BRA-6575 projekt „Advanced Test Generation and Testable Design Methodology for Sequential Sequential Circuits". Uuriti võimalusi hierarhilise testigeneraatori loomiseks digitaalsüsteemidele, toetudes ATI alternatiivsete graafide kontseptsioonile. Ehitati katseline testigeneraator.

1995

7. **EUROPRACTICE** (R. Ubar, 1995-) jätkas EUROCHIP missiooni vahendamaks omavahel tööstust ja tehnikaülikoole, et võimaldada ülikoolides kasutada Euroopa elektroonikatööstuses kasutatavaid tehnoloogiaid ja disainitarkvara.



1996

8. **Krüptokiip** (**J. Põldre**, 1996-1997) „Krüptokiibi prototüübi testimine ja dokumentatsiooni väljatöötamine" Lepinguline töö partneriga a/s Küberneetika. Projekteeriti krüptokiibi disain ja viidi see ES2 (European Silicon Structures) 1,0 mikron tehnoloogiasse projekteerimissüsteemi CADENCE vahenditega. Protsessori tehno-

loogiline fail saadeti assotsiatsiooni EUROPRACTICE vahendusel Lääne-Euroopa tehasesse ES2 ja valmistati seal. Katsetused toimusid edukalt. Prototüüpide seeria on üle antud partnerile a/s Küberneetika. Projekti tulemus: Esimene Eestis projekteeritud ülisuur integraalskeem (ECPD 1,0 micron CMOS tehnoloogia, 107 mm2, 202 000 transistori).

9. **Jonköping** (**R. Ubar,** 1996-1998) Bilateraalne Eesti-Rootsi project „Generic VHDL Descriptions for Synthesizing Embedded Test Processors". Partner: Jonköping University (Rootsi). Projekteeriti üldistatud sünteseeritavad VHDL mudelid sardtestrite projekteerimiseks elektroonikaskeemides; testri arhitektuur vastas IEEE standardile 1149.1.

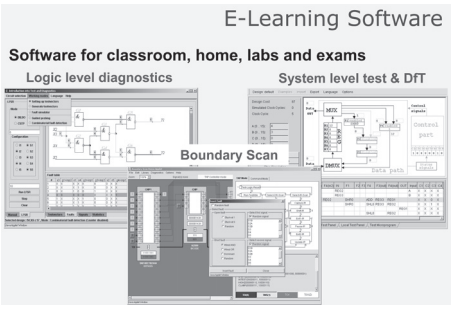
1998

10. **Sihtfinantseerimine** (R. Ubar, 1998-2002) „Digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika alased uuringud, väljatöötlused ja rakendused". Projekti eesmärgiks oli uurida ja väljatöötada uusi meetodeid digitaalsüsteemide riist- ja tarkvaraliseks koosdisainiks, analüüsiks, simuleerimiseks ja verifitseerimiseks, süsteemide veakindluse tõstmiseks, madala energiatarbega skeemide sünteesiks, testprogrammide automaatseks genereerimiseks ja rikete diagnostikaks. Saadi rida fundamentaalse väärtusega tulemusi süsteemide diagnostilise modelleerimise valdkonnas, loodi uued otsustusdiagrammide teoorial põhinevad matemaatilised mudelid, töötati välja uusi meetodeid, algoritme ja tarkvara süsteemide simuleerimiseks, diagnostiliseks analüüsiks, verifitseerimiseks, disainivigade ja rikete diagnostikaks ning testprogrammide automaatseks sünteesiks. Meetodite uudsus seisneb ühtse matemaatilise instrumentaariumi loomises keerukate digitaalsüsteemide diagnostikaks erinevatel abstraktsioonitasanditel tagades täpsust ja usaldatavust.
11. **VILAB** (R. Ubar, 1998-2001) EL Copernicus projekt „Mikroelektroonika virtuaalne laboratoorium teaduskoostööks ja teabesiirdeks". Projekti eesmärgiks oli rajada Ida-Lääne virtuaalne laboratoorium (VL) rahvusvahelise koostöö toetamiseks teaduslikus uurimis-, arendus- ning õppetöös veakindlate mikroelektroonika süsteemide projekteerimise valdkonnas. VL-i võib vaadelda kui IT-l põhinevat uurimislaborite võrku.
12. **EST-004-98** (**K. Tammemäe**, 1998-2001) Heterogeensete riist- ja tarkvarasüsteemide süntees. Saksa-Eesti WTZ projekt. Partnerid: TU Darmstadt (prof. **M. Glesner**), Deutsces Zentrum für Luft- und Raumfarht (DLR). Uute sünteesimeetodite arendamine heterogeensetele riist- ja tarkvara süsteemidele kiireks prototüüpimiseks. Projekt koosneb kolmest alamülesandest: meetodid profileerimiseks ja tootlikkuse jälgimiseks, kommunikatsioonisüsteemide kaasemuleerimine ja kontrollvoo analüüsil põhinev andmete kogumine juhtimaks süsteemi tükeldamisvahendeid registersiirete- ja kõrgtaseme sünteesis.
13. **Visby projekt** (K. Tammemäe, 1998-2001) „Multiparadigmaline riist- ja tarkvara koosdisaini raamkeskkond". Partnerid: Kuninglik Tehnoloogiainstituut Stockholmis, Elektroonikasüsteemide disaini lab. – ESDlab (prof. **Hannu Tenhunen**). Mitmete levinud ja tööstuse poolt aktsepteeritud diskreetse süsteemi kirjelduskeelte nagu SDL, Matlab, C++, VHDL jt. integreerimine ühtsesse disainikeskkonda läbi unifitseeritud projekteerimissüsteemi sisekirjelduse. ATI saatis 1999. a. projekti raames neljaks kuuks KTH-sse doktorant Eero Ivaski. Koostööprojekt oli tähtis õppekavade ühtlustamise ja teadusliku info ning metodoloogia vahetamise seisukohalt, võimaldades koolitada tulevasi õppejõude traditsiooniliselt ja sisuliselt tugevas akadeemilises keskkonnas.

1999

14. **DILDIS**[72] (R. Ubar, 1999-2005) „Kaugõppe tarkvara digitaalsüsteemide disaini ja testi valdkonnas". Partner: Ilmenau. Finantseerija: Thüringi Haridusministeerium. Töötati välja internetil põhinev õpisüsteem digitaaltehnika disaini ja testi õpetamiseks. Süsteem võimaldab probleemide uurimist nii loogikatasemel kui ka kõrgematel mikrokäskude ja -programmide tasandil, võimaldab läbi viia õppejõu demonstratsioone loengus, individuaalõpet ja eksamineerida tudengeid. Loodi süsteemide isetestimise integreeritud analüüsikeskkond uuringuteks, projekteerimiseks ja õppe.

[72] R. Ubar, H.-D. Wuttke. DILDIS-Project – Using Applets for More Demonstrative Lectures in Digital Systems Design and Test. Proc. of the 31st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, FIE'2001, Oct. 10-13, 2001, Reno, NV, USA, pp. SIE-2-7.



Projektis DILDIS välja töötatud Java appletid digitaalskeemide diagnostika õpetamiseks. Paremal projeki DILDIS meeskond Ilmenaus Saksamaal. Vasakult: Artur Jutman, Dieter Wuttke (4), Raimund Ubar (6), Sergei Devadze (9).

tööks, mis katab suure osa isetestimise arhitektuure. Töötati välja JTAG standardi kasutusvõimaluste uurimise keskkond.

15. **DTDES**[73] (**R. Ubar**, 1999-2000) „Design and Test of Dependable Electronic Systems". Välispartner: Linköping University (Rootsi). Töötati välja uus meetod digitaalsüsteemide testitavuse analüüsiks ja testide sünteesiks projekteerimise kõrgtaseme etapil, toetudes TTÜs väljatöötatud otsustusdiagrammide aparatuurile. Loodi liidesed Rootsis arendatud digitaalsüsteemide kõrgtaseme kompilaatori ja TTÜ hierarhilise testigeneraatori vahel.
16. **Phare HESR projekt** (R. Ubar, **A. Keevallik**, K. Tammemäe; 1999-2000). „Tehnokäsitluskeskkonnad digitaalsüsteemide projekteerimiseks" programmi „Higher Education and Science Reform" raames. Projekti eesmärgiks oli suurte, enam kui miljonitest loogikalülidest kiibil koosnevate heterogeensete digitaalsüsteemide arendamine ja simuleerimine järgides süsteem-kiibil paradigma tehnoloogilisi võimalusi. Projektiga finantseeritakse arendustarkvara ja selle litsentside ostmist, milleta on mõeldamatu vastava teadusharu arendamine ja koolitus.
17. **Visby** (**K. Tammemäe**, 1999) „Electronics for Information Technology Network". Välispartner: KTH digitaalsüsteemide disaini labor. Projekti eesmärk: õppekavade ühtlustamine ja teadusliku info ning metodoloogia vahetamine.
18. **LIFS** (K. Tammemäe, 1999) „Low-Power Implementations of Finite State Machines". Välispartner: Kesk-Rootsi Ülikooli infotehnoloogiainstituut. Madala energiatarbega juhtautomaatide uudsete arhitektuuride arendamine ja analüüs.
19. **Kiipkaart** (K. Tammemäe, 1999) „Kiipkardi pilootprojekti konsultatsioonid". Välispartner: Kodakondsus- ja Migratsiooniamet. Üleriikliku elektroonse identifitseerimiskeskkonna loomine, mis baseerus kiipkaartidele ja avaliku võtme krüptosüsteeemile, pilootprojekti konsulteerimine.

2000

20. **EST-000/01**[74] (R. Ubar, 2000-2002) Bilateraalne saksa-eesti projekt. „Funktsionaalne isetestimine digitaalsüsteemides". Partnerid: Fraunhofer Gesellschaft, Institute of Integrated Circuits, Dresden ja Stuttgarti Ülikool Saksamaal. Finantseerimine: Saksa Haridusministeerium (BMBF). Töötasime välja uue efektiivse testigeneraatori keerukate järjestikskeemide testimiseks. Uurisime võimalusi digitaalsüsteemide funktsionaalseks isetestimiseks ja töötasime välja meetodi, mis võimaldas loobuda traditsiooniliselt kasutatavatest sisseehitatud juhuslike arvude generaatorist ja selle asemel kasutada testide genereerimiseks süsteemi enda ressursse ning testidena süsteemi töö käigus tekkivaid signaale.

2001

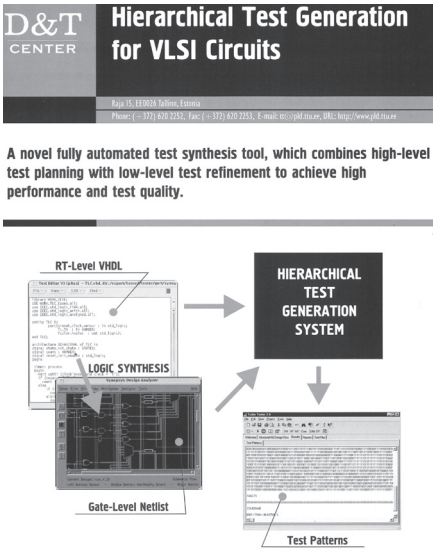
21. **REASON** (R. Ubar, 2001-2004) FP6 „Research and Training Action for System on Chip Design" (Uurimis- ja õppetöö meetodid valdkonnas „Ühekiibisüsteemide disain"). Projekti eesmärgiks oli

[73] G. Jervan, P. Eles, Z. Peng, J. Raik, R. Ubar. High-Level Test Synthesis with Hierarchical Test Generation. IEEE 17th NORCHIP Conference, Oslo, Nov. 8-9, 1999, pp.291-296.

[74] E. Ivask, R. Ubar, J. Raik (TU Tallinn), A. Schneider (FhG IIS/EAS Dresden). Internet-Based Test Generation and Fault Simulation. Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems. DDECS'2001, Györ, Hungary, April 18-20, 2001.

integreerida Kesk- ja Ida-Euroopa akadeemilisi uurimisasutusi koostööks mikroelektroonika valdkonnas. Projekti tulemuseks oli uute teadustulemuste juurutamine õppeprotsessi innovaatiliste õppe- või uurimistöö vahendite väljatöötamise näol.

22. **THEIERE**[75] (**R. Ubar**, 2001-2003). Temaatiline koostöövõrk „Elektrotehnika ja infotehnoloogia kõrghariduse temaatiline harmoniseerimine". Finantseerimine: Euroopa komisjon.
23. **MIKROTEST**[76] (R. Ubar, 2001-2003) „Mikroprotsessorite isetestimise konseptsioon ja projekteerimisvahendid". Leping: finantseeerimine: ESTAG, Artec Design Group. Töötati välja uus tarkvara digitaalsüsteemide testimise ja diagnostika automatiseerimiseks, loodi metoodika digitaalsüsteemide isetestimisarhitektuuride projekteerimiseks koos rakendustega. TTÜ ülesandeks oli uute diagnostikavahendite loomine, Artec Designil uut tüüpi krüptograafilise võrguprotsessori projekteerimine; partnerite ühistöös valmis uus metoodika ja kontseptsioon isetestimise ideoloogia realiseerimiseks digitaalsüsteemides.
24. **ECET** (**A. Sudnitsõn**, 2001-2004). Temaatiline koostöövõrk „Euroopa arvutikoolituse võrk" Finantseerimine: Euroopa komisjon. Loodi virtuaalne WWW-põhine koolituskeskkond ja seda realiseeriv e-õppe platvormi tarkvara. Valmistati e-õppe veebiserver (Course WebSite) ja loodi WWW-põhine virtuaallabor. Arendati ühilduvaid kursuseprogramme magistriõppele valdkondades: *Computer Science & Engineering*, *Software Engineering* ja *Information Systems*.



EST-000/01 *Projektis loodi teoreetilised lahendused testide genereerimiseks süsteemide kõrgtasandil, mille alusel Jaan Raik programmeeris testigeneraatori DECIDER*

2002

25. **eVIKING II** (**J. Penjam**, R. Ubar, 2002-2004). FP6 „Virtuaalse infoühiskonna tehnoloogiate tippkeskuse loomine Eestis". Eesmärgiks oli kaasa aidata IT klastri väljaarendamisele Eestis, intensiivistades rahvusvahelist koostööd. Loodi teadus- ja arendustöö koordineerimiseks ja läbiviimiseks virtuaalne IT tippkeskus, mille eesmärgiks oli koondada kompetentsus kriitilise massi loomiseks tipptasemel uurimistööks IT valdkonnas. Tulemused disaini ja testi valdkonnas: uus meetod defekt-orienteeritud testide genereerimiseks ja rikete simuleerimiseks digitaalskeemides; uus meetod rikete simuleerimise asendamiseks riistvaralise FPGA-põhise emuleerimisega, mis võimaldas tõsta simuleerimise kiirust kaks suurusjärku; uued meetodid isetestivate digitaalsüsteemide projekteerimiseks, testide genereerimiseks kõrgtasandil, kiipvõrkude kommunikatsiooniahelate testimiseks ja diagnoosiks.Töötati välja internetil põhinev õpisüsteem disaini ja testi õpetamiseks tehnikaülikoolides. Süsteem võimaldab disaini ja testi probleemide uurimist nii madalal loogika kui ka kõrgematel mikrokäskude ja -programmide tasandil; võimaldab läbi viia õppejou demonstratsioone loengus, individuaalõpet, mis ei sõltu ajast ega kohast, ja eksamineerida tudengeid.
26. **Nordisk Industrifond** (**P. Ellervee**, 2002-2005) „Kiipsüsteemide tehnoloogiad väikestele ja keskmistele ettevõtetele". Põhja- ja Baltimaade vaheline koostöö SME arendamisel kiipsüsteemide projekteerimispotentsiaali loomiseks. TTÜ poolset osalust potentsiaalse koolituskeskusena eesti ettevõtete jaoks koordineerib EITS. Põhitulemus TTÜ jaoks: jätkukoolituseks, sh. interaktiivse distantsõppe jaoks vajaliku infrastruktuuri arendamine.

---

[75] R. Ubar, E. Rüstern, M. Kruus. EE: Eesti (Estonia) in „Towards the Harmonization of Electrical and Information Engineering Education in Europe", Lisboa-Nancy 2003, Ed. EAEEIE, 2003, pp.67-74.

[76] G. Jervan, H. Kruus, Z. Peng, R. Ubar. About Cost Optimization of Hybrid BIST in Digital Systems. 3rd IEEE Int. Symp. on Quality of Electronic Design, San Jose, California, March 18-20, 2002, pp.273-279.

2003

27. **Sihtfinantseerimine** (**R. Ubar,** 2003-2007) „Digitaalsüsteemide disain ja test“. Teema eesmärgiks on selgitada välja võimalusi uute paremate meetodite ja algoritmide väljatöötamiseks uut tüüpi digitaalsüsteemide (kiipsüsteemide) disainiks ja diagnostikaks, riist- ja tarkvaraliseks koosdisainiks, riistvara dekompositsiooniliseks sünteesiks, simuleerimiseks, madala energiatarbega skeemide sünteesiks, süsteemide veakindluse tõstmiseks, testprogrammide automaatseks genereerimiseks ja rikete diagnostikaks ning tarkvaraprotsesside hindamiseks ja parandamiseks. On kavas edasi arendada digitaalsüsteemide kõrgtaseme otsustusdiagrammidel põhinevat diagnostika mudelit, mis kataks senisest laiemat rikete klassi ja võimaldaks tõsta algoritmide töökiirust protseduuride parema organisatsiooni ja paralleliseerimise arvel. Töötatakse välja uued hierarhilised meetodid testide genereerimiseks ja rikete simuleerimiseks, mis tagaksid parema füüsikaliste defektide katte ja oleksid kiiremad kui praegu kasutatavad loogikataseme meetodid. Plaanis on välja töötada meetodeid ja tarkvara digitaalsüsteemide isetestimiseks, kus efektiivsemalt kasutataks süsteemi funktsionaalseid ressursse ning tõuseks testimise kvaliteet. Süsteemide disaini osas töötatakse välja uued meetodid algoritmide käitumusliku kirjelduse tükeldamiseks ja moodulite tükeldamiseks lähtudes algoritmide kirjeldamisest registersiirete tasandil. Kahe tükeldusmeetodi sidumine ühtsesse metoodikasse ja vastavate estimeerimismeetodite väljatöötamine lubaks laiendada arhitektuursete lahenduste otsimist ja võimaldaks saavutada täpsemaid tulemusi.
28. **ELIKO** (**J. Raik**, 2003-2004, vastutav täitja oli prof. **Toomas Rang**). Projekt 346F „Elektroonika, info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate arenduskeskus ELIKO“.
29. **Poola projekt** (R. Ubar, 2003-2007) Eesti ja Poola Teaduste Akadeemiate ühisfinantseeritud bilateraalne koostööprojekt Varssavi Tehnikaülikooliga. Uurisime testide kvaliteedi tõstmise võimalusi kasutades traditsioonilise konstantrikke mudeli asemel reaalsete füüsikaliste defektide mudeleid. Probleemi keerukuse ületamiseks töötasime välja meetodi füüsikaliste defektide teisendamiseks vähema keerukusega loogikatasandile.
30. **DEC** (**A. Sudnitsõn**, 2004-2007) „Euroopa temaatiline võrgustik. Arvutialane doktoriõpe“ Projekti eesmärgiks oli välja töötada Euroopa nõuetega ühilduv arvutiteaduse doktoriõppeprogramm, mis võimaldaks laitmatute teoreetiliste teadmistega ja praktilise iseseisva uurimistöö kogemusega spetsialistide koolitamist. Loodi doktorikraadiga arvutiteadlaste andmebaas. Loodud võrgustiku eesmärgiks oli määratleda efektiivse ja kvaliteetse euroopaliku doktoriõpingu alused, rakendades selleks kogemuste vahetust projektipartnerite vahel ja olemasolevate süsteemide analüüsi. Projekti põhitaotlus: doktoriõppe kvaliteeti tagav koordineeritud koostöö (*Quality assurance system in Doctoral Education*), samuti PhD õppematerjalide, valideerimismeetodite ja e-Kursuste väljatöötamine.

2004

31. **ELIKO**(J. Raik, 2004-2007) „Tehnoloogia arenduskeskus ELIKO projekt 1.4 Digitaalsüsteemide struktuurigeneraator“. Finantseerija: Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus/ Enterprise Estonia. Projektide 1.4 (Struktuurigeneraator, alusuuring) ja 1.5 (Struktuurigeneraator, rakendusuuring) sisuks oli programsete abivahendite ja metodoloogia loomine digitaalsüsteemide väljatöötamistsükli lühendamiseks, vähendamaks mikroelektroonika kiipide väljatöötamiskulusid mis viimase kahe kümnendi jooksul on tõusnud 300 (!) korda. Turul on nõutavatest CAD vahenditest puudus ning suuremad firmad kasutavad omi nn. in-house lahendusi. Projekti alamosad: 1)Testiprogrammid ja metodoloogia (hierarhiline funktsionaalse testi analüsaator, sard-testiprotsessor plokkide jaoks, testišabloonidel põhinev generaator, sisendkirjelduse valik ja formaalse mudeli väljatöötamine, automaatne kõrgtaseme testigeneraator, formaalne verifitseerimine ja mudelikontroll, 2) kommertsvahendid ja teadaolevad metodoloogiad (loogikataseme testisüntees – Synopsys TetraMAX, Cadence; kiibitootja poolsete kitsenduste kindlakstegemine.

2005

32. **EIE-Surveyor** (**Gert Jervan**, 2005-2008) „Euroopa IKT ja elektriinseneri alase hariduse tugipunkt“. Erasmuse temaatiline võrgustik. Peamised tegevused: TUNING metodoloogia rakendamine IKT valdkonnas; IKT valdkonna õppeprotsessi jälgimine ja kaardistamine; Bologna protsessi arengu jälgimine; Internetis saadaolevate IKT alaste õpperessursside kaardistamine; akrediteerimise jälgimine.

2006

33. **VERTIGO** (**J. Raik**, 2006-2008) FP6 IST STREP „Sardsüsteemide projekteerimise platvormi verifitseerimine ja valideerimine“. Projekti motivatsioon ja eesmärgid: tänapäeva sardsüsteemide projekteerimine nõuab verifitseerimise ja disaini integreerimist ühtsesse voogu, valutut üleminekut verifitseerimiskeeltelt (n. SystemC, System Verilog) registersiirde e. arhitektuurse taseme keeltele ning erinevate dünaamiliste ja staatiliste verifitseerimismeetodite (kehtestatavus, otsustusdiagrammid, Petri võrgud, laiendatud olekuautomaadid jne.) kombineerimist.

2007

34. **TTÜ** (**R. Ubar**, 2007) TTÜ baasfinantseeritav projekt. „Isetestivate digitaalsüsteemide diagnostilise modelleerimise keskkond“. Projekti eesmärgiks on välja töötada uus teadusuuringute keskkond isetestivate digitaalsüsteemide diagnostiliseks modelleerimiseks, kus integreeritakse viimastel aastatel ATI-s välja töötatud rahvusvahelist huvi tekitanud tööriistad ühtsesse Internetipõhisesse süsteemi, mis voimaldaks tõsta eksperimentaalsete teadusuuringute efektiivsust, intensiivistada rahvusvahelist koostööd, testida meie tarkvaratööriistu rahvusvahelises ulatuses ning levitada efektiivsemalt teavet ATI teadustulemustest ning nende rakendustest.

    Integreeritud keskkonna loomiseks on vaja välja töötada liideseid eri tööriistade vahel (pseudojuhuslike testide generaatorid (PJTG), PJTG polünoomide deterministlik süntesaator, deterministlike testide generaator, rikete simulaator, isetestimisarhitektuuride analüsaator, rikete enesediagnoosi tarkvara jt.), täiendada süsteemi uue spetsialiseeritud kiipvõrkude testigeneraatoriga ning projekteerida tarbijasõbralik graafiline kasutajaliides.

2008

35. **CEBE** (R. Ubar, 2008-2015) „Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE“. Finantseerija: EL struktuurifondid. Partnerid: ATI, elektroonika instituut, biomeditsiinitehnika keskus. Keskus teostab elektroonika, analoog- ja digitaaldisaini ning biomeditsiinitehnika alaseid interdistsiplinaarseid strateegilisi alusuuringuid fokusseerituna rakendustele missioonikriitilistes sardsüsteemides. Sihiks on tugevdada T&A ja innovatsioonivõimekust Eestis prioriteetsetel aladel, lõimides info-, bio- ja materialitehnoloogiaid tihedas rahvusvahelises koostöös ja võrgustikes. Uurimisteemadeks on missioonikriitilised sardsüsteemid, signaalitöötlus ja -modelleerimine, biosignaalide interpreteerimine, aju uuringud, impedantsspektroskoopia, pooljuhtmaterjalid ja nanotehnoloogia, digitaaldisain ja verifitseerimine, diagnostiline modelleerimine, testimine ja süsteemide usaldatavus.
36. **Sihtfinantseerimine** (R. Ubar, 2008-2013). Töökindlate sardspsteemide disain. Viimase kümnendi jooksul on elektroonikasüsteemide areng astunud tohutu sammu edasi, tuues kaasa uued paradigmad nagu kiipvõrkudel põhinevad mikroskeemid, kõikjalolev arvutustehnika ja paralleeltöötlus, mis on seadnud ühiskonna sõltuvusse elektroonilistest süsteemidest ning seetõttu kasvatanud süsteemide usaldatavuse ja testitavuse tähtsust. Eesmärgiks on viia läbi uurimistöö sardsüsteemide ja nende komponentide testi, diagnostika ja tõrkekindluse vallas. Projekti temaatika käsitleb sardsüsteemide modelleerimist ja sünteesi, verifitseerimist ja silumist, testigenereerimist, simuleerimist, isetesti, diagnostikat, defektide analüüsi ning tõrkekindlust. Põhieesmärgiks on integreeritud metodoloogiate loomine, et tulla toime süsteemide keerukusega ning luua usaldatavaid rakendusi mitteusaldatavatest komponentidest. Projekti raames väljatöötatavad lahendused saavad aluseks uutele tekkivatele tehnoloogiatele ja paradigmadele.
37. **TRICE** (**A. Sudnitsõn**, 2008-2011) „Euroopa temaatiline võrgustik arvutialase hariduse õpetamiseks, uuringuteks ja uuendusteks“. Eesmärgiks on jätkata arendustegevust „kompetentsuskolmnurgas“ uuringud-innovatsioon-haridus koos selle tulemuste rakendamisega arvutierialade õpetamisvaldkonnas, analüüsida olemasolevat olukorda, teha vahekokkuvõtteid end õigustanud praktikatest ja vahetada kogemusi.. Koostööpartnerid teevad kokkuvõtteid kahest läbiviidud projektist: Euroopa arvutikoolituse arvutivõrk (ECET) – *European Computing Education and Training* ja Euroopa Temaatiline Võrgustik „Arvutialane Doktoriõpe“ (DEC) – *Doctoral Education in Computing*.
38. **ELIKO** (J. Raik, 2008-2009) Lep9007 „Tehnoloogia arenduskeskuse ELIKO projekt 2.2 Sardsüsteemide test, verifitseerimine ja silumine“. Projekti sisuks on programsete abivahendite ja metodoloogia

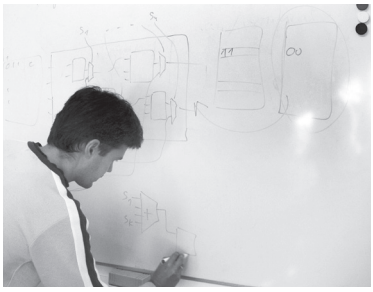
loomine sardsüsteemide testiks, verifitseerimiseks ja diagnostikaks. Realiseeritakse väidetel (assertions) põhinevad vahendid verifitseerimiseks ja silumiseks. Plaanitakse luua avatud arhitektuuriga testriplatvorm sard-trükkplaadisüsteemide masstootmiseks. Kavas välja töötada XML-põhine testinformatsiooni edastamise süsteem. Projekti innovatiivsus seisneb uudse kõrgtaseme otsustusdiagrammide mudeli rakendamises. Uuritakse analoogskeemide testimist närvivõrkude abil ja XML-põhist testide integreerimist.

2009

39. **CREDES** (**G. Jervan**, 2009-2012) FP7 „Usaldusväärsete süsteemide kompetentsikeskus". Projekti CREDES eesmärgiks on töökindlate sardsüsteemide alase kompetentsuskeskuse loomine TTÜ arvutitehnika ja arvutiteaduse instituutide baasil, toetudes arvutisüsteemide sünteesi ja analüüsi tuumiklabori infrastruktuurile. Keskuse eesmärgiks on kujuneda Euroopa üheks juhtivaks institutsiooniks sardsüsteemide arendamise, verifitseerimise, testi ja diagnoosi valdkondades. Keskus põhineb TTÜs tehtaval teadustööl ning tihedal koostööl Verona ülikooli, Darmstadti Tehnikaülikooli, Brandenburgi Tehnikaülikooli ning Göpel Electronics GmbH-ga.
40. **Rich-Model Toolkit** (**J. Raik**, 2009-2013) „IKT COST Aktsioon IC0901 Rich-Model Toolkit - usaldatavate arvutisüsteemide infrastruktuur". Eesmärgiks oli luua automatiseeritud formaalsed tehnikad ja programmid rakendamiseks laial probleemide ringil ning mille kasutamine arendajate poolt oleks lihtsustatud. Koordineeritakse tegevusi, mis on seotud modelleerimise infrastruktuuri väljatöötamisega arvutisüsteemidele. Vastav infrastruktuur kannab nime Rich-Model.
41. **EITSA8** (G. Jervan, 2009-2012) „Sardsüsteemide õppe-ja teaduslabori loomine". Projekti eesmärgiks oli luua ATI juurde sardsüsteemide õppe- ja teaduslabor, mis toetaks uut loodavat sardsüsteemide professuuri ning teostaks ja arendaks õppe- ning teadustööd sardsüsteemide valdkonnas. Loodav labori õppe- ja teadustöö hõlmab sardsüsteemide arhitektuure, analüüsi, modellerimist, disaini ja implementatsiooni, kaasa arvatud multiprotsessorsüsteemid, kiipsüsteemid ja -võrgud, rekonfigureeritavad süsteemid, riistvara-tarkvara koosdisain ning madala energiatarbega süsteemide disain. Plaanitakse arendada sidemeid signaalitöötluse ja biomeditsiinitehnika valdkondadega. Labori eesmärkideks on: 1) uuele loodavale sardsüsteemide professuuri toetava vajaliku kriitilise inimmassi kaasamine, mis võimaldaks õppetööd ja praktiliste oskuste andmist kõigil tasemetel üliõpilastele, täienduskoolituse raames ka lähedaste valdkondade spetsialistidele; 2) uurimis-, arendus- ja konsultatsioonitegevus antud valdkonnas, eriti silmas pidades doktorantide teadustööd ja selle juhendamist; 3) infrastruktuuri loomine atraktiivsetest seadmetest sardsüsteemide õppimiseks.

2010

42. **DIAMOND** (J. Raik, 2010-2012) 7th Framework Program „Error Modelling and Correction for Reliable Systems Design". Eesmärgiks oli töötada välja meetodid, mis aitaksid lokaliseerida ning automaatselt parandada vigu keerukate mikrokiipide projekteerimisel.
43. **COMPSYS** (**P. Ellervee**, 2010-2013). „Magistriõppekava *Arvutisüsteemid* arendamine". Eesmärgiks on IT teaduskonna magistriõppe õppekava *Arvutisüsteemid* viimine rahvusvaheliselt konkurentsivõimelisele tasemele, arvestades nii Eesti kui ka Euroopa arvutisüsteemide, mikroelektroonika, automaatika ja tarkvara tööstuse trende ning arenguid. Arendatakse õppekava rahvusvaheliseks, võimaldades soovi korral läbida õppekava ka inglise keeles. Eesmärgiks on tudengite ettevõtlus- ja innovatsioonialase võimekuse arendamine; selleks luuakse tihe koostöö ettevõtetega ning arendatakse välja spetsiaalne innovatsiooni ja ettevõtluse moodul. Eesmärgiks on ka elukestva õppe toetamine ning selle arendamine; sihtgruppideks on ülikoolidest välja langenud tudengid, kellele pakutakse võimalust õpingute jätkamiseks ning VÕTA vahendusel oma seniste oskuste arvestamist, samuti ülikooli lõpetanud inimesed, kellele võimaldakse üksikutes ainete läbimist



Jaan Raik korraldab ajurünnakut disainiviga-de diagnoosi efektiivsuse tõstmiseks kõrgtase-me otsustusdiagrammide abil

täiendkoolituse raames. Koostöös teiste ülikoolidega (TÜ ja IT Kolledž) töötatakse välja tasandus- ja täiendõppe moodulid nendele tudengitele, kes sooviksid lisaks oma erialale saada koolitust ka arvutisüsteemide valdkonnas või siis jätkata õpinguid arvutisüsteemide erialal magistriõppes, et tasandada erinevusi kõrgkoolide poolt pakutavate õppeainete vahel.

2011

44. **MEDIAN** (**M. Jenihhin**, 2011-2015) „IKT COST Aktsioon IC1103 Tööstuslikud ja usaldatavad mitmetuumalised nanomeeter-arhitektuurid". Aktsiooni eemärgiks on luua üle-euroopaline võrgustik, mis kaasaks kõiki usaldatavate süsteemide projekteerimise valdkondasid esindavaid eksperte. Samuti toetab aktsioon koostööd akadeemia ja tööstuse vahel. Projekti teadustulemusi on plaanis levitada nii traditsioonilisi kanaleid (konverentsid, sümpoosionid, ajakirjad) kasutades kui ka elektroonselt (veeb, wiki-lehed, avatud lähtekoodiga projektid).
45. **KhAI** (**Gert Jervan**, 2011-2014) „Ukraina riikliku lennundusülikooli „KhAI" sidumine Euroopa teadusruumiga". Finantseerija: Euroopa Komisjon. Projekti eesmärgiks on Ukraina riikliku lennundusülikooli „KhAI" sidumine Euroopa teadusruumiga. Selle saavutamiseks arendatakse koostööd, luuakse ühisprojekte ning tihendatakse partnerlust Euroopa R&D organisatsioonidega.

2013

46. **VERT662** (**Aleksander Sudnitsõn**, 2013-2016) „Tuleviku arvutialane haridus ja praktiline täiendõpe: kuidas toetada õpetamist igal ajal ja igal pool". Finantseerija: Euroopa Komisjon. Konsortsium arendab Euroopa Arvutialase Hariduse ja Praktilise Täiendõppe Strateegilist Võrgustikku 2020, töötades välja soovitusi tulevaste digitaalõppekavade jaoks ning moodsate innovatiivsete tehnoloogiate tutvustamiseks hariduses.
47. **TRUDEVICE** (**Jaan Raik**, 2013-2016) „IKT COST Aktsioon IC1204 Usaldusväärne tootmine ja turvalised IT-rakendused". Arvutiriistvara turvalisus on muutumas üha olulisemaks ning seega on ka krüptograafiaseadmed muutumas üha haavatavamateks. Seega on elektroonikatööstuse peamiseks eesmärgiks tagada riistvara turvalisus, et vältida seadmete võltsimist ning teenuste omastamist ja häirimist. COST aktsioon ühendab eksperte kõigist riistvara turvalisusega tegelevates valdkondadest, milledeks on riistvara projekteerimine, test, usaldatavus, valideerimine ja rakendused. COST võrgustik töötab välja lahendusi seismaks vastu väljakutsetele, mis on seatud riistvara turvalisusele, seega tugevdades Euroopa positsiooni nimetatud valdkonnas.
48. **FUSETEST** (J. Raik, 2013-2015) „Integreeritud elektroonikasüsteemide isetestimine, diagnostika ja defektide analüüs". Projekti üldeesmärgiks on luua mudelid defektide modelleerimiseks uutes tehnoloogiates ning tuginedes neile mudelitele töötada välja funktsionaalsed isetesti ja diagnostika lahendused integreeritud elektroonikasüsteemidele. Projekti lahenduste hindamiseks on plaanis neid proovida keerukate elektroonikasüsteemide testimisel.

2014

49. **IUT19-1** (J. Raik, 2014-2019) „Usaldusväärsed mitmetuumalised arvutisüsteemid". Arvutisüsteemid arenevad tohutu kiirusega ning on tänaseks levinud igasse eluvaldkonda. Samas takistavad füüsikaseaduste poolt seatud piirid tehnoloogia kiire arengu jätkumist. Seda juhul, kui ei rakendata uusi paradigmasid, mis põhineksid mitmetuumaliste arhitektuuride kasutuselevõtul ning kui ei lahendata süsteemide usaldatavusega seotud väljakutseid. Käesolev uurimisteema pakub nimetatud väljakutsete jaoks välja integreeritud lähenemise, ühendades eraldiseisvad uurimissuunad nagu mitmetuumaliste süsteemide projekteerimine, usaldatavuse tagamine, verifitseerimine ja testimine. Teema tulemusena töötatakse

Arvutitehnika Instituut kolib Raja tänavalt Akadeemia teele 15A. Viimane pilk meie armsaks saanud PLD-laborile ja „intelligentse" vesivarustusega kohvimasinale.

välja ühtlustatud lahendus usaldatavate mitmetuumaliste süsteemide teadusprobleemidele. Luuakse skaleeruvad meetodid keerukate, tuhandetest protsessortuumadest koosnevate süsteemide sünteesiks, verifitseerimiseks ja testimiseks.

50. **BASTION** (**A. Jutman**, **J. Raik**, 2014-2016) 7th Framework Program „Board and SoC Test Instrumentation for Ageing and No-Failure-Found". Eesmärgiks on tehnoloogia vananemise ja diagnoositamatute vigade uurimine uutes nanoelektroonilistes protsessides. Projekti oodatavateks tulemusteks on defektide klassifitseerimine ning vananemisprotsessi uurimine uutes tehnoloogiates. Väljatöötatavate sard-testinstrumentide lahendused tuginevad IEEE P1687 standardile.

2015

51. **IMMORTAL** (J. Raik, 2015-2018) Horizon 2020 program „Integrated Modelling, Fault Management, Verification and Reliable Design Environment for Cyber-Physical Systems". Koostöös IBM-i, TTÜ *spin-off* ettevõtte Testonica Lab OÜ, Hollandi firmaga Recore ja mitmete välisülikoolidega on plaanis luua uudseid lahendusi rikete ärahoidmiseks tuleviku küberfüüsikalistes süsteemides. Projekti tulemusi on kavas rakendada Saksa kosmosekeskuse DLR poolt välja töötatavas uues satelliidis. Eesmärgiks on kiireks rikete halduseks luua uudsed arvutiarhitektuurid, mis võimaldavad satelliidil rikked koheselt lokaliseerida ning nendega iseseisvalt toime tulla. Seega kaob vajadus operaatori sekkumiseks ning satelliit saab oma normaalse tööga ilma viivitusteta jätkata.
52. **ITEE** (**Gert Jervan**, 2015-2016) „Digitaalne võrgustunud majandus". *Research Executive Agency* (REA). Partnerlus Eesti ja Edinburghi ülikooli (Suurbritannia) vahel IT valdkonnas eesmärgiga edendada globaalset ühendatud digitaalset majandust. Edinburgh on juhtiv IT-alane teadusülikool Suurbritannias tugeva innovatsiooni ja majandusliku mõjuga. Eesti rahastamisasutusena koordineerib ETAG koostööd Tallinna Tehnikaülikooli ja Tartu Ülikooliga. Eesti IT-teadus kasvanud interdistsiplinaarseks ja konkurentsivõimeliseks, olles edukas nii IT-s kui ka tervisehoiu-IT programmides. Uue oivakeskuse mõju tugineb Eesti IT-alaste saavutuste edasi arendamisele riigi ja maailma mastaabis. Eesti on arenenud e-ühiskonna IT-lahendusi kasutades elektroonilist identiteeti ja e-allkirjastamist ning lihtsat modulaarset sidearhitektuuri teenusepakkumiseks, mis on võimaldanud palju uuenduslikke lahendusi automatiseeritud maksudeklaratsioonidest riikliku e-tervise platvormi ning internetihääletuseni. Eestis on välja arenenud väga hea start-up kultuur, mis kajastub kiire kasvuga ettevõtete arengus viimase kümne aasta jooksul, sealhulgas Skype, GrabCAD, Cybernetica jt. Eesti võõrustab tänaseks ka kaht silmapaistvat keskust: NATO Küberkaitse Kaitseuuringute Keskust (CCDCoE, 2008) ja EL-i suuremahuliste IT-süsteemide agentuuri (EULISA, 2012). Kõik see näitab, et Eesti keskkond suudab toetada digitaalseid ettevõtted kaugemale kohalikust majandusest ning toetada nende globaalset mõju, niisamuti nagu kasutada ära laienevatest uuringutest ja haridustegevusest avanevaid võimalusi. Planeeritaval oivakeskusel on kaks peamist eesmärki: luua sünergia ja kriitiline mass võtmetähtsusega multidistsiplinaarsetes IT uurimisvaldkondades Eestis, selleks et tekitada rahvusvaheliselt konkurentsivõimeline IT-alane teadus- ja arendustöö ja ühendada IT tipptasemel dünaamiline klaster majandussüsteemiga.

2016

53. **TUTORIAL** (J. Raik, 2016-2018). Horizon 2020 „Twinning to Strengthen Tallinn University of Technology's Research and Innovation Capacity in Nanoelectronics Based Dependable Cyber-Physical Systems". Eesmärgiks TTÜ võimekuse tõstmine interdistsiplinaarses nanoelektroonikal põhinevate usaldusväärsete küberfüüsikaliste süsteemide valdkonnas koostöös partneritega Delfti Tehnikaülikoolist, Torino Polütehnilisest Instituudist ja Saksa kosmosekeskusest DLR.

Lapik maa ja eestlastest maamõõtjad

Alljärgnev on lugu on sellest, kuidas ATI diagnostikateadlased sattusid oma teaduslike arusaamadega pahuksisse üldlevinud teadmisega, et maakera on ümmargune. Kuidas saab siis arvutite diagnostika teadus olla mingil moel ühenduses selle teadmisega, mis meil on Maast või õigemini sellega, kuidas me geomeetriast aru saame.

Juhtus nimelt nii, et ATI teadlased leiutasid uue testide genereerimise meetodi[77], mis üllatas diagnostika kogukonda oma efektiivsusega (mitu korda suurema töökiirusega kui analoogid ja väga hea rikete katte ehk kvaliteediga). Osutus aga, et selle meetodi täpsusega (ehk kvaliteedi mõõtmisega) juhtus sarnane lugu nagu Eukleidese geomeetriaga, kui see matemaatikute survel eksis ära Lobatševski ruumi. Paremaks selgituseks olgu siin meeldetuletuseks üks ammune lugu 15 aasta tagant, mis ilmus Tehnikaülikooli ajalehes.

Lapikust maast ja testide genereerimisest[78]

Erinevalt haridusministrist (vt. Luup nr. 5, 1999) arvan, et Maa võib olla ikka lapik küll. Kõik on ju mudeli ja mõtlemise mugavuse küsimus. Oleks ikka narr ka, kui peaks maakera kumerust näiteks maamõõtja hakkama oma töös arvestama. Ehkki, teisest küljest, „keerulisemad" arvutused võivad selle ameti veelgi tulusamaks muuta. Nii et kellele on maa lapik ja kellele kera.

Münchenis peeti märtsikuu esimesel poolel maailma üks esinduslikemaid elektroonika disaini konverentse – DATE'99 (*Design Automation and Test in Europe*). Ehkki see oli eurooplaste ettevõtmine, oli lõviosa ettekannetest USA-st, kaks korda vähem oli neid pererahvalt sakslastelt ja tervelt viis korda vähem niisugustelt tugevatelt elektroonika maadelt nagu Prantsusmaa, Inglismaa ja Itaalia.

Päris esindusliku 14. koha maailma suurte riikide seas napilt Rootsi ja India järel päris Eesti tervelt kahe ettekandega, mille mõlema autoriteks olid TTÜ doktorant **Jaan Raik** ja allakirjutanu. Kõigi teiste Ida- ja Kesk-Euroopa „arengumaade" peale kokku pääses sellele konverentsile vaid üksainus ettekanne. Imestada siin ei maksa, sest elektroonika on kõrgtehnoloogia ja konkurentsivõimelist teadust saab üldjuhul teha vaid nendes maades, kus see tehnoloogia olemas on. Vahel on ka erandeid – see käib eestlaste kohta.

Retsensentide sõelast pääses sel konverentsil läbi vaid üks viiest konkursile saadetud tööst. Et niisuguse tasemega foorumile pääseda, peab üldjuhul millegagi väga üllatama või šokeerima. Eestlased šokeerisidki konverentsipublikut oma testigeneraatoriga[79], mis töötab kaks suurusjärku (!) kiiremini kui teised analoogilised generaatorid. Kuidas selline ime juhtuda sai?

Inseneritöös on kasutusel nii täpseid kui ka ligikaudseid meetodeid. Täpsetel on harilikult kaks halba omadust – nad on keerulised ehk „aeglased" ja kallid. Kuid nad võluvad oma täpsusega. Makstes lõivu üldisusele, õnnestus eestlastel luua meetod, mis fantastilise kiiruse juures säilitab ka suurt täpsust. Lõivu maksmine seisnes selles, et meetod on täpne vaid „teatud tingimustel", seega siis – mitte alati. Atraktiivseks aga teeb meetodi see, et need „teatud tingimused" vastavad küllaltki laiale praktilisele kasutusalale, mida õnnestus ka eksperimentidega tõestada. Teisiti öeldes, ettekande autorid võtsid nõuks kuulutada, et maa on siiski lapik ehk joonlaud kõlbab küll kerale joonistatud ruutude mõõtmiseks. Mida suurem on aga kera, seda parem muidugi …Münchenis oli 20 kraadi sooja. Aga Garmisch Partenkircheni lähedal õnnestus Jaanil pärast edukat ettekannet ka slaalomisuuski proovida. (Prof. R. Ubar, 17. märtsil 1999).

---

[77] J. Raik, R. Ubar. High-Level Path Activation Technique to Speed-up Sequential Circuit Test Generation. Compendium of Papers. IEEE European Test Workshop, Constance, May 25-28, 1999, 5 p.

[78] Lapikust maast ja eestlastest Euroopa esinduskonverentsil DATE'99 Münchenis. "Tehnikaülikool", Nr.7, 5.aprill, 1999.

[79] J. Raik, R. Ubar. Sequential Circuit Test Generation Using Decision Diagram Models. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe. Munich, March 9-12, 1999, pp. 736-740.

Suupillist, klaverist ja kaotatud passist

Selle Eestis loodud testigeneraatori, mis hiljem sai nimeks DECIDER, tarkvara autoriks oli tänane ATI teadusliider **Jaan Raik**, kellel aga neil päevil, kui Lapiku maa lugu juhtus, veel doktorikraadigi polnud. Et see üllatav lugu kogukonnale ikka ka detailides kohale jõuaks, tuli selle loo erinevatest aspektidest veel tervel real konverentsidel rääkida, ikka vaheldumisi – juhendaja ja juhendatav.

Ettekande sellel teemal, paar kuud hiljem, Euroopa Testikonverentsil[80] tegi nüüd Jaani juhendaja **Raimund Ubar**. Sektsiooni, kus ettekanne toimus, juhatas tuntud saksa diagnostikateadlane **Joachim Mucha**. Selleks, et ettekandjat kuulajatele paremini tutvustada saaks, oli sektsiooni juhataja pöördunud infot otsides veebi poole ja leidnud Ubari kodulehelt fraasi, et tolle hobiks olevat suupillimäng. Kui küsimused esinejale pärast ettekannet olid lõppenud, võttis professor Mucha taskust ühe suupilli ja tuli nüüd oma kogutud infoga ettekandja kohta kõigi kuuldes lagedale, teatades, et „see mees oskab peale testide genereerimise ka suupilli mängida“. Nende sõnadega ulatas ta ettekandjale hea esinemise eest autasuks taskust välja võetud suupilli, soovides samal ajal aga ka kinnitust, et see, mis veebis ettekandja hobide kohta kirjas oli, ka tõsi on.

Nii järgneski veel teaduslikule ettekandele, kus püüti selgitada, et „maa ikka lapik on“, veel ka „Viljandi paadimehest“ koosnev „suupillikontsert“. Oma õpilasele Jaanile andis õpetaja hiljem lõunalauas aga soovituse: kuna Jaan ise koguni klaverit mängida oskab, siis kirjutagu ta sellest kindlasti ka oma kodulehel. Sest siis võib juhtuda, et tulevikus, kui ta sagedamini hakkab konverentsidel esinema, võib juhtuda, et mõni sektsioonijuhataja talle klaveri kingib. Pärast edukat esinemist konverentsil võtsid Jaan ja Raimund endale järgmise päeva vabaks ja sõitsid Konstanzist, kus konverents toimus, Šveitsi ekskursioonile. Mitte väga kaugel Konstanzist, mis oli piirilinnaks Saksamaa ja Šveitsi vahel, asub maaliline Schaffhauseni linn, koos Euroopa suurima kosega Reinfalliga. Sinna meie tee siis läkski ja me kinkisime endale toreda pühapäeva. Kui päev oli juba õhtus, kosk ära vaadatud, lõunasöök selja taga ja aeg juba kätte jõudmas tagasisõidule mõelda, märkas Raimund äkki, et tema tasku on väga kõhnaks jäänud. See lõunasöök ei saanud ju ometigi nii palju maksta… Rahakott koos passiga olid kadunud. Nüüd algas paanika.

Ja kõigepealt meenus paari aasta tagune lugu ühest teisest konverentsireisist Belgradi, kus Raimundil varastati ära pass. Lugu päädis piinarikka rongisõiduga läbi paljude riikide Belgradist Dresdenisse, kus iga piiri ületamisel tuli pikalt ja laialt tõestada, et reisija ei ole kaamel… Silme ette tulid taas need rohelised piirivalvemehikesed Belgradi ja Dresdeni vahel.[81]

Kas oli jälle keegi tasku kallal käinud (aga niisugusel maal nagu Šveits ei saanud see ju ometigi võimalik olla) või oli rahakott kusagil ise taskust välja pudenenud või oli rahakott selles viimati külastatud supermarketis kassa kõrvale vedelema jäänud. Sõitsime trammiga tagasi supermarketisse, millega oli seotud veel see ainus lootus, aga asjata.

Nüüd oli mõtlemise küsimus. Sest muud ei jäänud ju üle kui politseisse minna ja „pahategu“ üles tunnistada. Aga kuidas seletada politseile hädalise hetke olukorda: elukoht on Eesti, töökoht aga Prantsusmaa, samal ajal viibib Saksamaal, aga pass kadus ära hoopis Šveitsis. Vaid kurjategijatel on nii loogilised selgitused.

[80] J. Raik, R. Ubar. High-Level Path Activation Technique to Speed-up Sequential Circuit Test Generation. Compendium of Papers. IEEE European Test Workshop, Constance, May 25-28, 1999, 6p.

[81] Rohelistest mehikestest tuleb juttu järgmises peatükis – virtuaalse labori loomise loos.

Pärast julguse kokkuvõtmist helistasime ühest automaadist politseisse. Mis edasi juhtus, poleks parimaski unenäos saanud sündida – Raimundi pass oli seal politseis juba mitu tundi laual lebanud omanikku ootamas. Mis järgnes, oli mitte vähem üllatav. Kui politsei oma asukohta selgitades oli aru saanud, et meil nende üles leidmine liiga keeruliseks võib osutuda, siis öeldi lihtsalt: „Seiske seal, kus olete, toome ise teile rahakoti ära"…

Politsei tuli, saime rahakoti kätte ja mitte ainult pass ei olnud seal alles, vaid ka kogu raha kopika pealt. Keegi oli passi leidnud selle pingi pealt, kus olime Jaaniga korraks jalgu puhanud. Pakkusin tänutäheks häbelikult politseile leiutasu, aga see lükati kohe tagasi. Kuid meile seletati, et üks väike protsent leitud rahasummast kuulub neil seaduslikult alati leidjale. See oli niivõrd tühine asi selle rõõmu kõrval, mille seekord kinkis saatus – lõpp hea, kõik hea. Roheliste piirivalvemehikeste piinakadalipp jäi seekord ära.

Europrojekt SYTIC (1997-1999)

Lapiku maa lugu sai alguse muidugi palju aastaid varem, tegelikult alates sellest päevast, kui pärast massiivset ajude äravoolu instituudist loodi uus diagnostikaring, kuhu astusid **Jaan Raik**, **Andres Kaasik**, **Priidu Paomets** ja teised sellest samast õpperühmast. Projekt ATSEC oli lõppenud, aga sellele järgnes kohe uus europrojekt SYTIC ja ka ETF grantid G-1778 ja G-1779 tulid aastatel 1996-1999 toeks. Neil aastail programmeeris Jaan Raik süsteemi FTGEN[82] „varemetele" uue kõrgtaseme testigeneraatori, hilisema nimetusega DECIDER. FTGEN oli olnud meie kõrgtaseme testigeneraatori esimene mitte lõpetatud versioon, mida oli alustanud **Villem Alango** ja mille kallal, pärast Villemi ATI-st DATEL-isse lahkumist, olid töötanud **Sergei Storožev** ja **Helena Krupnova**, kes aga nüüd samuti olid meilt ära Prantsusmaale läinud.

Projekt ATSEC lõppes 1996. aastal. Seda oli koordineerinud prof. **Heinrich Theodor Vierhaus** GMD[83] instituudist St. Augustinis Bonni lähedal Saksamaal. Instituudi direktoriks oli **Augustin W. Kaesser**, kes oli rõõmsalt üllatunud kahe uue idapartneri TTÜ ja TU Bratislava (**Elena Gramatova**) projekti raames tehtud tublist tööst ja panusest projekti ATSEC edukale lõppemisele. See fakt stimuleeris Kaesserit laiendama koostööd Idaga, võttes kampa ka firma Rutherford Appleton Laboratory (RAL) Inglismaal, mille üheks juhiks oli **John McLean**, kes oli ka assotsiatsiooni EUROPRACTICE üks juhte. Projekti ideeks oligi tugevdada EUROPRACTICE idasuunalist tegevust. Kasutades oma vanu ja uusi idapoolseid kontakte, andsime ka meie ATI-st ise panuse uue konsortsiumi moodustamisel. Projekti taotlus osutus edukaks.

Telgitagustest kontaktidest saime teada, et olime Brüsselis konkurentsisõelal küllaltki piiri peal olnud, konkureerides mitme teise projektiga samal pulgal. GMD ja RAL aga oskasid head lobby-tööd teha. TTÜ suhtes kasutasid nad trumpidena häid tulemusi ATSEC projektis (GMD), kuhu eriti tublilt panustasid **Jaan Raik** ja **Gert Jervan**, ning eesti esimese suure integraalskeemi projekteerimise edukust EUROPRACTICE raames (RAL) – **Jüri Põldre** kuldset panust ATI aktivatesse. Mis aga veel oli oluline projekti taotlemisel – Brüssel oli juba tähele pannud fakti, kuidas eestlased on osanud eurotoetusi (kolme erinevat projekti) fokuseerida uue kompetentsuskeskuse loomiseks. Ka firmad, keda oskasime partneriteks valida, olid hea renomeega.

Nii saigi lõpptulemus edukas – olime sees uues europrojektis: INCO-COPERNICUS JEP 9601/70 „Promotion of System Design Training and Information Centers in CCE/

[82] FTGEN – *Functional Test Generator* (funktsionaalne kõrgtaseme testigeneraator).
[83] GMD – *Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung*.

NIS – SYTIC")". Kõiki partnereid imponeeris see, kui tõlkisin neile, mida see projekti nimetus SYTIC eesti keeles tähendab. Puänt oli selles, et projekt pidigi edendama mikroelektroonika disaini käivitamist Ida suunas. Ehk siis eeldati projekti lõppedes „sütikult" ka mingit „plahvatust"(!).

Projekti koordinaatoriks oli niisiis **Augustin W. Kaesser**, direktor instituudis GMD, Schloss Birlinghoven, St. Augustin, Saksamaal. Hiljem delegeeriti projekti juhtimine üle **Lilian Petersile**. Projektis töötasid koos 9 partnerit: **John McLean** (Rutherford Appleton Laboratory – RAL, UK), Elena Gramatova, **Bedrich Weber** (Slovak Technical University, Bratislava, Slovaki Vabariik), **Andrzej Kobus** (Warsaw Univ. of Technology, Varssavi, Poola), **Valeri Mikhov** (Institute of Operating Systems (Moscow, Russia), **Alexander G. Marchuk** (A. P. Ershov Institute of informatics Systems, Novosibirsk, Russia), **Vladimir Lantsov** (Vladimir State Technical University, Russia), **Andrzej Napieralski** (Technical University Lodz, Poola), **Marin Hristov** (Technical University Sofia, Bulgaaria).

Projekti eesmärgiks oli digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika alaste õppeprogrammide moderniseerimine, uute struktuuriüksuste – disainikeskuste – loomine partnerite juures, meil TTÜ-s elektroonika kompetentsuskeskuse väljaarendamine disaini ja diagnostika õpetamise kaasajastamiseks ning efektiivsuse tõstmiseks.

Kõige suurem paradoks oli aga selles, et oma europrojekti SYTIC taotluses olime ju kõik projekti eesmärgid sidunud TTÜ elektroonika kompetentsuskeskuse (EKK) edasiarendamisega, aga just siis, kui projekt SYTIC ametlikult algas, lõpetas meie oma ülikool oma struktuuri reformides selle keskuse tegutsemise. Siit tekkis nüüd ka probleem eelseisvat aruandlust silmas pidades: polnud ju enam millestki aru anda, kui keskust enam ei olnud. „Ära kadunud keskuse probleemi" lahendasime siiski lihtsalt – uue (!) keskuse loomisega: kuna EKK üheks osaks oli niikuinii olnud PLD[84] laboratoorium, siis projekti edasisel kulgemisel arendatava keskuse nimi „muutuski sujuvalt" EKK asemel PLD-ks (vahel kasutasime ka mitteametlikku nime – *disaini ja testi keskus*).

Projekti raames täiustasime ja ehitasime oma diagnostikasüsteemi Turbo Tester juurde uusi tööriistu ja lisasime sinna tarbijasõbralikuma kasutajaliidese. Samuti moderniseerisime Turbo Testril baseeruvat laborikursust diagnostika õpetamiseks. Samal ajal aga arendasime edasi oma kõrgtaseme testi-generaatorit DECIDER.

ATI uurimisgrupi töötulemused said ekspertide ja eurokomisjoni poolt väga kõrge hinnangu, komisjon soovitas TTÜ juurde PLD-labori baasil luua rahvusvahelise täiendõppekeskuse diagnostikakursuste läbiviimiseks. 1999. a. märtsis korraldasimegi TTÜ-s 30 osavõtjaga rahvusvahelise kursuse digitaalsüsteemide testimise ja diagnostika teemal.

Edasi hakkasid meie huvid arenema veelgi üldisemas plaanis – *rahvusvahelise virtuaalse labori* loomise suunas, mille teostamiseks projekti SYTIC jätkuna õnnestuski meil järgmisel eurokonkursil saada uus projekt VILAB (1998-2001).

Konkreetselt oli meie töö raamistatud nelja ülesandega: disaini keskkonna (PLD-labori) arendamine, diagnostikasüsteemi Turbo Tester edasiarendamine, õppetöö arendus (labori keskkond, uued laboritööd) ja konverentside korraldamine. Samal ajal mittesihipärase tööna (mitte projekti SYTIC põhiselt) arendasime edasi kõrgtaseme testigeneraatorit DECIDER.

EEMCN projekti jätkuna ja SYTIC toel rajasime PLD-laborisse uue disaini klassi 14 SUN tööjaamaga, mille loomist toetasid ka Rootsi firmad Ericsson Telecom AB (Stockholm) ja DIGSIM Data AB (Linköping). Koostöös partneriga RAL saavutasime õiguse installeerida 9 disainitarkvara CADENCE litsentsi, saime ka vastavat väljaõpet firmast RAL. Projekti raames demonstreerisime oma Turbo Testrit kolmel näitusel: CeBIT'98

[84] PLD – *Programmable Logic Devices* (programmeeritavad loogikaseadmed).

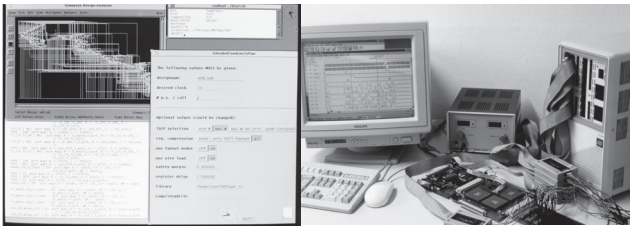
(Hannover, aprill 1998), *Exhibition of the International Conference* IST'98 (Vienna, nov. 1998) ja *User forum for innovation in Estonia* (Tartu, märts 1998), samuti korraldasime kolm rahvusvahelist konverentsi: *15th NORCHIP* (Tallinn, nov. 1997), *8th Int. Workshop on Field-Programmable Logic and Applications* (Tallinn, aug. 1998) ja *6th Baltic Electronics Conference* (Tallinn, okt. 1998).

Projekti käigus arenes meil loomulikult tihe koostöö kõigi projekti partneritega, millest hiljem kasvas välja veel üks uus europrojekt REASON (2002-2004). Aga nii teadustöö kui ka õppetöö edendamise mõttes sai projekti üheks oluliseks tulemuseks Turbo Testri juurutamine reaalsete tööstusprobleemide lahendamisel Dresdeni Küberneetika Instituudis bilateraalse projekti EST-008-96 raames.

Eesti-Saksa projekt EST-008-96 (1996 - 1999)

Projekti nimetuseks oli „Automated Test Generation for FPGA based Designs", kus välispartneriks oli Fraunhofer Gesellschaft, Institute of Integrated Circuits Dresdenis. Projekti toetas Saksamaa Teadusministeerium BMBF[85] ja seda koordineerisid Saksamaa poolelt professorid **Günter Elst** ja **Karl-Heinz Diener**.

Töö eesmärgiks oli uue efektiivse testigeneraatori loomine programmeeritavate digitaalskeemide testimiseks, tugevdamaks meie Dresdeni partneri disainikeskkonda, kus projekteeriti digitaalsüsteeme saksa tööstusele.



Projekti EST-008-96 katsestend

Tööstuses kasutati keerukate süsteemide testimiseks ainukest „mõistlikku ja käepärast" meetodit – funktsionaalseid teste, milliste kvaliteet (rikete kate) jättis aga alati soovida ja millised nõudsid testimisel ka suurt ajakulu. Meie töötasime oma saksa partnerite jaoks välja uut laadi hierarhilise testide genereerimise meetodi, kus kõrgtasandil toimus testprogrammide „planeerimine" sümbolmuutujaid kasutades, madalal tasandil aga võtsime appi oma loogikaskeemide testigeneraatori Turbo Testri, mis sünteesis kõrgtasandil vajalikke andmeid sümbolite asemel testprogrammi sisestamiseks. Uue meetodi tulemusena õnnestus meil katseskeemidel demonstreerida, et senine rikete kate tõusis 70%-lt 95%-ni koos väga suure testide genereerimise kiiruse tõusuga.

Uut hierarhilist testisünteesi meetodit rakendati mitme tööstusliku toote testimisel. Nii näiteks õnnestus meie uue testigeneraatori DECIDER abil märgatavalt tõsta testimise kvaliteeti Huffmanni dekooderi puhul, kus esialgne testide kate 20% tõsteti 60%-le. Rikete katte jäämine ikkagi väga madalaks (60%) näitas lihtsalt seda, et skeem oli halvasti projekteeritud testitavuse mõttes (skeem oli raskesti testitav). DECIDER-i kasutamisel saadud tulemuste põhjal õnnestus lisaks välja töötada ka konkreetsed ettepanekud, kuidas süsteemi testitavust parandada, nii et testimise kvaliteet tõuseks.

See oli esimene kord, kus panime koos tööle kaks süsteemi: loogikataseme testigeneraator Turbo Tester ja kõrgtaseme testprogrammide generaator DECIDER, ehkki see nimi DECIDER tuli mängu alles hiljem.

[85] BMBF – *Bundesministerium für Bildung und Forschung.*

Bilateraalse saksa projekti tulemused publitseeriti Saksa Teadusministeeriumi BMBF parimate projektide kogumikus 1999. aastal ja ministeerium koos Saksa Arendusfondiga soovitas seda koostööd jätkata ka järgnevatel aastatel.

Nii jätkusidki hiljem mitu korda pikendatud saksa-eesti bilateraalsed projektid EST-000-01 ja EST-000-05, nüüd juba isetestivate süsteemide projekteerimise suunas. Selles uurimistöös ühines meiega veel ka üks Saksamaa diagnostika valdkonna tipptegijaid Stuttgarti Ülikool eesotsas prof. **Hans-Joachim Wunderlichi** ja tema töögrupiga.

Kirjeldatud bilateraalse projekti teadustulemused publitseerisime mainekal konverentsil DATE.[86]

Virtuaalse labori lugu

Häda europrojektidega

Europrojektide saamine pole kerge ettevõtmine, konkursid on väga tugevad ja paljuski õnnega seotud. Nii tugevad ja nii suur loterii, et professorid Läänes hakkasid aegamisi nende vastu huvi kaotama, sest projekti saamise tõenäosus suure konkurentsi tõttu muutus üha väiksemaks. Samal ajal on edukatel professoritel suhteliselt kerge saada palju tulusamaid projekte omaenda maa tööstusfirmadelt, kes on koostööst ülikoolidega väga hvitatud, mitte nii nagu see on Eestis, kus elektroonika-alane ettevõtlus saab ka teaduseta hakkama. Seetõttu, kui on tekkinud initsiatiiv ühe uue projekti käivitamiseks, on sageli raskusi tugevat Lääne ülikooli oma meeskonda haarata, tuntumad professorid on „laisad kaasa lööma".

Erinevalt Euroopa tööstusettevõtetest on USA firmad valmis toetama ülikoole ka ainult alusuuringutes. Euroopas tahetakse ülikoolidelt otsest valmiskasu.

Vestlesin kord ühe Arizona ülikooli professoriga, kes oli analoogilise kompetentsuskeskuse juhataja, mille minagi kord rajasin. Tundsin huvi selle kohta, kuidas on see võimalik, et nende tegevust finantseerib 12 erinevat firmat. Euroopas ei tuleks see kõne alla, et omavahel konkureerivad firmad ühises projektis osaleksid – nii saaksid ju saladused konkurentidele avalikuks. Tuli välja, et selle USA keskuse puhul firmad ei annagi keskusele **konkreetseid** ülesandeid. Ülikoolil lubatakse tegeleda sellega, mida ülikool ise tahab teha. Firmad hoiavad ülikoolil vaid silma peal. Kui firmadele juhtumisi mõni akadeemiline tulemus huvi pakub, siis nad realiseerivad selle ilma ülikooli isegi informeerimata. Kui aga firma mõne aja vältel mingit kasu rahastatavas ülikooliteaduses ei näe, lõpetavad nad finantseerimise. Seega on ülikoolil küll täielik akadeemiline vabadus, aga selle hoidmiseks peavad nad ka ise firmadel silma peal hoidma, et teada saada või aimata, mis probleemid võiksid firmale huvi pakkuda.

USA ülikoolide eeliseks on see, et nad asuvad väga ettevõtlikus keskkonnas, kus on palju konkureerivaid firmasid, kes võiksid neid potentsiaalselt vajada. Euroopas ülikoole ümbritsev keskkond on enamasti vaesem nii firmade arvu kui ka firmade konkurentsi poolest. Eestist ei tasu rääkidagi.

Arizona professori kogemus ühtib mõnes mõttes ka sellega, mille tunnistajaks olin kord Saksamaal, kui üks ülikooli professor üritas firmaga koostööprojekti sõlmida. Ebaõnnestunult lõppenud jutuajamise lõpetuseks võttis firma juht kokku oma positsiooni:

[86] J. Raik, R. Ubar. Sequential Circuit Test Generation Using Decision Diagram Models. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe – DATE. Munich, March 9-12, 1999, pp. 736-740.

„Meil on tähtajad, millest meil tuleb ellujäämise hinnaga kinni hoida. Aga teie doktorandid, kes meilt ülesande saavad, võivad ühel päeval öelda, et ei viitsi enam. Ülikoolile ülesannet anda oleks igal firmal seetõttu suur risk. Me parem võtaksime mõne teie doktorandi enda juurde tööle."

Aga seda jälle ei tahaks professor, et ta grupist mõni andekas doktorant firmasse ära läheks. Mitte ainult Eesti professorid ei karda ajude äravoolu. Seda kardavad ka saksa professorid. Või Helsingi ülikooli professor, kelle juurest vaevalt kaela kandma hakanud noored insenerihakatised ülikoolist ära NOKIA-sse voorivad. Või prantsuse professorid, kes küll kerge vaevaga endale kaadrit tuneeslaste või alžeerlaste hulgast leiavad, aga sama kergelt ka oma „õnnestunud leiu" pärast selle välja õpetamist USA-le peagi loovutama peavad. USA on elektroonika Meka. Ajude äravool Euroopast USA-sse elektroonika aladel on väga suur.

Europrojekt VILAB (1998-2001)

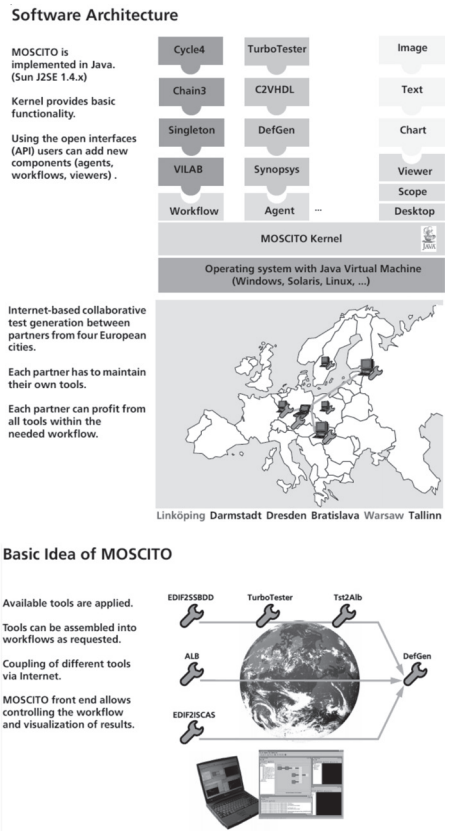
Olin ühe europrojekti initsiaatoriks, millele andsime nimeks VILAB – akronüüm sõnast *virtuaalne laboratoorium*. Sõitsin mööda Euroopat ringi, üritasin meeskonda kokku panna üleeuroopalise virtuaalse elektroonikalabori rajamiseks. Mul oli mõttes seada projektis üles kaks eesmärki: ühelt poolt konkreetne uurimistöö elektroonikast, mis oleks lihtsalt huvitav olnud, aga teiselt poolt, uuringute tulemusena loodava tarkvara baasil ka veebipõhine virtuaalne töökeskkond luua, mis oleks ka ülikoolide jaoks õppe-treeningu keskkonnana atraktiivne olnud.

Professor **Bernard Courtois** Prantsusmaalt, kes oli olnud meie esimese europrojekti TEMPUS partner, oli ka algul selle kujunemisel oleva projekti meeskonnas, aga kui kuulis mu ideest, loobus. Ta ütles: „Niisugusele projektile te iialgi rahasid taha ei saa. Peab olema kas üks või teine, kas teadus või veeb, aga mitte mõlemad. Mõlemad koos tähendavad – ei liha ega kala." **Courtois** pakkus oma ideed, mis seisnes uurimisasutuste võrgu loomises. Aga see mind ei huvitanud, rohkem haaras vahetu teadustöö koos tulemuste „pakendamisega". Jäin enda juurde. Aegamisi hakkas projekti idee üha rohkem ilmet võtma ja põnevaks muutuma ning varsti hakkasid üha uued partnerid huvi avaldama projektiga ühinemiseks. Panime taotluse kokku Dresdenis koos sakslasest partneri prof. **Dieneriga** ja oma tudengi **Gert Jervaniga**. Töötasime tookord kõik koos Fraunhoferi instituudis Saksamaal. Projekti taotlus võitis konkursil ja Courtois vangutas üllatusega pead ning ilmselt ka kahetsedes, et oli teinud ebaõnnestunud otsuse ise konsortsiumist välja astuda.

Selle projekti taotluse kirjutamisel veendusin selles, et kui väga-väga oma projekti ideed armastad ja selle avamisele end jäägitult pühendad, siis jälg sellest tugevast gravitatsioonist kirjutaja ja kirjutatu vahel kandub edasi ridade vahele, mis ka retsensendid oma mõjuvälja haarab ja paneb neid uskuma, et just see taotlus väärib finantseerimist.

Projekti täisnimetus oli INCO-COPERNICUS JEP 977133 „VILAB – Microelectronics Virtual Laboratory for Cooperation in Research and Knowledge Transfer" (1998-2001). Koordinaatoriks oli prof. **Günter Elst** (Fraunhofer Institute of Integrated Circuits, Dresden, Saksamaa). Projekti kuulus 9 partnerit (personaalselt on nimetatud juhid ja põhitegijad partnerite juures): **Karl-Heinz Diener**, **Andre Schneider** (Fraunhofer Institute of Integrated Circuits, Dresden, Saksamaa), **Gunnar Carlsson** (Ericsson Telecom AB, Stockholm, Rootsi), **Zebo Peng**, Gert Jervan (Linköping University, Linköping, Rootsi), **Manfred Glesner**, **Thomas Hollstein** (Technical University of Darmstadt, Saksamaa), **Norbert Fristacky**, **Bedrich Weber** (Slovak Technical University, Bratislava, Slovaki Vabariik), **Elena Gramatova**, **Maria Fischerova** (Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovaki Vabariik), **Wieslaw Kuzmicz**, **Witold Pleskacz** (Warsaw University of Technology, Varssavi, Poola), **Andrzej Kobus** (Warsaw Institute of Electron Technology, Varssavi, Poland), **Gabor Peceli**, **András Pataricza** (Technical University of Budapest, Ungari).

Järgnes kolm aastat ülihuvitavat ühistegevust kriiside ja õnnelike leidudega. Uurisime eri probleeme digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika vallast, otsisime ja leidsime lahendusi, automatiseerisime disaini ja rikete diagnoosi, töötasime välja tarkvara mis konstrueeris ise uusi elektroonikaskeeme, testis neid, otsis üles rikkeid. Kõige olulisemaks tulemuseks sai meil internetipõhine eksperimentaaluuringute keskkond digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika meetodite, algoritmide ja tarkvara uurimiseks, katsetamiseks ning efektiivsuse määramiseks. Koostöös Fraunhoferi Instituudiga Saksamaal valmis keskkond MOSCITO TTÜ diagnostikatarkvara kaugkasutamiseks üle Interneti. Lisaks Fraunhoferi Instituudi enda disainitarkvarale integreeriti MOSCITO-sse TTÜ loogikaskeemide diagnostikapakett Turbo Tester ja hierarhiline testide generaator digitaalsüsteemidele DECIDER, samuti Linköpingi Ülikooli kõrgtaseme disainisüntesaator CAMAD ja Slovaki Teaduste Akadeemia defekt-orienteeritud testigeneraator DEFGEN. Nii valmiski nelja euroopa laboratooriumit haarav ühtne disaini ja testi keskkond – virtuaalne laboratoorium.[87]



Disaini ja testi virtuaalse laboratooriumi skeem

Selle labori tarkvara eri osad asusid eri paigus üle Euroopa oma autorite juures. Dresdenis asus server, mis ühendas seda tarkvara, nii et kui tuli klient Bratislavast, kes oli uue skeemi projekteerinud ja tahtis nüüd selle testimiseks testprogrammi saada, siis pöördus ta oma sooviga serveri poole Dresdenis. Server suunas kliendi Tallinna, kus tööle läks arvuti, genereeris vajaliku testprogrammi ja saatis selle tellijale tagasi. Klient ei pruukinud seejuures üldsegi teada, kus midagi toimus. Seda süsteemi arendasime hiljem edasi bilateraalse koostöö raames Saksa Haridus-Teadusministeeriumi BMBF-i toetusel.

Eksperimendid demonstreerisid edukalt süsteemi töövõimelisust. Kõige olulisemaks projekti tulemuseks kujunes täisautomatiseeritud disaini ja testi keskkond DECIDERi ja CAMAD-i baasil Rootsiga[88] ühelt poolt ja poolautomatiseeritud disaini ja testi keskkond DECIDERi ja Fraunhoferi Instituudi tarkvara baasil Saksamaaga[89] teiselt poolt. Tänu uue virtuaalse keskkonna võimalustele lihtsustus rahvusvaheline koostöö ühiseks-

[87] A. Schneider, E. Ivask, P. Mikloš, J. Raik, K. H. Diener, R. Ubar, T. Cibáková, E. Gramatová. Internet-based Collaborative Test Generation with MOSCITO. IEEE Design Automation and Test in Europe – DATE'02. Paris, March 4-8, 2002, pp. 221-22.

[88] G. Jervan, P. Eles, Z. Peng, J. Raik, R. Ubar. High-Level Test Synthesis with Hierarchical Test Generation. IEEE 17th NORCHIP Conference, Oslo, Nov. 8-9, 1999, pp.291-296.

[89] G. Elst, K-H. Diener, E. Ivask, J. Raik, R. Ubar. FPGA Design Flow with Automated Test Generation. Proc. of German 11th Workshop on Test Technology and Reliability of Circuits and Systems. Potsdam, 1999, pp. 120-123.

perimentaaluuringute osas, nii saime uusi tulemusi defekt-orienteeritud digitaalskeemide diagnostikas[90] kui ka testide generaatorite efektiivsuse tõstmisel.[91] Analoogid kõrgtasemel ühilduvate disainisüsteemide ja testigeneraatorite näol puuduvad.

Järgnev lugu, mis avaldati Tehnikaülikooli ajalehes, räägib VILAB projekti idee sünnist ja projekti taotluse kokkupanemise okkalisest teest.

Projekti VILAB sünnilugu[92]

„Virtuaalse reaalsuse" ajastul on ehk kummaline nimetada asju, mis on päris reaalsed, virtuaalseteks. Aga nii ta on: arvutitehnika instituudis metsataguses Raja häärberis on päris reaalne laboratoorium, mida hakatakse ümber kujundama virtuaalseks. „Tiigrihüppest" esmanakatunu võib siit nüüd küll välja lugeda, et ühte laborit tahetakse Tehnikaülikoolis olematuks teha... Aga kõik on just vastupidine. Üks uus arvutiklass on üleöö meie ülikooli hoopis juurde tekkinud ja pealegi see, mis seal näha on, kujutab endast vaid seitsmendikku tervikust (täpselt nii nagu ühe jäämäe puhul). Kuus seitsmendikku on peidus ja jääb ka peitu (mööda ilma laiali). Virtuaalseks teeb labori see, et kui kedagi seal näha on arvuti taga istumas, siis võib see silmadele ka petukaup olla, sest istuja võib samal ajal nii mõttes kui teos hoopis arvuti taga kusagil Rootsis või Saksamaal klahve klõbistada...

Uut europrojekti planeerides. Kogu lugu algas möödunud sügisel, kui allakirjutanu Dresdenis komandeeringus viibides ühte uut europrojekti haudus. COPERNICUS programmis on projekte kahesuguseid: nn. „kontserdid" ja „tõsised" teadusprojektid. „Kontsertide" puhul on finantseerimine sümboolne, see toetab põhiliselt vaid partnerite-vahelise võrgu loomist, kooskäimisi ja infovahetust. Viimase grandi kampaania puhul möödunud sügisel soovitas juhend taotleda projekte teemal „Teadusvõrgud". Aga mitte kuidagi ei saanud selgust, kas see teema tähendas „kontserti" (rõhk sõnal „võrgud") või teadusprojekti (rõhk sõnal „teadus"). Enamus luges juhendist välja „kontserti", mis eriti ei stimuleerinud projekti kokkupanemist. Ebaselgus ja määramatus vähendasid veelgi indu, seda enam, et edu tõenäosus selles programmis on olnud harilikult vaid 5%. Mitmed esialgsed partnerid loobusid, pidades oma aega liialt kalliks, et tuuletallamisega tegelda.

Töö läheb käima. Sellises olukorras võttis allakirjutanu siiski initsiatiivi oma kätte ja pakkus välja isikliku interpretatsiooni antud teemale: „nii teadus kui ka võrk mõlemad". Projekti idee formuleeris ta nimetuse all „Rahvusvaheline mikroelektroonika virtuaalne laboratoorium". Projekt pidi sisaldama kolme eesmärki: virtuaalse labori (ehk võrgu) ülesehitamist ja liideste loomist partnerite ressursside vastastikkuseks kasutamiseks läbi interneti, teaduslikku koostööd ühiste ressursside kasutamise baasil ja koostöö tulemuste levitamist avatud ühisfoorumite teel. Allakirjutanu kogus partneritelt kokku vajaliku info, mida taotluse koostamiseks vaja läks: mida keegi on valmis võrgu loomiseks tegema, milliseid ressursse, oskusi ja kompetentsust ollakse teiste jaoks valmis jagama ning millised ühisuuringud kellelegi võivad huvi pakkuda.

Materjal oli enam-vähem koos ning tähtajani oli jäänud 10 päeva. Taotluse kokku kirjutamine jäi loomulikult idee autori ja initsiaatori – allakirjutanu ülesandeks. Ent vahepeal tuli tal Dresdenist, kus kogu töö toimus, ära käia – Jugoslaavias konverentsil.

Colgata teekond. Kõik oleks ehk libedalt läinud, kui allakirjutanult poleks Belgradis pass ära varastatud. Projekti materjalide kaasavõtmisest polnud enam kasu, nende töötlemiseks ei jäänud mahti, sest kõik järgnevad neli päeva kulus selleks, et leida võimalus, kuidas Jugoslaaviast välja Ungarisse pääseda. Mis luges Serbias üks tühine eestlasest hädaline, kui kõik miilitsaosakonnad olid seal kummis, et 700 000 serblasest sõjapõgenikule Horvaatiast ja Bosniast passe ning elamislubasid produtseerida. Aga see on omaette pikk lugu…

---

[90] T. Cibáková, M. Fischerová, E. Gramatová, W. Kuzmicz, W. Pleskacz, J. Raik, R. Ubar. Hierarchical Test Generation for Combinational Circuits with Real Defects Coverage. Pergamon Press. J. of Microelectronics Reliability, (42), 2002, 1141-1149.

[91] K.-H. Diener, G. Elst, E. Gramatova, W. Kuzmicz, Z. Peng, R. Ubar. Virtual Laboratory for Research in Dependable Miroelectronics. 7th Baltic Electronics Conference, Tallinn, October 8-11, 2000, pp.217-220.

[92] Raimund Ubar. Virtuaalse labori lugu. „Tehnikaülikool", Nr. 15, 31. aug. 1998.

Viienda päeva hommikul jõudis autor siiski madjarite poolele ja arvas juba, et oli pääsenud. Teps mitte. Kuid nüüd osutus vähemalt kasulikuks see, et projektimaterjalid kaasas olid. Kõik need seitse tundi, mis tuli veeta Ungari piirivalve putkas välisministeeriumi faksi oodates, istus allakirjutanu pingil, pastakas käes ja paberilehed kahe ruutmeetri ulatuses putka põrandale laiali laotatud. Sest aega oli jäänud veel vaid viis päeva...

Ungarist lõpuks edasi pääsenud, tõstis nüüd aga Slovaki piirivalve lindprii professori rongist maha, sest too sõitvat vales suunas - Eestimaale pääsevat mitte Saksamaa vaid Ukraina kaudu...

Saksamaale tagasisõit ei tulnud mitte kusagil kõne alla, ka Eesti Saatkond Bonnis ei olnud võimeline aitama. Viini saatkonnast autoga Ungari piirile toodud paber lubas üksnes Eestisse tagasi sõita, aga sedagi paberit tunnistas vaid see, kes just soovis. Kuid Dresdenisse tuli jõuda, muud võimalust alustatud ürituse lõpule viimiseks polnud. Vastutus oli suur, sest ürituse taga seisis 10 Euroopa ülikooli ning asutust...

Lõpp hea, kõik hea. Saatuse tahtel jõudis kaheksa piirivalvet seljatanud „illegaal" lõpuks ometi Fraunhoferi instituuti Elbe kaldal, kus tema töö lebas pooleli kirjutuslaual, ja ka projektitaotlus jõudis tähtajaks Brüsselisse. Projekt sai väga hea hinde ja pälvis finantseerimise.

Kingitus Ericssonilt. Üheks projektis osalevaks firmaks on Ericsson Rootsist. Nimetatud firmaga on allakirjutanul juba aastaid olnud töised kontaktid, vahel tihedamad vahel harvemad. Seekord antud projekti raames on käivitunud koostöö koos Ericssoni-poolse huviga oma eesti partneri laboribaasi tugevdada. Nii saabusidki suve hakul Tehnikaülikooli hr. Gunnar Carlsoni eestvedamisel suurem kogus SUN tööjaamu 19-tolliste värvikuvaritega. Arvestades olemasoleva professionaalse disainitarkvaraga, mis uude laborisse on nüüd installeeritud, võib julgelt väita, et tegemist on ühe parima elektroonikadisaini klassiga Ida-Euroopa ülikoolides. Keegi naljatles, et selles laboris võiks nüüd Ericssoni „mobiile" tootma hakata. Sest kui juba Ericsson töötas kahel viimasel aastal just samadel arvutitel, siis miks...

Virtuaalsuse müstikast. Virtuaalse labori idee tähendab seda, et uue projekti raames ehitatakse liidesed ja luuakse vastav tarkvara, et interneti teel käivitada partnerite serverites programme, mis laboris puuduvad, saadetakse käivitatud programmile andmeid ja pärast taritakse tagasi saadud tulemusi. Näiteks Linköpingi ülikoolis on sünteesiprogramm, mis genereerib digitaalsüsteemi kirjeldusest just niisuguse info, mida vajab meie diagnostikatarkvara. Kahe programmi koostöös laheneb keeruline diagnostikaprobleem. Analoogilist võimalust teistele - kasutada oma diagnostikatarkvara „Turbo Tester" pakume meie.

Võiks ka küsida, milleks töötada virtuaalselt võrgu kaudu, võiks ju vajaliku tarkvara päriselt kohale tuua, „reaalselt" installeerida ja igasugusest „näivusest" loobuda. Tegelikult oleks selline võimalus vaid üks alternatiiv mitmest. See ei tasu, kui partneri programmi kasutatakse harva või kui see on ära ostmiseks liiga kallis või kui see vajab pidevat hooldust ja arendust, millega hakkama saab vaid tarkvara autor.

Uus õppeklass on avatud. Niisiis, võib loota, et „Virtuaallabori" projekti lõppedes saab eesmärk teoks ning labori töökohtade riist- ja tarkvara moodustavad tõesti vaid seitsmendiku labori tõelisest väärtusest, nii nagu jäämäe veepealne osa moodustab vaid seitsmendiku kogu lahmaka tegelikust suurusest.

Päris naljakas on nüüd mõelda tagasi sellele, et kui Slovaki piirivalve oleks lindprii professori tõepoolest Ukrainasse saatnud, oleks ka uue labori praegune nähtav seitsmendik vaid virtuaalseks unistuseks jäänud.

Laboris, mille töökorda viimisel on suve jooksul märkimisväärset vaeva näinud arvutitehnika instituudi insener **Marek Mandre**, hakkab juba sellest sügisest toimuma õppetöö. Arvutiklass on otseseks laienduseks instituudi disaini- ja diagnostika keskusele – PLD laborile. Keskuses toimuv uurimis- ja arendustöö leiab ühe väljundi ka uude õppeklassi, tugevdamaks selle „tööriistabaasi". Rahvusvahelise „Virtuaallabori" projekti käigus klassi võimalused vaid avarduvad. Õppeülesanded on aga niisugused, mis sunnivad tudengeid tõsiselt süvenema professionaalse disainitarkvara saladustesse ja lahendama loomingulises mõttes nõudlikke inseneriprobleeme. Uue labori väärtus seisneb võimaluste loomises tudengitele iseseisvaks tööks samalaadses keskkonnas, kus töötavad ka Ericssoni ja Nokia insenerid. Seda võimalust halvasti ära kasutades võivad tudengid vaid iseennast süüdistada. (Raimund Ubar, 12. aug. 1998).

Gastroleerides Euroopast Vladivostokki

„Konverentsiturism“ on sõna, millel pole alati võhiku tõlgenduses hea maik man. See sõna ongi mõeldud välja eeskätt norimise eesmärgil. Aga kuna globaalsemat asja kui teadus Maa peal ei ole, siis reisimist globaalsete piiride murdmiseks teadusest välistada ei saa. Nii reisivadki teadlased põhiliselt kolmel eesmärgil: konverentsidele oma töötulemusi levitama ja *testima*, *õpetama* ja *õppima*. Seejuures õpetamine on reflektiivne protsess – õpetades ka õpitakse. Seega kõik need kolm eesmärki taanduvad tööks.

Kui gastroleerivaid muusikuid tervitame tänuga kontserdisaalis, siis miks peaks vaatama halvasti gastroleerivale teadlasele.

Gastroleerimine oli meil ühte europrojekti – REASON – sisse programmeeritud. Selles projektis tuli välja töötada uusi õppekursusi ja nende efektiivsust ning sisukust testida erinevates ülikoolides, kuhu kohale jõuda sai üksnes reisides. Vladivostok ei olnud esialgses projektikavas. Kuidas Vladivostok sinna lõppuks sattus, sellest räägibki järgnev jutt.

Projekt REASON (2002-2005)

Projekti täisnimetus oli FP5 IST-2000-30193 „Research and Training Action for System on Chip Design“. Projekti koordinaator oli prof. **Wieslaw Kuzmicz** (Varssavi Tehnoloogia Ülikool). Projektist võtsid osa kokku 22 partnerit 19 riigist, nendest:

Reis Siberimaale

- viis EL riikidest Grenoble'i Josef Fourier Ülikool, TIMA Laboratory, Prantsusmaa (**Ahmed Amine Jerraya**, **Paul Amblard**), IMEC, Belgia (**Carl Das**, **Bart De Mey**), Eindhofeni Tehnikaülikool, Holland, (**Lech Jozwiak**), Rutherford Appleton Laboratory, Inglismaa (**John McLean**) ja Ilmenau Tehnikaülikool, Saksamaa (**Heinz Dietrich Wuttke**);
- 13 „uutest ühinenud riikidest“: Varssavi Tehnoloogia Ülikool (**Wieslaw Kuzmicz**, **Witold Pleskacz**), Varssavi Tehnoloogia Instituut, Poola (**Andrzej Kobus**), Lodzi Tehnikaülikool, Poola (**Andrzej Napieralski**), Tallinna Tehnikaülikool (**Raimund Ubar**, **Artur Jutman**), Budapesti Tehnikaülikool (**Andras Poppe**), Slovaki Tehnikaülikool (**Bedrich Weber**), Bukaresti Tehnikaülikool (**Dan Dascalu**), Slovaki Teaduste Akadeemia, Informaatika Instituut, Slovakkia (**Elena Gramatova**), Sofia Tehnikaülikool, Bulgaaria (**Marin Hristov**), Libereci Tehnikaülikool, Tšehhi Vabariik (**Ondrej Novak**, **Zdenek Pliva**), Kaunase Tehnikaülikool, Leedu (**Rimantas Seinauskas**, Eduardas Bareisa), Ljubljana Ülikool, Sloveenia (**Baldomir Zajc**, **Andrej Zemva**) ja Riia Tehnikaülikool, Läti (**Peteris Misans**);
- ja üks Venemaalt: Vladimiri Tehnikaülikool (**Vladimir Lantsov**, **Sergey Mosin**), üks Ukrainast: Lvovi Tehnikaülikool (**Mykola Blyzniuk**), ning kaks Valgevenest: Valgevene Riiklik Informaatika ja Raadiotehnika Ülikool, Minsk (**Vladislav Nelayev**) ja Valgevene Riiklik Ülikool, Minsk (**Vladimir Stepanets**).

Projekti idee hakkas kujunema Wieslaw Kuzmiczi ja Raimund Ubari omavahelistes aruteludes, kes olid juba eelnevalt mitmetes projektides (EEMCN, VILAB, SYTIC) koos tegutsenud. Mõte oli jätkata edukalt lõppenud VILAB-projekti suunda – *ühitada õppetööd ja teadust*. On ju loomulik, et pikemale teekonnale tuleb asuda ikka juba eelnevalt

„ära proovitud“ kaaslastega ja nii kujuneski ka esialgne tuumik. Aga ühel hetkel hakkas kuuldus uuest loodavast projektist levima ja konsortsium hakkas kiiresti kasvama. Algul me ei näinud selles ohtu, sest kuna üheks projekti kandvaks tiivaks oli uute õppekursuste väljatöötamine ning nende katsetamine partnerite juures, siis oli see isegi hea, et „katsepolügoon“ piisavalt suur oleks. Aga 22 partnerit – see oli juba liiga palju ja see ei hakanud meeldima ka Brüsselile. Eksperdid olid projektile küll suurepäraseid hindeid pannud, aga Brüsseli koridorides leiti, et temaatika valgub laiali ja sellist hulka partnereid pole võimalik „ohjes hoida“.

Lepingu sõlmimise protsess hakkas minema üle kivide ja kändude. Projekti ohvitser oli kategooriline: meie kavandatud töömaht on liiga väike nii suure hulga partnerite kohta, temaatikat tuleb laiendada. Brüsseli ametnik pakkuski seejärel omaenda südamelähedasest valdkonnast uusi teemasid, mis olid aga partnerite jaoks liiga tehnoloogialähedased ja sobimatud. Meie projektijuht Wieslaw oli uutest nõuetest niivõrd ärritunud, et saatis kõikidele partneritele SOS e-maili päisega „REASON in danger“ ja teatas, et kavatseb projekti koordineerimisest loobuda.

Esimesena reageeris Wieslawi SOS-teatele Tallinna Tehnikaülikool. Pakkusime projektile juurde lisamiseks koguni kaks uut temaatikat: üks neist oli seotud *Boundary Scan* standardiga (just seda sorti tehnoloogialähedane, mida Brüssel tundus soovivat) ja teine oli veelgi tehnoloogia lähedasem – *defektipõhine diagnostika* (pakkusime diagnoosiobjektideks traditsiooniliste loogikarikete asemel füüsikalisi defekte).

Mõlemad probleemid olid ka tööstusringkondades kuumadeks ning arenevateks teemadeks. Üllatav paradoks ilmnes nüüd selles, et ootamatult areenile imunud mustast hobusest – defektide testimisest – sai hiljem koguni projekti „lipulaev“. Ehk siis Brüsseli ametniku pahurast norimisest ei sündinud meile mitte muret, vaid hoopis hulgaliselt entusiasmi ja projekti lõppedes palju ühisartikleid ning üks unikaalne õppekiip (*educational chip*), mis pärast projekti lõppu levis paljudesse Euroopa ülikoolide laboritesse. Projektile REASON hakati hiljem Brüsseli koridorides vaatama hoopis teise pilguga ja imestama ning kiitma kui hästi need 22 partnerit (!) koos töötavad ja kui hästi neid koordineeritakse (kiitus meie projektijuhile).

Sellest projektist ja nendest uutest teemadest sai alguse pikaaegne koostöö Tallinna Tehnikaülikooli ja Varssavi Tehnikaülikooli vahel, mida finanantseerima asusid mõlema riigi teaduste akadeemiad. Tagantjärele tuleb sedagi tunnistada, et just need mõlemad teemad andsid tõuke pärast projekti lõppu asutada TTÜ juurde *spin-off* firma **Testonica Lab**.

Teadus ja sport

Projekti REASON üheks missiooniks oli – tuua õppeprotsessi ühelt poolt teadus, teiselt poolt sport.

Kuna projektis osales 22 partnerit 11-s erinevas alamprojektis väga laiades valdkondades, siis järgnevalt peatume vaid mõnes, mis otseselt TTÜ arvutitehnika instituuti puudutavad. Projekti üldiseks eesmärgiks oli läbi viia ühisuuringuid digitaalsüsteemide disaini ja diagnostika uute meetodite ning tarkvara väljatöötamiseks, uute õppekursuste, õppetarkvara ja muude õppevahendite väljatöötamiseks ning kursuste ja seminaride läbi viimiseks. Konkreetsemalt meie tulemusi võib formuleerida järgnevalt:

1. Internetipõhise eksperimentaaluuringute keskkonna loomine. Töötasime välja tark- ja riistvara põhise keskkonna digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika meetodite, algoritmide ning tarkvara uurimiseks, katsetamiseks ja efektiivsuse määramiseks.
2. Internetipõhise õpitarkvara väljatöötamine. Töötasime välja komplekti Java applette, mis võimaldavad läbi viia eksperimente loogikaskeemide simuleerimiseks, rikete analüüsiks, testide genereerimiseks ja nende kvaliteedi hindamiseks ning rikete lokaliseerimiseks digitaalskeemides.
3. Projekti tulemusena tekkis TTÜ aktivasse neli uut loengukursust digitaaldisaini ja diagnostika valdkonnas.

Koostöös Ilmenau Tehnikaülikooliga töötasime välja Internetil (*Java applettidel*) põhineva õpisüsteemi digitaaltehnika disaini ja testi õpetamiseks ülikoolides, mis on pakkunud elavat huvi rahvusvahelistel konverentsidel, nii Euroopas kui USA-s. Programmeerisime applette diagnoosiprotsesside laboratoorseks uurimiseks nii loogika kui ka registersiirete tasemel esitatud skeemides, rikete diagnoosimiseks kommutatsiooniahelates, funktsionaalse isetestimise meetodite analüüsimiseks ja võrdlemiseks registersiirete tasemel ning mitmete probleemide uurimiseks automaatide teooria vallast.

Keskkonna tuumaks on Turbo Tester (TT) ning Java applettide komplekt. Kõiki tööriistu saab kasutada üle interneti, mistõttu seda e-õppe keskkonda võib nimetada *virtuaalseks laboratooriumiks*. TT sai valitud sellesse keskkonda selles sisalduva suure hulga ühtsesse süsteemi lülitatud diagnostika tööriistade tõttu, mis võimaldavad läbi viia rikkaliku valiku uurimisstsenaariume ja laboratoorseid töid ning kursuse või diplomiprojekte.

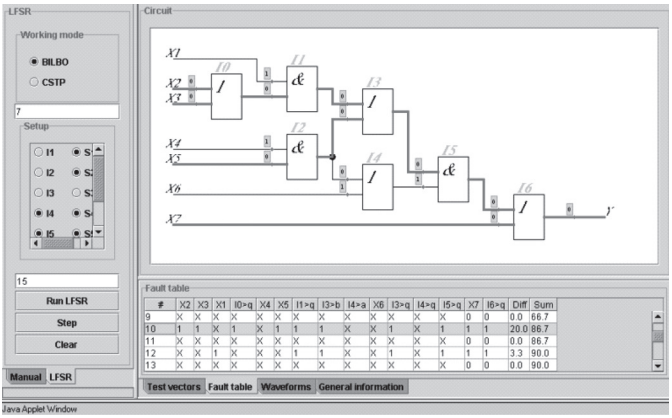
Java appletid on mõeldud toetama võimalust tudengitel tundma õppida, kuidas lahendada lihtsamate näidete abil põhilisi digitaalskeemide ja süsteemide testimise ülesandeid, õppida mõistma ülesannete probleemiseadeid ja lahendusideesid, eksperimenteerida ise diagnostika probleemide kallal.

Loogikatasandi diagnostika applet, mille projekteeris **Elmet Orasson**, on varustatud näidisskeemidega, mida tudeng võib andmete teegist valida. Valitud skeemiga katsete sooritamiseks saab skeemi sisestada testvektoreid, milliseid tuleb aga ise genereerida. Saab katsetada eri meetodeid ja võrrelda neid. Applet võimaldab testvektoreid simuleerida rikete suhtes, mille tulemusena tekib rikete tabel. Valides mingi testvektori, saab skeemi pildil jälgida, millistes kohtades on võimalik avastada rikkeid. Applet võimaldab uurida mitmeid diagnostikameetodeid ning katsetada erinevaid algoritme.

Kõige huvitavam osa selle appleti puhul on teooria õppimisega ühenduv **sportlik moment**. Applet võimaldab näiteks organiseerida võistlusi tudengite vahel: kes suudab kõige väiksema testide (küsimuste) arvuga lokaliseerida skeemis rikke asukoht (selle rikke viib skeemi sisse saladuse katte all õppejõud).

Diagnostikaülesannete lahendamiseks keerulisemate registersiirete tasandil esitatavate süsteemide puhul on loodud *registersiirete tasandi applet*, mille projekteeris **Sergei Devadze** – nii testide koostamiseks kui ka nende kvaliteedi määramiseks. Samuti loodi *applet süsteemide diagnostika* standardide uurimiseks ja mille tähtsus on palju laiem kui üksnes ülikoolide õppekeskkonna ampluaa. Applet on kasutatav ka tööstuses kasutatavate professionaalsete testide projekteerimiseks ja seda appletti on soovinud kasutada oma koolitusprogrammides mitmed firmad (JTAG Technologies, Bennetts Associates) ning see tarkvara sai aluseks meie koostööle firmadega Ericsson AB ja SAAB. Appleti projekteeris **Artur Jutman**.

Kirjeldatud õpisüsteem võimaldab läbi viia nii õppejõu demonstratsioone loenguruumis, individuaalõpet ja -drilli, mis ei sõltu ei ajast ega kohast, kui ka eksamineerida tudengeid.



Java applet võistlemiseks diagnoosi kiiruses

Viljakas koostöö Ilmenau Tehnikaülikooliga (**Dieter Wuttke**) algas juba mõned aastad varem ja on jätkunud tänini. Kokku oleme publitseerinud *ca* 15 aasta jooksul ligi 30 teadusartiklit õppemetoodika ja õppevahendite väljatöötamise alal digitaaltehnika valdkonnas. Projekti raames loodud internetil põhinev õpisüsteem disaini ja testi õpetamiseks ülikoolides on elavat huvi pakkunud paljudel inseneriharidusele pühendatud rahvusvahelistel konverentsidel nii Euroopas, USA-s kui ka Aasias.

Õpisüsteemi on kasutatud Jonköpingi Ülikooli õppekavas Rootsis ning rohkem kui 30-s Euroopa ülikoolis. Selle süsteemi abil oleme tandemina (**Raimund Ubar** – loengud, **Artur Jutman** – laborid) juba rohkem kui 10 aasta jooksul viinud läbi regulaarset nädalast õppekursust Darmstadti Tehnikaülikooli juures korraldatavas rahvusvahelises suvekoolis.

500 defektiga ideaalne kiip

Digitaalsüsteemide diagnostika klassikaline rikkemudel, nn. *konstantrike ühendusel* (loogikasignaali konstantne väärtus 1 või 0 – *stuck-at-fault*) on kasutusel olnud juba rohkem kui pool sajandit ja nende rikete avastamise protsent on tööstuses enamasti ikka veel kasutusel kui testide kvaliteedi mõõt. Samal ajal on aga töötatud välja ka üha uuemaid ja täpsemaid rikete mudeleid ja käesoleva sajandi algul on üha populaarsemaks saamas just moodsa nanoelektroonika testimisel nn. defektiteadlik testimine (*cell aware testing*[93]).

Sisuliselt tähendab see füüsikalistele defektidele orienteeritud meetod klassikalise konstantrikke üldistust *tingimuslikuks konstandiks* (tingimus tähendab lihtsalt signaalide kombinatsiooni konkreetse defekti aktiveerimiseks, ehk siis teisendamiseks füüsikaliselt loogika tasandile). Sellise rikke mudeli oleme ka meie siin Eestis juba ammu välja pakkunud nn. *funktsionaalse rikkena*[94], mida on hiljem ikka ja jälle uuesti avastatud ja iga kord on see mudel uue nimetuse saanud (*conditional stuck-at-fault*[95], *input pattern fault*[96], *fault-tuple*[97], *cell-aware*).

Koostöös Varssavi ja Bratislava Tehnikaülikoolidega „elustasime" taas selle füüsikalise defekti loogikamudeli REASON projektiga seoses. Varssavi kolleegid (**Witold Pleskacz**) võtsid enda peale loogikatingimuste leidmise komponentide (*cell*) jaoks, mis *kujutaksid*

93 F. Happke et al. Cell-Aware Test. IEEE Trans. on CAD of IC and systems, Vol. 33, No. 9, 2014.

94 R. Ubar. Fault Diagnosis in Com. Circuits by Solving Bool. Diff. Equations. Automatics & Telemechanics, No.11, 1979, Moscow, pp.170-183 (in Russian).

95 U. Mahlstedt, J. Alt, I. Hollenbeck. Deterministic Test Generation for Non-Classical Faults on the Gate Level. 4th Asian Test Symp., Bangalore, Nov. 1995, pp. 244-251.

96 K. B. Keller. Hierarchical Pattern Faults for Describing Logic Circuit Failure Mechanisms. US Patent 5546408, Aug. 13, 1994.

97 K. N. Dwarakanath, R.D.Blanton. Universal Fault Simulation using fault tuples. DAC, Los Angeles, June 2000, pp.786-789.

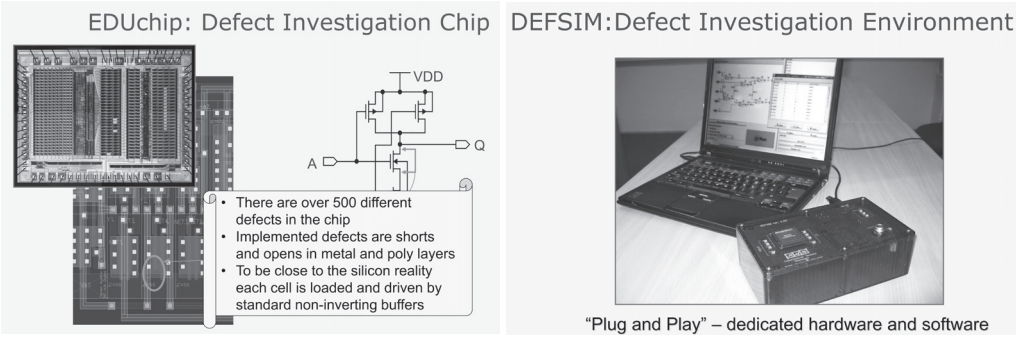
füüsikalised defektid loogikatasandile, meie ülesandeks jäi viia töö lõpuni ja lahendada defektide simuleerimise probleemid loogikatasandil.

Kuna REASON projekti temaatikaks oli teaduse ja õppetöö integreerimine, siis tekkis meil idee valmistada üks niisugune „defektne“ (!) kiip, kuhu oleks võimalik kunstlikult defekte sisse „monteerida“. Selle kiibi kontseptsiooni ja arhitektuuri mõtles välja ATI tiim (**A. Jutman**, **R. Ubar**), kiibi aga projekteeris poolakate tiim (**Witold Pleskacz**). Sellesse kiipi projekteerisime kokku *ca* **500 erinevat defekti**, milliseid saab valikuliselt aktiveerida, nii et kiip soovitaval viisil vigaseks muutuks.

> Kiibi valmistamine ei läinud aga sugugi lihtsalt – kiip saadeti meile tagasi ja öeldi, et teie elektroonikaskeem on otsast lõpuni vigu täis. Võttis kaua aega tehase inimestele seletada, et nii see peabki olema – me tahamegi, et selles kiibis oleks 500 defekti.

Kiip projekteeriti AMS 0.8µm CMOS tehnoloogias, kristalli pindalaga 19.9 mm^2 ja transistoride arvuga *ca* 48000, 62 kontaktiga JLCC68 korpuses. Kiip valmistati firma TIMA-CMP vahendamisel Prantsusmaal, kasutades Multi-Project Wafer teenust.

See 500-kordselt defektne kiip, millele andsime nimeks **EDUchip** (EDU – education) ehk õppekiip, sai ideaalse õppevahendina aluseks tervele laboritööde seeriale, mille välja arendamine oli meie uurimisgrupi panus projektile REASON – muutmaks elektroonika



Projekti tulemusena töötati välja uut tüüpi digitaalskeemide defektide mudel ja mudeliga eksperimenteerimiseks koos poolakatega unikaalne kiip EDUchip ning makett DEFSIM, milles oli võimalik tekitada ja katsetamiseks välja valida kiibis EDUchip üle 500 reaalse defekti

õpetamine ülikoolides huvitavamaks ja eksootilisemaks. Ehitasime kiibi ümber „elektroonilise krae“, ehk siis kogu vajaliku elektroonika, mis võimaldas kiibis mitmesuguseid füüsikalisi defekte aktiveerida ja seejärel nende defektide mõju kiibi funktsionaalsele käitumisele mõõtevahendite abil jälgida ja analüüsida. Kogu seade ehk siis arvuti külge ühendatav väike karbike sai nimeks **DEFSIM.**[98]

Kuna kiibi vastu oli ülikoolides suur huvi, siis hakkas idanema idee DEFSIMi kommertsialiseerida. See andiski tõuke asutada TTÜ juurde *spin-off* firma Testonica Lab. Firma asutati 2005. aastal vahetult pärast projekti REASON lõppemist. Esimeseks tööks selles firmas oligi kogu DEFSIM-i tarkvara tarbijasõbralikumaks tegemine ja uute funktsioonide lisamine. Nii näiteks lisas firma DEFSIM-ile ka veebipõhise kaugligipääsu, mis võimaldas viia läbi laboritöid reaalselt TTÜ arvutitehnika instituudis asuval seadmestikul suvalisest teisest ülikoolist.

Taoline õppevahend on maailmas unikaalne

[98] DEFSIM – defektide simulaator.

Loengutega Euroopas ja Siberis

REASON projekti üheks eesmärgiks oli uute loengukursuste väljatöötamine. TTÜ tulemuseks kujunes neli uut loengukursust digitaaldisaini ja -diagnostika valdkonnas, miliseid me projekti käigus ka testisime terves reas ülikoolides rahvusvaheliste seminaride, kursuste ja tutoorialite läbiviimisel:

2003. aastal Lvovis (16.-18.01), Jonköpingis (20.01-5.03) Linköpingis (19.03), Tallinnas (15.05 ja 21.05), Stockholmis (19.05), Liberecis (3.06.), Darmstadtis (26.-30.08), Bratislavas (12.09), Alushtas (17.-20.09) ja Sofias (27.10) ja

2004. aastal Jonköpingis (11.02-04.03), Harkovis (04.-09.04), Sinaias, Rumeenias (08.-16.10), Minskis (09.-14.11) ja mööda suurt Siberi-Venemaad gastroleerides: Vladimiris (03.09), Tomskis (06.09), Irkutskis (07.-10.09) ja Vladivostokis (13.09).

Kuna üks meie partner Vladimiri Tehnikaülikoolist Venemaalt oli suutnud meie projekti tulemustele Venemaal head reklaami teha, siis tulidki meile kutsed loengukursusi pidada nii Tomski Ülikoolist kui ka Vladivostoki Tehnikaülikoolist. Irkutskis tegime „vahemaandumise" ühe konverentsi külastamiseks, kus me aga samuti ei pääsenud osavõtjatele oma uusi kursusi tutvustamas.

REASON kursuste programm:

I.REASON kursused (reeglina 4 tundi) projekti partneritele:

1. „Defect-Oriented Testing of Digital Systems", Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraina, 17.02.2003.
2. „Defect-Oriented Testing of Digital Systems", Liberec Technical University, Tshehhi Vabariik, 02.06.2003.
3. „Advanced Methods for Defects Testing", TU Sofia, Bulgaaria, 27.10.2003.
4. „Additional Hardware for IC Testability Improvement", Int. Conf. DDECS'2004, Stara Lesna, Slovakkia, 18.04.2004.
5. „Advanced Methods of Testing Electronics Systems" (6h), Technical University Sofia, Bulgaaria. 29.05.2004.
6. „Methods of Testing of Electronics Systems" (3h), Int Conf. MIXDES'2004, Szczecin, Poola. 25.05.2004.
7. „Hierarchical defect-oriented test generation.", Summer School, Smolenice, Slovakkia. 21.09.2004.
8. „Hierarchical Test Approaches for Digital Systems" (6h), Autumn School, Sinaia, Rumeenia, 09.10.2004.
9. „Hierarchical Test Generation in Digital Systems", Int. Conf. DLESC 2004, Minsk, Valgevene, 12.11.2004.
10. „Why we need deterministic test pattern generation?", Int. Conf. DDECS 2005, Sopron, Ungari, 13.04.2005.

II. REASON kursuste eksport Euroopas:

11. „System Verification and Test" (36 h), International Master School, Jönköping Univ., Rootsi, 25.01. – 01.03.2003.
12. „Digital Systems Testing and Design for Testability" (12h) Linköping University, Rootsi, 19.-21,03.2003.
13. „Design for Testability" (32 h), Microelectronics Summer School, TU Darmstadt, Saksamaa, 11.-30.08.2003.
14. „E-learning env. for digital test: Applets and PC-based tools", Workshop, Bratislava, Slovakkia, 11.09.2003.
15. „Advanced Methods for Defect-Oriented Testing", EWD&TW'03, Alushta, Ukraina, 19.-20.09.2003.
16. „System Verification and Test" (36h), International Master School, Jönköping University, Rootsi, 19.01.-04.03.2004.
17. „Test Generation and Fault Simulation" (12h), Kharkov National Univ. of Radioelectronics, Ukraina, 06.-08.2004.
18. „Design for Testability" (32h), Microelectronics Summer School, TU Darmstadt, Saksamaa, 11.-16.10.2004.
19. „System Verification and Test" (36h), International Master School Jönköping University, Rootsi, 20.01. – 15.03.2005.
20. „Design for Testability" (32h), Microelectronics Summer School, TU Darmstadt, Saksamaa, 04.-10.10.2005.

III REASON kursused Tallinnas:

21. „Boundary-Scan Seminar: Challenges in Board Level Test", 15.05.2003 (Eesti tööstuse inseneridele ja doktorantidele).
22. „Design and Test of Digital Circuits", 20.-21.05.2003 (Eesti tööstuse inseneridele ja TTÜ doktorantidele).
23. „SoC Technologies for SMEs" (Sponsor Nordisk Industrifond), 13.10.2003.
24. Seminar koostöös firmaga JTAG Technologies, 21.10.2003.

IV REASON „gastrollid" Venemaale

25. „Advanced Methods of Digital and Analog Test" (6h), Technical University Vladimir, Venemaa. 06.09.2004.
26. „Advanced Methods of Digital and Analog Test" (6h), Technical University Tomsk, Venemaa. 06.09.2004.
27. „Advanced Methods of Digital and Analog Test" (6h), Int. Conference ICAM 2004, Irkutsk,, Venemaa. 09.09.2004.
28. „Advanced Methods of Digital and Analog Test" (6h), Technical University Vladivostok, Venemaa. 13.09.2004.

Reis Siberisse Vladimirisse, Tomskisse, Irkutskisse ja Vladivostokki oli väga meeldejääv ja eksootiline, seda eeskätt meie partneritele Läänest, kelle jaoks Venemaa ja eriti Siber olid ikkagi – suur ohtlik ja müstiline „metsik“ Ida. Meeldejäävaks kujunesid väljasõidud Irkutkist tormisele Baikalile, seiklusrikas matk Baikali-tagustele mägedele ja eriti ekskursioonid Vladivostoki ümbruses – *ca* 200 km kaugusele põhja jäävasse taigasse ja laevasõit lõunasse veel alles hiljuti täiesti ligipääsmatule Vene saarele.

Baikali ääres. Vasakult saksa tippdiagnostik Wolfgang Kunz, vene tippdiagnostik Mihhail Karavai, ja ATI-t esindav Raimund Ubar.

Alles mõni aeg tagasi oli Vladivostok kinnine linn, kuhu pääses vaid erilubade alusel ja veel suletum oli Vladivostokist paarkümmend kilomeetrit lõunasse jääv Vene saar. Nüüd ei imestanud aga enam keegi, kui sellele saarele astus meie reisiseltskonda kuuluva sakslase jalg. Kohtasime saarel näiteks ühte garnisoni juhtkonda kuuluvat polkovnikut, kellele oli suureks auks sakslase Dieteriga klaase vodkaga kokku lüüa ja jutustada nii sõjapäevist sakslaste ja jaapanlaste vastu kui ka peaaegu kõigest, mis seal saarel kunagi juhtunud oli.

Projekti REASON meeskonna ekspeditsioon sügavale Kaug-Ida taigasse

Oli aasta 2004, kui Ida ja Lääs olid veel sõbrad… Oma reisijuhi Sergei, kes oli Vladimirist, suutsime aga siiski ärevusse viia sellega, kui tagasi sadamasse suundudes valisime Dieteriga teise tee kui ülejäänud seltskond. Sergei jooksis meile järele ega lubanud meil üksinda ringi hulkuda. Niisiis ikkagi oli saarel veel saladusi, mida oli vaja katte all hoida. Aeg-ajalt juhtus muidki arusaamatusi. Tomskis saabusime hotelli lennureisi hilinemise tõttu alles peale keskööd, hommikul vara aga startisime juba edasi. Toad olid ette broneeritud, aga sakslastest abielupaar otsustas, et nemad ei hakka 50 dollarit maksma hotellituppa sisse-välja astumise eest ja otsustasid tukkuda need kaks tundi fuajee tugitoolis. Hommikul selgus, et neil tuli ikka toa eest maksta, millega nad ei nõustunud. Venekeelseid diskussioone hotelli administraatoriga, milles ka mina osalesin, nad ei mõistnud ega tahtnudki mõista. Olukord muutus aga kriitiliseks: meile öeldi, et sakslastel tekivad hiljem tõsised probleemid piiril lennujaamas. Maksin nende võla salaja omast taskust, et komplikatsioone vältida.

Raha väärtusest tol ajal Siberis oli pisut raske aru saada. Tomskis maksis hotelliöö 50 dollarit, aga et „kompenseerida“ matkapäeva taigasse Vladivostoki lähistel, koos piknikuga metsas ja õhtuse rikkaliku söömaajaga restoranis, piisas vaid 100 dollarist 7 (!) inimese peale… Eks oli siin tegu kindlasti lihtsalt külalislahkusega, ehkki need polnud üldse „ametlikud kulud“ ja kõik see tuli kellegi omast taskust ja südamest.

Seda reisi on meenutatud tänusõnadega aeg-ajalt veel ka aastaid hiljem. Tänusõnade aadressiks on aga üks REASON-i partneritest – TTÜ arvutitehnika instituut.

Koosprojekteerimise kontseptsioonist

Koosdisain – tähendab projekteerimiskontseptsiooni, kus riistvara ja tarkvara hakatakse ühiselt projekteerima, ja mille põhiideeks on nii vara kui võimalik leida üles optimaalne rollide jaotus riist- ja tarkvara vahel. Sellist lähenemisviisi saaks peegelpildis üle kanda ka teadustöö organiseerimisele ühes kompaktses teadlaste grupis.

Konkurentsipõhises teadusmaailmas jäävad ellu need, kes suudavad roteeruda ühest projektist teise. Ideaalne oleks *projektiperioodide ülekattuvus*, et leib oleks pidevalt laual. Aga veel on midagi, mis tähtis on: see on *projektiteemade ülekattuvus*, mis teisiti (ja ausalt) öelduna tähendab – teemade ühisosasid eri projektides. Bürokraat ütleks nüüd, et projektide ülekattuvuse puhul oleks tegemist pettusega (korruptsiooniga), sest see tähendaks ühe ja sama teadustulemuse mitmekordset „mahamüümist". Kuidas võtta: ka ooperilaulja müüb ühte ja sama laulu maha mitu korda.

Nii nagu laulja müüb *ühte ja sama laulu* maha *eri publikutele*, nii müüb ka teadlane *oma teaduslikku ühisosa erinevate probleemide lahendamiseks*. Just siin saavadki kokku alus- ja rakendusteadused. Igast rakendusest koorub seejuures tagasiside alusele, mis rakendust kannab, ja alus muutub sellest aina tugevamaks. Veel enam – rakendused loovad ka sünergiat niisugusel kooslahendamisel.

Seda efekti märkasime oma instituudis ka nüüd aastatuhande algul, kui meil oli paralleelselt käigus terve rida projekte, millistel olid erinevad eesmärgid, aga kus kõigil uurimustel oli ka ühisosa, mis sünergiat produtseeris.

Aastatel 2003-2005 valiti **Raimund Ubar** Teaduste Akadeemia uurija-professoriks. Statuudi järgi tähendas see vabastust kõikidest muudest kohustustest ja 100%-list akadeemilist vabadust. Mis „vabadust" siin siis ikka tuli! Loenguid tuli endiselt edasi pidada, sest neist oleks lihtsalt kahju olnud „ilma jääda" – igale teadlasele tähendab loeng tagasisidet, aga tagasisideta ei ole teadust. Ja ka konkreetseid projekte, mis käsil olid, ei saanud seisma panna, sest need olid ju raami pandud, raamideks aga – kiiremini kui tarvis edasi kulgev aeg. Ei jäänudki muud üle kui otsida ühisosasid uurija-professori tööplaani ja käsil olevate projektide vahel.

Olid kaks V Raamprogrammi europrojekti REASON (2002-2005) ja eVIKINGs II (2002-2005), olid kaks ETF granti G4300 (2000-2003) ja G5649 (2004-2006). REASON oli suunatud teaduse ja õppetöö ühendamisele, eVIKINGs II aga – virtuaalse IT tippkeskuse loomisele. Grantid olid mõeldud doktorantidele, kes katsetasid ja püüdsid falsifitseerida meie uusi ideesid ja hüpoteese.

REASON-i partneri Ilmenauga käivitasime veel ühe bilateraalse projekti õpitarkvara arendamiseks, millega ühtaegu nii jätkasime kui ka toetasime oma europrojekti ja produtseerisime tänuväärseid rakendusi uurija-professori teadustöö programmi tarvis. Täpselt sama sündis ka poolakatega EDUchip kiibi loomisel, mis toetas REASON-it ja pärast europrojekti lõppu viis tulemusi juba edasi „bilateraalses stiilis" ja samuti uurija-professori raame silmas pidades.

Need aastad olid põnevad, turbulentsed ja töörohked. Polnud lihtsalt võimalik „müüa" ühte ja sama teadust mitu korda. Teadus on igal järgneval päeval uus.

Europrojekti eVIKINGs II eesmärgiks oli IT klastri väljaarendamine Eestis, kus üheks klastri osaks oli arvutitehnika instituut. Projekti eesmärgiks oli koondada antud valdkonnas kompetentsust kriitilise massi loomiseks tipptasemel rahvusvaheliseks uurimistööks. Ja seda me ka tegime, koondades erinevates projektides sündivaid uute teadmiste ühisosi tugevnevaks löögirusikaks.

Ida ja Lääne lõimimisest

10 aastat vaatamist tagasi IDA suunas[99]

Kui oleksin 15 aastat tagasi kaardistanud üles arvutitehnika instituudi teaduskontaktid, oleksin kokku saanud tiheda itta suunatud kiirtevihu, alguspunktiga – Tallinn. Siis aga, väravate avanedes vastassuunda, kunagine lummav kiirtesära kustus, jättes järele vaid üksildase hõõguva alguspunkti. Tuli tuha all tegi aga oma töö, leegid lõid taas praksuma ja tänaseks on taastatud pea sama kiirtevihk, ainult 180 kraadi ümberpööratult.

Meie tänapäev on üha hoogu võttev võidujooks paremate jahimaade järele. Kõikides valdkondades, ka teaduses. Juba hulk aastaid on meile Eldoraadoks olnud Lääs. Sinna tahame minna õppima, sealt otsime kontakte ja partnereid, sinna sõidame konverentsidele ja töövisiitidele. Lääs on see, kuhu paljud noored teadusse pürgijad ihkavad isegi päriselt ära minna. Idast on aga saanud eksootika.

Kiirtevihu pöördumine ida suunast läände

Lääs pole ainult meie ideaal. Kui püüaksin võtta nimekirja meie külalistest 1984. a. Tallinnas läbi viidud üleliidulisest diagnostikakonverentsist, siis suurem osa neist, pean silmas nooremat põlvkonda, on ammu juba lahkunud kunagise N Liidu territooriumilt. Poleks eales osanud ette kujutada situatsiooni, kus kaugel Kalifornia maanteel, auto tagaistmel istudes, minu ümber räägitakse üksnes vene keelt ja CD-mängijast kostub nostalgiline vene romanss. USA teadusasutustes on põhitööjõuks kollane rass ja venelased. Venelane, kes USA-s kord kanda kinnitanud, organiseerib sinna ka oma sõbrad. Eestlane harilikult nii ei tee, ehk ongi hea.

Eesti teadlased võistlevad praegu Euroopa projektiturgudel. On mitmeid programme, fonde ja võimalusi, eeskätt Raamprogrammide seeria, millest nüüd on saanud avar „horisont“ ehk siis „HORAIZON“ (nagu eestlased hääldavad). Edukaid saadavad suured toetusrahad.

On olemas veel üks, üsna „nurgatagune“ programm, nimetusega INTAS, mis on mõeldud nn. NIS[100] -maade toetamiseks, kusjuures partnerid peavad olema Euroopa Liidust. EL-i õigustes võib selles programmis osaleda nüüd ka Eesti. Miks nimetasin üritust „nurgataguseks“? Aga seepärast, et selle programmi reeglite järgi läheb põhiline toetus Itta, aga Läände (ka siis Eestile) jaguv osa oleks nii väike, et lihtsalt ei motiveeri enam. Mida vastab Brüssel selle kohta: „Mitte raha pole peamine, teil avaneks ju võimalus töötada koos Ida teadlastega, kasutada nende tulemusi ja üheskoos luua uut sünergiat“.

Projektirahasid taotledes üsna sageli vaid näemegi RAHA peamise eesmärgina, mitte koostööd. Eriti just Eestis toimuvaid projektitaotluste konkursse silmas pidades, kus konkurentideks (grantide taotlejateks) on enamasti „üksiküritajad“ – laborid või uurimisrühmad, aga mitte suuremad mitmest laborist või asutusest koosnevad konsortsiumid. Euroopa programmides seevastu finantseeritakse ainult ühisprojekte, ootuses, et eri partnerite kompetentsuste liitmisel saadav tulemus on suurem kui „liidetavate summa“.

[99] Tekst ilmus artiklina: R. Ubar. Mõtteid koostöö võimalikkusest Ida-Lääne piiril. Mente et Manu. Nr.18 (1659), 20. okt.2003.

[100] NIS – *Newly Independent States.*

Tänapäeva teadus areneb piirialadel. Üksikud laborid aga töötavad süvitsi. Kuid sügavused on enamasti juba läbi uuritud ja sealt enam palju välja ei ime. Seepärast ongi mõned filosoofid hakanud ennustama „teaduse lõppu", väites et näiteks füüsika on saavutanud taseme, kus uute teadmiste majanduslik efekt ei suuda enam katta nende teadmiste saamiseks vaja minevaid üha suurenevaid kulutusi.[101] Niisuguse dünamoga polevat aga ühiskond enam nõus. Väljapääs ongi minna sügavustest piirialadele ja minna koos, igaüks oma august. Väljapääs on koostöös. Tuleks isegi unustada hetkeline kasumi unelm, vaid investeerida lihtsalt – koostöösse.

Eesti on olnud ikka uhke oma haridusele, tänu millele on viimase 10 aasta jooksul eestlasi Läänes saatnud edu. Arvan, et me senise hariduse põhitrumbiks on olnud õige kompromiss laiahaardelisuse ja põhjalikkuse vahel. Hea hariduse on andnud ka vene ja ukraina koolid. Vene teoreetikud on praegu väga tunnustatud Läänes. Ega vene teadusest ju ei teatudki varem suurt midagi, sest vene keelt mujal ei loetud. Niiviisi teenivadki paljud vene teadlased praegu Läänes suurt raha ainuüksi sellega, et tõlgivad inglise keelde oma 20 aastat tagasi (!) kirjutatud venekeelseid traktaate. Saatuslikuks vene teaduse arengule sai maa tehnoloogiline mahajäämus. Hea haridus ja olemasolev teadusteoreetiline potentsiaal töötab seetõttu ida pool suures osas tühijooksul. Lääs kasutab seda potentsiaali lühinägelikult, korilasena, vaid ilusamaid vilju oma korvi kahmates.

Eesti iseseisvuse algaastatel nägime üht oma missiooni olla liideseks Ida ja Lääne vahel. Tänaseks on see mõte suure osa oma populaarsusest kaotanud. Kas siis oleme selletagi „edukad" olnud, või on lihtsalt poliitika liiga palju tõkkeid ette seadnud. Aga liidese mõtet ei tasu ometigi maha matta. Sest lisaks geograafilisele asendile oleme saanud veel ühe soodsa mõjuteguri – kogemuse üleminekuperioodist. Ma näiteks tean, miks ukraina või vene teadlaste kirjatükke ei võeta vastu Lääne konverentsidel. Tean ka, mida peaks tegema, et seda barjääri ületada. „Eurokogemusena" olen sedagi läbi tunnetanud, milles seisneb tõeline koostöö ja mida see lõppkokkuvõttes annab.

Esmane põhimõte on, et koostöö olgu sisuline – tööga, aga mitte paberiga koordineeritud. Koostööleping võib ju olla, aga ei pea olema, küll aga peab tulema ühine teaduspublikatsioon koostöö viljana. Partnerid võiksid olla eri valdkondadest eri kompetentsustega. Poolakatega näiteks algas meil koostöö sellest, kui selgus, et nad tunnevad defektide füüsikat digitaalskeemides paremini kui meie. Võtsime poolakate tulemused, töötlesime neid füüsika ja loogika piiri peal ning produtseerisime uusi teadustulemusi ilma mingi ametliku koostöölepinguta. Rootsiga käivitus samalaadne kooperatsioon loogika ja arhitektuuride piirimail, ei mingit projekti, aga artiklid ilmusid.

Koostöö algab enamasti privaatvestlustes. Kord sammusin **Vladimiriga** pärast konverentsi sessiooni hotelli poole ja ta kirjeldas mulle sealsamas tänaval läbi rahvahulga trügides ühte oma väga keerulist ja kohmakat valemit, mille abil ta diagnostilist analüüsi läbi viis. Kui ta lõpetas, hüüdsin selle peale: „Kuule, see on ju *Boole'i täisdiferentsiaal*, mida sa kasutad..." – „Ma ei tea, võibolla," ütles Vladimir selle peale. Nii algaski meie koostöö Harkovi Rahvusliku Raadiotehnika Ülikooliga (HRRÜ): nende ideed ja meie teooria.

Arvutitehnika instituudil on käsil europrojekt, kus saavutatud teadustulemuste tutvustamiseks tuleb organiseerida rahvusvahelisi seminare. Projekt võimaldab anda ka grante koostöö arendamiseks Idaga. Kontaktide tugevdamiseks HRRÜ-ga olemegi seda võimalust kasutanud. Käesoleval aastal tekkis meil HRRÜ-ga mõte läbi viia õppesemi-

[101] J. Horgan. The End of Science. 1996.

nar ukraina tudengitele. Edasi arenes sellest mõttest aga idee korraldada koos seminariga IDA-Lääne konverents, eesmärgil kokku viia tuntumaid teadlasi Idast ja Läänest digitaalsüsteemide disaini ja testi valdkonnas. Seda mõtet toetasid väga ülemaailmse testi-alase juhtorganisatsiooni TTTC esimees **Paolo Prinetto** (Itaalia), kes hiljuti oponeeris Tallinnas **Jaan Raiki** doktoritööd, ja eelmine esimees **Yervant Zorian** (USA). Nimetasime selle kohtumise *Teiseks Jalta Konverentsiks.*[102] Esimene toimus teatavasti aastal 1945.

„Jalta konverents" (2003). Konverentside EWDTC seeria asutajad: Yervant Zorian (USA), Paolo Prinetto (Itaalia) ja idee generaator Raimund Ubar (Eesti).

Ürituse peaorganisaatoriteks olid HRRÜ ja TTÜ. Jalta Konverents õnnestus, tekkis ridamisi uusi kontakte, võeti vastu olulisi otsuseid. Ka minul taastusid vanad head töökontaktid Donetskiga, Moskvaga, Kiieviga, Odessaga, Saraatoviga, isegi Vladivostokiga. Nad on endiselt head teoreetikud seal piiri taga. Nad panid nii mõnigi kord oma küsimustega Lääne ettekandjad raskesse olukorda. Aga nad õppisid läänlastelt seda, kuidas ettekannet teha, nii et ka kuulaja sellest aru saaks ja naudingu peale selle. Kõik õppisid kõigilt ja just seda, mida eraldi olles ei õpiks. Mis kõige tähtsam, töötasime Y. Zorianiga välja strateegia, kuidas kujundada üritusest iga-aastane TTTC egiidi all IEEE sponsorlusel toimuv rahvusvaheline konverents.

Eelmisel nädalal viidi taas läbi üks rahvusvaheline seminar arvutitehnika instituudi korraldusel, seekord Tallinnas. Kolmepäevase kursusega esines rohkem kui 40-le kuulajale maailma tuntuim arvutite diagnostika konsultant **Ben Bennetts** Inglismaalt. Kõrvalefektina toimusid ka sisulised „paberiga reguleerimata" koostööarutelud suundadel Tallinn-Varssavi, Tallinn-Harkov, Tallinn-London. Meie tudengite väljatöötatud J*ava applet* pälvis Ben Bennetts'i väga suurt huvi, kes hea meelega kasutaks seda tööriista oma konsultandi töös. Ukrainast oli meil külas tänu grandivõimalustele kuus teadlast, Tšehhist kaks, Poolast samuti kaks. Vähemasti kolm uut huvitavat uurimust sai sihikule võetud.

Mõtlen, ehk on saabunudki aeg seda Läände suunatud kiirtevihku taas modifitseerima hakata. Seekord küll *copy & paste* meetodil – tagasi itta. (Raimund Ubar, 4.okt.2003).

Sellest ajast, mil see tekst ülal kirja pandi, on möödunud rohkem kui 10 aastat ja see konverents „East-West Design and Test – EWDTC" sümpoosion on nüüd toimunud regulaarselt igal aastal. Konverentsi kaasesimeesteks on **Vladimir Hahanov** (Ukraina) ja Yervant Zorian (USA) ning aseesimeesteks **Paolo Prinetto** (Itaalia) ja **Raimund Ubar** (Eesti). Esimesed kaks konverentsi toimusid Jaltas, järgnevad konverentsid sellest iga-aastasest seeriast on toimunud linnades Odessa, Sotši, Jerevan, Lvov, Moskva, Jerevan, Sevastopol, Harkov, Rostov-Doni-ääres, Kiiev, Batumi ja jälle Jerevan.

[102] Sümpoosion ise, millele sai alus pandud, toimus Jaltas, sellest ka see kohtumise nimi – Teine Jalta Konverents.

20 aastat pürgimist LÄÄNE suunda[103]

Maikuu lõpupäevadel toimus Cluj Napocas 20. Euroopa Testisümpoosion (ETS). See on konverents, kus mõõdavad jõudu kogu maailma tippteadlased arvuti- ja kübertehniliste süsteemide töökindluse, testimise ja diagnostika valdkonnas. Kui läheks vaja kriteeriumit, keda nimetada tippteadlaseks selles valdkonnas, siis oleks kahtlematult niisuguseks kriteeriumiks kutse ettekande pidamiseks ETS konverentsil. Sõela tiheduse ei määra siin mitte see, et vaid iga viies soovija saab kutse, vaid see, et ettekandele peavad andma heakskiidu 5 kuni 8 „vihast" konkurenti, kelle igapäevane uurimistöö riivab lähedalt selle sama artikli teemat, mida nad retsenseerivad. Niisugune kokkusattumine on saavutatud seetõttu, et igale retsensendile on antud võimalus valida endale ise meelepärane ehk siis omaenda uurimistööga lähedane ettekanne. Ja loomulikult on niisugusel juhul retsensendi kriitilisuse aste maksimaalne, sest hinnatakse ju konkurenti. Kuna sellisest filtrist läbipääsemine on võimalik ainult parimatele, siis ongi nimetatud konverentsist saanud üks prestiižikamaid maailmas.

Esimene Lääne-Euroopa Testikonverents, mille korraldas Christian Landrault (Prantsusmaa). Jan Hlavicka asutas samalaadse konverentsi „Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems – DDECS" Ida-Euroopa regioonis.

TTÜ Arvutitehnika instituudi teadlased on sellele foorumile pääsenud ometigi juba rohkem kui 10 korral ja seeläbi leidnud kõrge rahvusvahelise tunnustuse. Nüüd juubeli puhul võiks neid loorberitega ETS konverentsidelt naasnuid ka üles loetleda: **Sergei Devadze**, **Maksim Jenihhin**, **Gert Jervan**, **Artur Jutman**, **Jaan Raik**, ka allakirjutanu, aga samuti viimaste juhendatud tänased doktorid **A. Chepurov**, **V. Govind**, **A. Rannaste**, **T. Viilukas** jt.

Väga harva on mõni üksik teadlane teistest EL uutest liikmesriikidest sellele foorumile pääsenud ja ka „vanade" EL-i riikide tippteadlastel pole see lihtne olnud, sest peaaegu poole kõigist 30-40 ettekandest iga-aastasel konverentsil haaravad endale tavaliselt USA teadlased.

Mai lõpus toimunud sümpoosion tähendas 20. juubelit ja selleks puhuks publitseeriti kogumik, mis andis ülevaate kõigist seni toimunud kokkutulekutest. Statistikast andis välja lugeda, et tervelt 5 korral kuulus Tehnikaülikooli teadlaste artikkel 10 enimtsiteeritud konverentsiartikli hulka, kusjuures ühel aastal hõivati koguni teine koht.[104] Et niisuguse tasemega foorumile pääseda, peab üldjuhul millegagi väga üllatama või šokeerima. Meie teadlased šokeerisid konverentsipublikut sel korral oma testide generaatoriga, mis töötas kaks suurusjärku (!) kiiremini kui teised analoogilised generaatorid.

[103] R. Ubar. " 20 aastat maailma testiteaduse tippkonkurentsis". Mente et manu. TTÜ. Nr.7 (1853), Juuni, 2015.

[104] J. Raik, R. Ubar. High-Level Path Activation Technique to Speed-up Sequential Circuit Test Generation. Proc. of IEEE European Test Workshop, Constance, May 25-28, 1999, pp.84-89.

Kui teisi ettekandeid näiteks tuua, siis silmapaistvaks saavutuseks oli ATI teadlase **Sergei Devadze** poolt ehitatud rikete simulaator[105], mis töötab kuni 5 korda kiiremini kui Euroopa tipptööstuses kasutatavad professionaalsed analoogid, või näiteks meie koostöös poola teadlastega arendatud füüsikaliste defektide simuleerimisele orienteeritud testide generaator[106], mis sai eelkäijaks alles hiljuti maailma tipptööstuses juurdunud nn. „defekti-teadlikule" testimiskontseptsioonile, või näiteks **Maksim Jenihhini** uus idee otsustusdiagrammide mudeli laiendamiseks aja dimensiooni efektiivsemaks modelleerimiseks[107], või Artur Jutmani uudne trükkplaatide diagnostikameetod[108], mille praktilisus andis tõuke *spin-off* firma Testonica Lab sünniks. Täna koordineerib Testonica Lab **A. Jutmani** juhtimisel FP7 europrojekti BASTION, s.h. selliseid maailma tipptööstusi nagu IBM ja Infineon projekti partneritena. Võiks ette lugeda veel mitmeidki teisi uudseid ja teed rajavaid tulemusi, mida meie teadlased on selle konverentsi foorumit kasutades maailmale tutvustanud.

Euroopa Testi Sümpoosion, mis esimest korda toimus 1996. aastal Sete'is Prantsusmaal, on olnud rahvusvaheliseks sündmuseks, milles arvutitehnika instituut on regulaarselt olnud osaline ja mida seetõttu võib võtta kui sümbolit meie pürgimisel rahvusvahelisele areenile oma teadusvaldkonnas.

2005. aastal, 10. juubelisümpoosioni korraldasime juba ise Tallinnas. Selle meenutuseks on allpool toodud lühike Äripäeva nupuke.

Euroopa Testisümpoosion Tallinnas [109]

21.– 26. mail 2005. aastal toimub Tallinnas ülemaailmse ulatusega juubeliüritus 10. Euroopa Testisümpoosion (10. IEEE European Test Symposium) – konverents mille temaatika haarab infotehnoloogia süsteemide testimist, diagnostikat ja veakindlust. Arvutite tõrgeteta töö on teema, mis on eluküsimuseks igale infotehnoloogiaga seotud tööstusfirmale, aga samas puudutab ka igat üksikut inimest ning tema elukvaliteeti, sest oleme ju täna kõik sõltuvad arvutitest.

Sümpoosiumi korraldajaks on Tallinna Tehnikaülikool. Nimetatud üritus on selle valdkonna kõige esinduslikum foorum terves maailmas. Tallinna on oodata tippteadlasi ja tööstusjuhte rohkem kui 30 riigist üle maailma – Euroopast, USAst, Jaapanist ja mujalt (kokku umbes 150-200 esindajat). Esmakordselt toimub selline konverents väljaspool Lääne-Euroopat. Tihedas konkurentsis 7 Euroopa riigi hulgas nagu Inglismaa, Saksamaa, Austria jt. võideti seekord õigus korraldada see üritus Tallinnas. See on kahtlemata suureks tunnustuseks konverentsi korraldajatele, Tallinna Tehnikaülikooli teadlastele.

---

[105] R. Ubar, S. Devadze, J. Raik, A. Jutman. Ultra-Fast Parallel Fault Analysis on Structural BDDs. 12th IEEE European Test Symposium – ETS 2007, Freiburg, Germany, May 20-24, 2007, pp.131-136.

[106] J. Raik, R. Ubar, J. Sudbrock, W. Kuzmicz, W. Pleskacz. DOT: New Deterministic Defect-Oriented ATPG Tool. Proc. of 10th IEEE European Test Symposium, May 22-25, 2005, Tallinn, pp.96-101.

[107] M. Jenihhin, J. Raik, A. Chepurov, R. Ubar. Temporally Extended High-Level Decision Diagrams for PSL Assertions Simulation. Proceedings of the 13th IEEE European Test Symposium, IEEE Computer Society, Lago Maggiore, Italy, May, 2008, pp.61 - 68.

[108] A. Jutman. At-Speed On-Chip Diagnosis of Board-Level Interconnect Faults. Proc. of 9th IEEE European Test Symposium, May 23-26, 2004, Ajaccio, Corsica, France, pp.2-7.

[109] R. Ubar. "10. Euroopa Testisümpoosion Tallinnas". Äripäev Nr.74 (2854), 19.aprill, 2005.

Sümpoosionile esitati 154 ettekannet 32 riigist. Tihedas konkurentsis, kus ettekandeid analüüsisid kuni 6 retsensenti, valis sümpoosioni programmikomitee välja 31 kõige väljapaistvamat artiklit. Seega vaid iga viies teadustöö jäi sõelale, mis garanteerib lõppkokkuvõttes konverentsi kõrge kvaliteedi ja taseme. Meeldiv on tõdeda, et kaks välja valitud ettekannetest kuulub Tallinna Tehnikaülikooli teadlastele (**G. Jervan**, **J. Raik**, **T. Shchenova**, **R. Ubar**).

Lisaks regulaarsetele akadeemilistele ettekannetele uusimatest teadustulemustest 10 sektsioonis, on sümpoosionil kavas veel kaks plenaarettekannet valdkonna kuumadel teemadel, neli ülevaatelist ettekannet spetsiaalselt välja valitud teemadel, 41 posterettekannet (s.h. 2 TTÜ teadlastelt) ja 13 ettekannet tööstuslike rakenduste alal. Väga huvitavaks tõotab kujuneda paneeldiskussioon teemal "Kas nanotehnoloogia tähendab uue paradigma sündi elektroonikasüsteemide testimisel?"

Enne sümpoosioni viiakse läbi kaks paralleelset ühepäevast õppekursust (tutooriali) magistrantidele, doktorantidele ja inseneridele tööstusest. Pärast sümpoosioni toimub täiendav elektroonikasüsteemide tööstuslikule testimisele pühendatud seminar.

Sümpoosioni kultuuriüritus TTÜ tantsuansambliga „Kuljus". Keskel vasakul IEEE president Yervant Zorian (USA) ja Raimund Ubar.

Suurt rahvusvahelist huvi nimetatud ürituse vastu tõendab suur hulk välissponsoreid maailma tähtsaimate firmade näol elektroonikasüsteemide projekteerimise vallas. Ainsaks Eesti firmaks, kes toetab sümpoosioni sponsorina, on Artec Group. Täiendavat üksikasjalist informatsiooni sümpoosioni kohta võib leida kodulehelt aadressil (http://ati.ttu.ee/ETS).

Konverentsil käsitletav teemade ring peaks pakkuma suurt huvi infotehnoloogiaga tegelevatele ettevõtetele võimaldades kohtumist ja konsultatsioone maailma tipptegijatega valdkonnas, kus missiooniks on tagada infosüsteemide usaldatavus ning häireteta kvaliteetne funktsioneerimine.

Sümpoosioni kaasesimeesteks on Raimund Ubar (Eesti) ja **Paolo Prinetto** (Itaalia), programmikomitee esimeheks **Michel Renovell** (Prantsusmaa) ja kohaliku korralduskomitee esimehe**s Jaan Raik** (Eesti). (Raimund Ubar, Tallinna Tehnikaülikool).

Arvutustehnika instituudi teadlased esitasid konverentsil järgmised ettekanded:

1. G. Jervan, R. Ubar, T. Shchenova (Eesti), **Z. Peng** (Rootsi). Energiatarbe minimeerimine hübriidisetestivates süsteemides.
2. J. Raik, R. Ubar (Eesti), **J. Sudbrock** (Saksamaa), **W. Kuzmicz**, **W. Pleskacz** (Poola). Uus deterministlik defekt-orienteeritud testigeneraator.
3. J. Raik, R. Ubar (Eesti), **Y. Skobtsov**, **D. Ivanov, V. Skobtsov** (Ukraina). Geneetilistel algoritmidel põhinev funktsionaalne isetestimine digitaalsüsteemides.
4. **A. Jutman** (Eesti). Efektiivne ühenduste isetestimine ja -diagnostika digitaalsüsteemides

2008–2015
Teadustippkeskus CEBE

Keskuse saamislugu

Ühise suure keskuse loomise plaan

2007. aastal lõpetasid oma tegevuse Eesti 10 teadustippkeskust, millistest kolm olid koondunud Tallinna: KBFI juures asuv **Endel Lippmaa** juhitav *Analüütilise Spektromeetria Tippkeskus*, TTÜ/Kübi ühine **Jüri Engelbrechti** juhitav *Mittelineaarsete Protsesside Analüüsi Keskus* ja TTÜ/Kübi ühine **Jaan Penjami** juhitav *Töökindlate Arvutisüsteemide Uurimise Keskus*. Viimasesse kuulus neli uurimisrühma: *Matemaatilised alused ja programmeerimise tehnoloogia* (juht: **Tarmo Uustalu**, 10 teadurit), *Formaalsed meetodid tarkvaratehnikas* (Jaan Penjam, 9); *Infoturve* (**Ahto Buldas**, 5), *Disain ja test* (**Raimund Ubar**, 10).

Uue tippkeskuste määruse järgi võisid keskuste partneriteks olla üksnes need uurimisrühmad, kes täitsid mingit sihtfinantseerimise teemat. See oli eelduseks, et üldse konkureerida.

ATI-le ja kõigile teistele Jaan Penjami keskuse partneritele tundus loomulik jätkata endise seltskonnana. Samas oli TTÜ Infotehnoloogia teaduskonnas hakanud toimuma teatav lähenemine kolme partneri ATI, elektroonika instituudi (ELIN) ja äsja loodud biomeditsiinitehnika (BMT) keskuse vahel. ATI seisis nüüd teatava dilemma ees. Ühest kohast oldi seotud eelmise tippkeskuse pärandina Kübiga, teisest küljest oli meid hakanud ahvatlema ka koostöö omaenda teaduskonna sees, kaasa arvates ka biomeditsiinitehnika valdkonna uurijaid. Kolme partneri ühenduses tundus aga olevat kaks nõrka külge: kriitiline mass tundus olevat väike ja temaatikad tundusid olevat liiga hajali. ATI riistvara teadus sobis justkui paremini kokku Kübi tarkvara temaatikaga.

Kätte oli jõudnud otsustamise hetk. Ja nii algasidki senise keskuse juhi ja uue keskuse esialgse „kokku panija" Jaan Penjami dirigeerimisel läbirääkimised. ATI ettepanek oli: me ühineme uue keskusega koos elektroonikute ja biomeditsiinitehnikutega. See oli Kübi poolele teatav üllatus, mis aga neelati esialgu stoiliselt alla.

Konkreetsed arutelud uue tippkeskuse moodustamise teemal algasid Jaan Penjami poolt korraldatud koosolekuga juba 31.07.07. Küberneetika Instituudis. Kohal olid: Tarmo Uustalu (Kübi), **Monika Oit** (Cybernetica AS), Jaan Penjam (Kübi), **Mart Min** (ELIN), Raimund Ubar (ATI), **Gert Jervan** (ATI), **Kalju Meigas** (BMT), **Ivo Fridolin** (BMT), **Varmo Vene** (TÜ) ja **Eero Vainikko** (TÜ). Tarmo Uustalu ettepanekul esinesid kõik esindatud sihtfinantseeritavate teemade juhid lühikese ülevaatega oma tegevusest:

- Tarmo Uustalu: Usaldusväärsed tarkvara- ja inimkeeletehnoloogiad (Kübi);
- Eero Vainikko: Suuremahuliste ja keeruliste arvutusülesannete lahendamise meetodid, arvutuskeskkonnad ja rakendused (Juht: Jaak Vilo, UT);
- Monika Oit: Heterogeensete infosüsteemide teoreetiline ja praktiline turvalisus (Ahto Buldas, Cyb);
- Raimund Ubar: Töökindlate sardsüsteemide disain (ATI);
- Mart Min: Missioonikriitiliste sardsüsteemide elektroonsed komponendid ja alamsüsteemid (ELIN);
- Ivo Fridolin: Biosignaalide interpreteerimine meditsiinitehnikas (CB);

- Kalju Meigas: Üldine ülevaade Tehnomeedikumist, kus tegutseti kolmes valdkonnas: kliiniline meditsiin, kardioloogia, biomeditsiin.

Arutelu tulemusena jõuti järeldusele, et leidub piisavalt kokkupuutepunkte ning ühiseid huvisid ühise tippkeskuse taotlusega edasi minemiseks ning edasise töö koordineerimiseks ja suhtlemiseks loodi mailinglist (majordomo): tippkeskus@pld.ttu.ee.

Järgmise sammuna tehti ülesandeks igal sihtfinantseeritaval teemal formuleerida oma ootused ning pakkumised, kompetents ja probleemid (et leida ühiseid kokkupuutepunkte), tuua välja potentsiaalsed alamteemad (näiteks: inimkeeled, signaalitöötlusprotsessorid jne.), formuleerida grupi produktsioon ning plaanitavad tegevused ja lisada ka olemasolev omavaheline koostöö. Nimetatud info põhjal tuli järgneva sammuna kokku panna moodustatava tippkeskuse „suur pilt" ja sõnastada missioon.

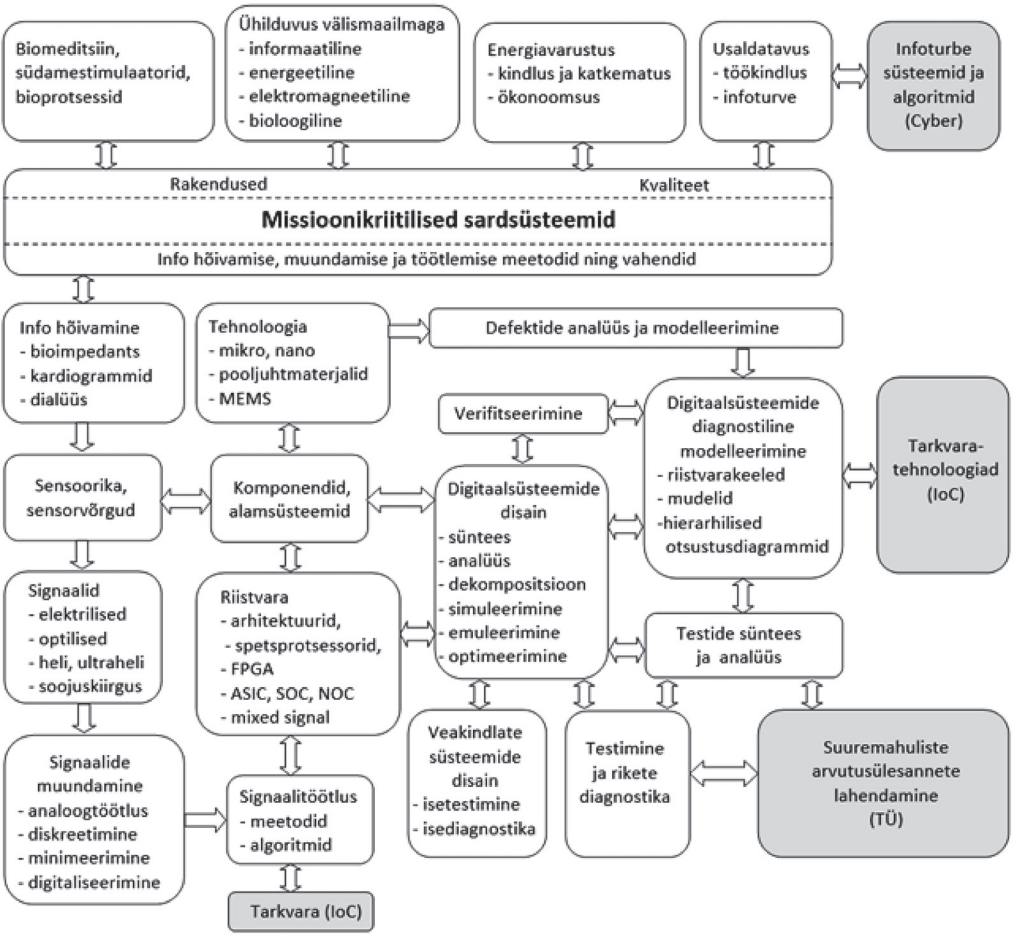
Tartlaste poolelt formuleeriti üsna selged, konkreetsed ja lakoonilised kriteeriumid, milliseid tuleks ühise keskuse moodustamisel arvesse võtta: (1) ühised deklareeritud huvid ja üldisemad eesmärgid, mis ei oleks allutatud konkreetselt ühegi senise üksiku sihtfinantseerimise teema alla; (2) ühiselt aktsepteeritud läbipaistev struktuur, otsustamine ja ühised eesmärgid; (3) teemade ühend, millelt oodatakse suuremat panust kui lihtne aritmeetiline summa; (4) eesmärk Eesti jaoks: kuidas teha korda Eesti IT valdkonna teadus ning doktoriõpe riigi kogu majanduse jaoks üliolulises valdkonnas (IT firmad, regulaarsed talve- ja suvekoolid, doktorikool, teooriapäevad, teadusteemad, rahvusvaheline koostöö, projektid); (5) arvutiteaduse viimine paaria-seisusest riigi jaoks tähtsaks teadussuunaks, valdkonna prioriteedi tõstmine, PR; (6) tööjõu tagamine: firmadele, ülikoolidele; (7) uute ja sõltumatute kõrge teaduskvaliteediga rühmade ja teadussuundade teke; (8) publitseerimine ISI WoS tasemel; (9) sünergilist efekti näha ühiste *workshop*'pide ja ühisuuringute tulemusena. Üles tõsteti ka ilusa poisslapse nime välja mõtlemise ülesanne.

Kõigi nende kriteeriumide arvestamine ja eelkõige nime küsimus olid liiga palju veel „ajast ees", sest kõigepealt tuli ühisosasid leida sisulises tegevuses ja konkreetsemate koostöö võimalustes. Niisiis oleks pidanud ikkagi ka detailide tasemele laskuma. Aga selleks ei näinud kusagil olevat eriti tõsiseid soove.

TTÜ poolse ettepanekuna skitseeris **Raimund Ubar** järgmise uurimisgruppide kompetentside ja koostöö võimaluste skeemi (vt. pilt lk 465). Skeemil oli detailselt avatud kogu TTÜ poolne tegevusplaan, millega olid seotud ka ootused partnerlusele TÜ, Kübi ja Cybernetica poolt – „mustad" kastikesed, mis ootasid nüüd partnerite poolt „kaante ära tõstmist", aga mida ei järgnenud. Partneritel ei meeldinud meie keskne suund missioonikriitilistele sardsüsteemidele. Ilmselt nägid nad selles skeemis teatavat diktaati ja eks neil olid ka teised võimalikud koostööskeemid mõttes.

Otsus konkureerida eraldi kahe keskusena

Üsna aeglases ja leiges suhtlemises möödus kiiresti aeg. Joonistati küll veel mitmesuguseid teisigi pilte ja koostööliinide graafe. Üritati minna vahel ka detailideni. Kuid ka siin tekkisid vastuolud: osa laitis detailide tasemel arutelud hoopiski maha, osa pooldas neid, kuna see oleks olnud ainuke võimalus eraldiseisvates probleemistikes kokkupuuteid otsida. Ühist keelt aga ei leitud, ega ka kokkupuutepunkte, mis oleksid kutsunud koostööle erinevate uurimisgruppide vahel. Pikkamisi süvenesid kahtlused ühise tippkeskuse moodustamise otstarbekuses.



Esimene tippkeskuse struktuuri ettepanek

Küberneetika Instituudi pool sõnastas lõpuks 2008. a. algul järgmised asjaolud, mis ei toetanud ühise tippkeskuse moodustamist: (1) eksisteerib „kõva" ja „pehme" IT, aga seosed nende vahel on liiga õrnad; (2) kummalgi poolel on „erinev keel"; (3) sisulist koostööd tegelikult polegi olnud (siin oli vihje TTÜ ja Kübi uurimisgruppide eraldatusele eelmises tippkeskuses); (4) tippkeskuse soovitatavaks suuruseks oleks 20-40 inimest, aga meil on praegu ühinejate arvuks 80-90; (5) eksperimentaalteadus vajab rohkem ressurssi ja kui sellele poolele jääks veel koordineerimine, siis tekib oht et keskus muutub elektroonikakeskuseks (see oli selge ja aus vihje tegelikult kõige suuremale hirmule).

Ja nii kujuneski tasahilju viisakalt formuleeritud arusaam, et „ehk oleks paremgi, kui need kaks seltskonda jäävad endiselt edasi sõpradeks, ainult pisut lahus olles". Pealegi oli kusagilt TTÜ administratsiooni poolelt tulnud ka kaudne suunis: „Mis toimub? Tehke kaks eraldi keskust!"

Järgmisena tuli see arusaam veel vaid konkreetsemalt sõnastada: „Eks niiviisi kahe eraldi taotlusega välja minna on lihtsam. Läheme siis pealegi seda teed. Võib olla välistab see tõepoolest juba eos võimalikke eri arusaamadest tulenevaid konflikte, mis nii või teisiti hakkaksid hoopis vastu töötama koostööideaalidele."

Mõeldud tehtud. Edasi said meist selles tippkeskuste konkurentsis ka omavahel konkurendid. Läksime vastu suurele riskile, kuid ikkagi tervelt kolmele võimalusele: (1) kumbki pool ei saa keskust, (2) üks saab, aga teine ei saa ja (3) saame mõlemad kokku kaks keskust. Selle viimase variandi võimalusse ei uskunud aga vist keegi. Kuid sellest hetkest peale hakkasime – mõlemad pooled – igaüks eraldi oma keskuse kontseptsiooni üles ehitama.

CEBE taotlemine ja võit

Edasi algasid kolme partneri läbirääkimised oma tippkeskuse kontseptsiooni ja missiooni väljatöötamiseks. Algasid skeemide joonistamised, ühisosade ja koostöö noolte skeemidele paigutamised. Otsisime oma kompetentse kirjeldavaid märksõnu. HTM tippkeskuste konkursi määrus oli esile toonud ühe väga olulise komponendi nii tippkeskusele toetuse andmise üldeesmärgis kui ka alaeesmärkides. Selleks komponendiks oli KOOSTÖÖ, mis peaks looma „lisaväärtust" (*added value*) ja sünergiat eri teadusgruppide tegevuse tulemusena tippkeskuses.

Seda koostöös sündiva sünergia võimalusi hakkasimegi otsima. Seadsime esimeseks eesmärgiks kirjeldada ja klassifitseerida iga teadusgrupi jaoks selle kompetentside hulka ja partnerluse vajadusi suhetes teiste uurimisgruppidega (lihtsamal juhul „kompetents = väljuv nool" ja „vajadused = sisenev nool" keskuse tegevustiku üldpilti kujutaval skeemil.

Pika lihvimise ja paljude arutelude ning koosolekute tulemusena kujunes keskuse koostööd illustreeriv tsentraalne skeem (vt. joonis). Skeemil tõime kolme värviga välja kõikide partnerite uurimistöö temaatikas (ATI[1] – helesinine, ELIN[2] – kollane, BMT[3] – heleroheline), valgeks jätsime teemad, kus planeerisime koostööd. Nooltega sidusime uurimistemaatikate või projektipõhiste tegevuste vahelised loogilised sidemed.

Keskuse tegevustiku ja oodatavad tulemused formuleerisime järgmise lühikokkuvõttena:

> Keskus teostab elektroonika, analoog- ja digitaaldisaini ning biomeditsiinitehnika alaseid interdistsiplinaarseid strateegilisi alusuuringuid fokuseerituna rakendustele missioonikriitilistes sardsüsteemides. Sihiks on tugevdada T&A ja innovatsioonivõimekust Eestis prioriteetsetel aladel, lõimides info-, bio- ja materialitehnoloogiaid tihedas rahvusvahelises koostöös ja võrgustikes. Uurimisteemadeks on: missioonikriitilised sardsüsteemid, signaalitöötlus ja -modelleerimine, biosignaalide interpreteerimine, aju uuringud, impedantsspektroskoopia, pooljuhtmaterjalid ja nanotehnoloogia, digitaaldisain ja verifitseerimine, diagnostiline modelleerimine, testimine ja süsteemide usaldatavus. Eesmärgiks on tõsta eesti teaduse ja tööstuse konkurentsivõimet, tagades teadustöö stabiilselt kõrget kvaliteeti, populariseerides teadust tõstmaks selle atraktiivsust noorte hulgas, parandades doktoriõppe sisu ja taset ning luues kestvaid strateegilisi partnersidemeid teadlaste ja tööstusettevõtete vahel.

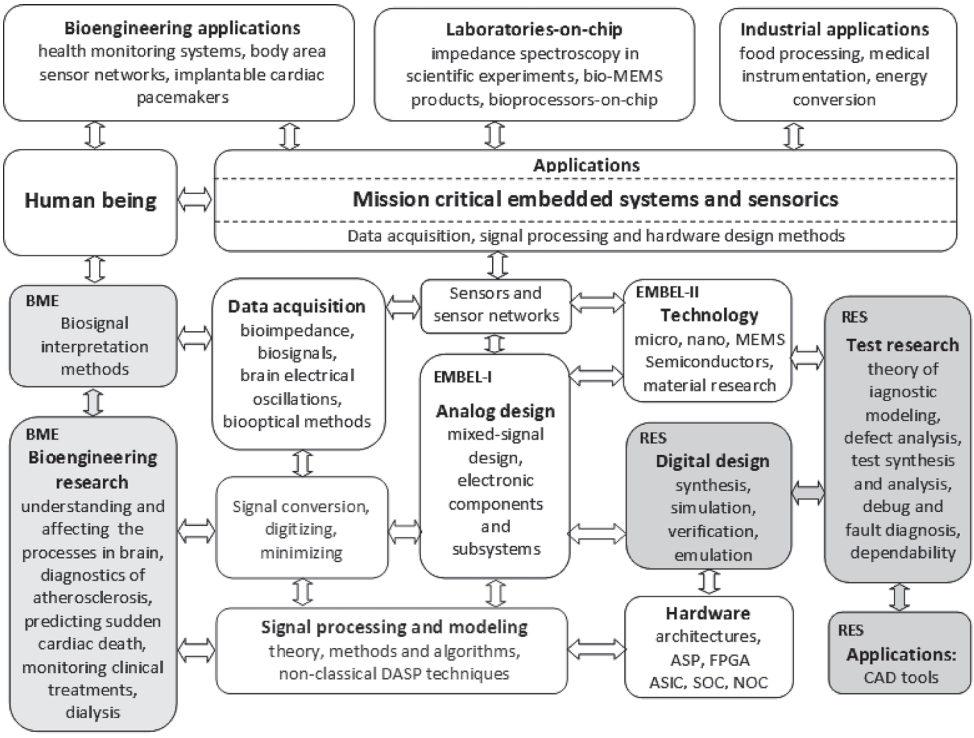
26. märtsil 2008. a. kell 15:42 vajutasime arvuti nupule ja esitasime oma tippkeskuse taotluse konkursile. Tippkeskuse nimeks panime: *Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus* (*Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering*), lühendatult – CEBE. Keskuse juht ja koordinaator: akad. **Raimund Ubar**. Keskuse sihtfinantseeritavad teemad ja partnerid: Raimund Ubar (*Töökindlate sardsüsteemide disain*), **Mart Min** (*Missioonikriitiliste sardsüsteemide elektroonsed komponendid ja alamsüsteemid*), **Ivo Fridolin** (*Biosignaalide interpreteerimine meditsiinitehnikas*).

---

1 ATI tähiseks sihtfinantseeritava teema järgi oli RES – *Design of Reliable Embedded Systems.*

2 Elektroonika instituudi ELIN tähiseks oli EMBEL – *Electronic Components and Subsystems for Mission Critical Embedded Systems.*

3 Tehnomeedikumi tähiseks oli BME – *Interpretation of Biosignals and Biomedicl Engineering.*



CEBE uurimistöö teemad ja koostöö

7. juulil saime ametliku teate, et meie keskus on konkursi edukalt läbinud ja meile on määratud finantseerimine 73 miljonit krooni ajavahemikuks 2008-2015.

Konkursil osales 28 taotlust, millest vaid 7 valiti välja ja said finantseerimise. TTÜ-st osutusid 7 taotluse hulgas edukaks vaid kaks – CEBE ja **Tarmo Uustalu** juhitav Arvutiteaduse keskus EXCS.

Reaalsuseks sai versioon, kus meie mõlemad taotlused said konkursil läbi, mida meist keegi hästi enne ei uskunud. Meie risk osutus õigustatuks. Kui oleksime jäänud ühise suure keskuse variandi juurde, oleks meie rahaline auhind olnud kaks korda (!) väiksem.

CEBE algust on kirjeldatud TTÜ aastaraamatus 2009 järgmiselt.

CEBE alustas[4]

2008. aasta kevadel korraldas sihtasutus Archimedes Haridus- ja Teadusministeeriumi korraldusel konkursi Eesti teaduse tippkeskuste loomiseks. Kokku laekus 24 taotlust ning juunis 2008 langetati otsus 524 355 000 krooni struktuuritoetuste raha jagamiseks 7 tippkeskuse vahel. Meie keskust, mille nimeks on integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE (*Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering*) rahastatakse aastatel 2008-2015 *ca* 73 miljoni krooniga.

CEBE koondab endasse kolme erineva valdkonna teadlasi TTÜ Infotehnoloogiateaduskonna arvutitehnika (ATI) ja elektroonika (ELIN) instituutidest ning TTÜ Tehno-

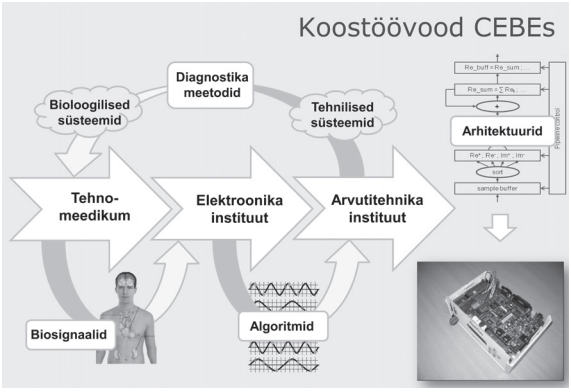
[4] Raimund Ubar, Ivo Fridolin, Mart Min. Eesti teaduse tippkeskus Infotehnoloogia teaduskonda. TTÜ aastaraamat 2008. TTÜ kirjastus, 2009, lk. 19-26.

meedikumist (TM). CEBE taotleb oma uuringutes eeskätt interdistsiplinaarset koostööd elektroonika, analoog- ja digitaaldisaini, diagnostika ning biomeditsiinitehnika alal missioonikriitiliste ja usaldatavate sardsüsteemide loomiseks.

Tippkeskuse töögruppidel juba ongi pikaajaline koostöö kogemus. Näiteks, investeeriti aastatel 2005-2008 tihedas koostöös teadusasutuste infrastruktuuri projekti raames ligemale 60 miljonit krooni kolme tuumiklaborisse: siduselektroonika (SIE), mikro- ja nanoelektroonsed komponendid (MINAKO) ning arvutisüsteemide süntees ja analüüs (ASSA). Kõik kolm gruppi on osalenud partneritena ka tehnoloogia arenduskeskuse ELIKO töös.

Täna kuulub CEBE koosseisu ligi 80 teadurit ja doktoranti. CEBE partneriteks Eesti tööstuses on Artec Group, Smartimplant, Cybernetica AS, Elcoteq, National Semiconductor Eesti, Clifton AS, JR Medical, AS LDI, Ldiamon AS, Emros OÜ, Tensiotrace OÜ, Girf OÜ, AB Medical Teeninduse OÜ, OÜ Testonica Lab, 2 kliinikut ja 4 suuremat Eesti haiglat. Oluliseks partneriks ning keskust Eesti ettevõtetega ühendavaks lüliks on tehnoloogia arenduskeskus ELIKO.

Uurimistemaatikast



CEBE uurimisobjektiks on „targad" sardsüsteemid, mis kasutavad ja töötlevad sensorite kaudu saadavaid signaale (elektrilisi, magneetilisi, optilisi, heli, soojuskiirgust), varustavad meid informatsiooniga ning teostavad automaatjuhtimist. Põhiprobleemideks on info eraldamine mürast ja signaalide hõivamise ning töötlemise kiirus, mis eeldab eriprotsessorite loomist. Lahendada tuleb lisaks veel niisugusi probleeme nagu süsteemide ja välisilma informaatiline, energeetiline, elektromagnetiline ja bioloogiline ühilduvus, energia kokkuhoid ning süsteemide usaldatavus.

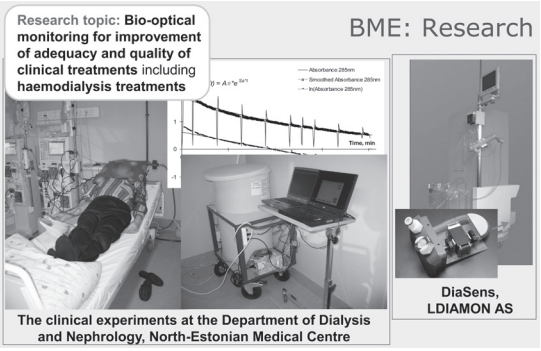
Tippkeskus on kavandanud ühisuuringuid aladel nagu analoog- ja digitaalsüsteemide süntees, signaalitöötlus ja -modelleerimine, impedantsspektroskoopia, pooljuhtmaterjalide uurimine ja nanotehnoloogia, süsteemide verifitseerimine, diagnostika ja veakindlus. Rakendusi on planeeritud meditsiinitehnikas biosignaalide interpreteerimisel, aju uuringutes, vererõhu- ja südame-veresoonkonna seisundi ning kliiniliste protseduuride biooptilisel monitooringul, potentsiaalselt eluohtlike rütmihäirete tekke ennustamisel, aga ka mujal tööstuses ja automaatprojekteerimisel. Keskuse visioonideks on sensorvõrkude ja ühte kiipi mahtuvate mikrolaborite ning protsessorvõrkude loomine koos rakendustega informatsiooni hõiveks, muundamiseks ja töötlemiseks ning täiturtegevuseks, näiteks südamestimulaatorite juhtimisel.

CEBE uurimistemaatika on koordineeritud kolme riiklikult finantseeritava sihtfinantseeritava uurimisteemaga: Töökindlate sardsüsteemide disain (ATI), Missioonikriitiliste sardsüsteemide elektroonsed komponendid ja alamsüsteemid (ELIN), Biosignaalide interpreteerimine meditsiinitehnikas (TM).

Milleks teadus, milleks teadustippkeskus?

Teaduse ja tehnoloogia arendamine ei saa olla asi iseeneses. Teadlane töötab ühiskonna ressursse kasutades ühiskonna heaks, eeskätt inimese heaolu kindlustamiseks. See käib täiel määral ka ka meie keskuse ja seal viljeldava uurimistöö kohta. Me anname endale selgelt aru mille hüvanguks me töötame – tootmine, majandus, meditsiin. Meie keskuse sihid haaravad suures osas elusloodusе ja selle ühe osa – inimese – probleeme. Elu saab võimalikuks tänu üksikute osiste vastastikustele seostele ja mõjutustele alates elusraku komponentidest kuni tervikorganismideni välja (seda käsitleb uus teadusala – süsteemibioloogia). Teavet looduse, inimese kui ka tehismaailma olemuse kohta annavad meile signaalid. Lõpmatus mõjutuste meres toimuva uurimine ja sellest aru saamine ei ole võimalik ilma signaalide hõive, kogumise, töötlemise ja mõtestamiseta. Kõige olulisemad ja tihti teedrajavad teadustööd on viimasel ajal seotud valdavalt bioloogia, biotehnoloogia, meditsiini, elektroonika ja arvutustehnika omavaheliste seoste ja nende sünergia kaudu avalduvate uute võimaluste rakendamisega.

Biomeditsiinitehnikast



Tehnomeedikumis töötatakse välja uut biooptilise monitooringu meetodit inimese neerupuudulikkuse ravi kvaliteedi parandamiseks

TTÜ Tehnomeedikumi teaduspotentsiaal põhineb biosignaalide, bioelektromagnetismi ja biooptika alasel kliinilisel kogemusel ning kompetentsil, mis on loonud ühtlasi ka soodsa aluse innovatiivsete lahenduste väljatöötamiseks biomeditsiinitehnikas. Just siit tulenevad ka kavandatava koostöö põhilised rakenduseesmärgid nagu kaasaegsete mõõtemeetodite ja signaalianalüüsi kasutamine ajus toimuvate protsesside mõistmiseks ja mõjutamiseks, vererõhu- ja südame-veresoonkonna seisundi ning kliiniliste protseduuride biooptiliseks monitooringuks, potentsiaalselt eluohtlike rütmihäirete tekke ennustamiseks ja mujal. Ajuuuringutelt ootame uusi fundamentaalseid teadmisi aju, väliste elektromagnetväljade ja tunnetusprotsesside vahelistest vastastikkustest mõjudest ning võimalusest aju mõjutada välise välja abil. On teada, et ateroskleroos on Euroopas enim varajast surma põhjustav patoloogia. Kuna Eesti kuulub kõrgeima südame-veresoonkonna haiguste suremusega Euroopa riikide hulka, siis ateroskleroosi varajane tüsistuste preventsioon on eluliselt tähtis. Optiline meetod ateroskleroosi diagnoosimiseks varases staadiumis võimaldab efektiivset ravi ja ennetada haigussümptomite teket. Uudse diagnoosimiskompleksi loomine parandab äkksurma riski hindamist ja arütmiavastase ravi efektiivsuse tõstmist. Ehkki neerupuudulikkuse ravi (dialüüsi) jälgimiseks on välja töötatud mitmeid monitore on olemasolevatel meetoditel olulisi puudusi. Kuna kliiniliselt on dialüüs kallis, ressursse ja aega nõudev protsess ning ilma kunstneeruta sureks patsient mõne päeva jooksul jääkainete ja liigse vee kuhjumisest tingitud komplikatsioonide tõttu on kvaliteetse neerupuudulikkuse ravi ja selle monitooring ülimalt oluline. Biooptilise monitooringu meetod pakub lihtsamalt ja kiiremini enam informatsiooni dialüüsravi kohta parandades ühtlasi selle kvaliteeti.

Elektroonikast

Elektroonika kateedri ja ATI koostöös töötatakse välja spetsiaalprotsessorit meditsiinidiagnostikaks. Pildil toimuv on aga protsessori enda diagnoos arvuti abil.

Sigaalide hõivet, mõõtmist ja töötlemist teostavateks vahenditeks on eeskätt sardsüsteemid ehk keskkonnaga otseühendusse asetatud eriotstarbelised arvutid. Olgu seejuures märgitud, et selliste eriarvutite osakaal kogu maailma arvutipargist on umbes 98%, jättes vaid tühised 2% universaalarvutitele ehk siis traditsioonilistele süle- ja lauaarvutitele. Protsendid räägivad keskuse tegevusvaldkonna ulatusest ja olulisusest meie igapäevast elu silmas pidades.

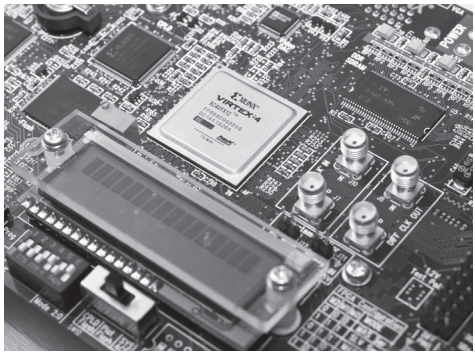
TTÜ elektroonikud on viimasel ajal eriti hoogsalt hakanud uurima võimalusi saada elektrilise impedantsi kaudu infot elus ja eluta ainete omaduste kohta, näiteks akude ja patareide „tervise“, fermentatsiooniprotsesside, sulamite koostise ja koguni elusrakkude kohta. Kuumaks uudiseks on võimalus uurida bakterioloogiliste materjalide üliväikseid koguseid kiibipõhistes mikrolaboratooriumites ehk kiiplaborites (*lab-on-chip*). Kudede uurimise ja haiguste diagnostika uueks arenevaks võimaluseks on kujunemas bioimpedantsi meetod, mille sisuks on kudede ja organite elektrilise komplekstakistuse mõõtmine ja analüüs, kasutades selleks digitaalse signaalitöötluse vahendeid. Bioimpedants võimaldab uurida eluskoes toimuvaid protsesse nii raku, koe, organi kui ka kogu keha tasandil.

TTÜ elektroonikute originaalsed signaalitöötlusmeetodid on juba kaitstud nii Euroopa liidus kui ka USAs mitmete patentidega. Uuringud on keskendunud signaalide üheaegsele töötlemisele nii aja kui sageduse vallas ning parameetrite üheaegsele määramisele pidevalt muutuvates dünaamilistes süsteemides. Uuringute eesmärgiks on optimeeritud arvutiprotsessorite loomise kaudu läheneda teoreetiliselt võimalikele piiridele, säilitades samas väga hea töökindluse ja minimaalse energiatarbe. Mõõdetavate signaalide käitumise ja protsesside olemuse hea tundmine võimaldab minimaalse keerukusega ja optimaalsete lahenduste loomist. Loodud on pilootvahendid südame bioimpedantsi mõõtmiseks ning koetransplantaatide jälgimiseks ning elektrilise kardiograafia (EKG) ja impedantskardiograafia (IKG) kooskasutamiseks meditsiinidiagnostikas, samuti elektrokeemilise impedantsi rakendamiseks liitium-ioon akude seisundi hindamiseks. Lähedasi meetodeid on edukalt katsetatud euromüntide sulamite koostise hindamiseks.

Lairiba ja ülilairiba side- ja mõõtesüsteemid koos positsioneerimisega, nende madal energiatarve ja suur töökindlus on vältimatud eeltingimused targa keskkonna arendamisel (tark maja, tark haigla, tark muuseum, tark linn). Tulevaste uuringute rakenduste hulgas on mobiilne meditsiin, terveid linnu hõlmavad monitooringu ja juhtimissüsteemid, targad riided ja mitmesugused abivahendid erivajadustega inimestele.

Väikese kuid tegusa meeskonna moodustab pooljuhtelektroonika uurimisgrupp, kus eesmärgiks on seatud ühelt poolt laia keelutsooniga materjalidel põhinevate pooljuhtseadiste ning teiselt poolt madala energiatarbega ränil põhinevate kiipide väljatöötamine. Uuritavad ülikiiretoimelised SiC või GaAs lülitusdioodid aitavad oluliselt vähendada energiakulu jõumuundurites, madala energiatarbega mikroskeemid aga leiavad rakendust mobiilsetes energia kogumise (*energy harvesting*) skeemides või süsteemides.

Arvutustehnikast ja süsteemide usaldatavusest



Arvutitehnika instituudis realiseeritakse väga kiireid algoritme programmeeritavatel kiipidel

Tehismaailm koos oma signaalidega tähendab laiaulatuslikke sensorvõrke, signaalide paralleelhõivet ja paralleeltöötlust, eriprotsessoreid ja arvutustehnikat ning eelkõige väikese energiatarbega, täpseid ja usaldusväärseid veakindlaid mikrokiipe.

Püsida täna teaduse eesliinil mikroelektroonika valdkonnas selle arenemise tohutu kiiruse juures on erakordselt raske ja pühendumist nõudev missioon. Mikrokiipide keerukus kahekordistub kahe aastaga, mistõttu ka nende funktsionaalsed võimalused, aga ka usaldatavuse tagamise keerukus kahekordistuvad. Projekteerimise paradigmad muutuvad selles valdkonnas iga 3-5 aasta tagant. Transistoride mõõtmete kahanemine aatomitega samasse suurusjärku tähendab seda, et nii transistoride vahelised ühendused kui ka nende funktsionaalsus muutuvad ebastabiilseteks, millest omakorda järeldub, et juba täna on saanud põhiprobleemiks see, kuidas luua töökindlat süsteemi ebatöökindlatest elementidest.

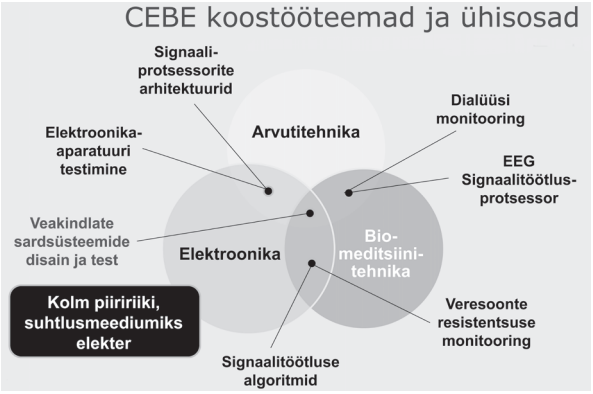
TTÜ arvutitehnika teadlastel on nendes küsimustes mitmelgi puhul oma sõna sekka öeldud. Süsteemide veatu töö tagamise esmaseks vahendiks on test, millega tehakse kindlaks, kas süsteem on töökorras ja kui ei ole, siis tuleb diagnoosida põhjus ehk leida üles vigane süsteemi komponent.

Ka testid peavad olema usaldusväärsed ja vettpidavad. Testide usaldusväärsust mõõdavad analüsaatorid, millistele esitatav põhinõue on analüüsi kiirus, sest analüüsida tuleb võimalike rikete mõju miljonite transistoride hulgas.

ATI-s on loodud uudse teooria põhjal analüsaator, mis töötab kuni suurusjärk kiiremini kui kasutusel olevad professionaalsed kommertsanaloogid. Tööriist on väga vajalik, teda on võimalik kasutada nii süsteemide verifitseerimisel, rikete ja disainivigade diagnoosimisel kui ka süsteemide veakindluse ja usaldatavuse hindamisel. Üks teine ATI simulaator on võimeline kindlaks tegema füüsikaliste defektide olulisust ja mitteolulisust, mille sarnane analoog maailmas puudub. Eriti keeruline diagnostikaprobleem on testprogrammide automaatne süntees keerulistele digitaalsüsteemidele, näiteks mikroprotsessoritele, mida täna veel täielikult teha ei osatagi, kommertstööriistad selleks puuduvad ja vaid ülikoolid võistlevad oma tulemustega konverentsidel. ATI teadlased on loonud siin testigeneraatori, mis eristub olemasolevatest „oskusega“ testida üht tüüpi rikkeid, mida seni pole osatud.

ATI-s toimib hästi koostöö digitaalsüsteemide sünteesijate ja analüüsijate ehk testijate vahel. Näiteks on loodud eriprotsessor, kus riistvara (ehk „raud“) lahendab ära testide analüüsi ülesande, mida traditsiooniliselt on teinud programmid ehk tarkvara. Protsessor võimaldab tervelt kaks suurusjärku tõsta testide analüüsi kiirust, mis võimaldab sammu pidada tänaste süsteemide keerukuse kiire kasvuga. Niisuguse protsessor-kiirendi loomise oskusteavet saaks edukalt kasutada uues keskuses loodavate eriprotsessorite loomisel signaalide töötlemiseks ja analüüsiks.

Koostöösidemed ja europrojektid



Kõne all oleva tippkeskuse rajamine infotehnoloogiateaduskonda on loonud nii võimaluse, motivatsiooni kui ka kohustuse ühitada seni eraldi seisnud ja „omaette" tegutsenud instituutide jõupingutusi rünnata aktuaalseid ja väga olulisi teadusprobleeme nii alus- kui ka rakendusteaduste valdkonnas. Seejuures võimalus – vihjab suurenenud teadmiste ja oskuste kriitilise massile, motivatsioon – rajaneb tõsiste ja tähtsate probleemide lahendamise suuremale tõenäosusele ning kohustus – viitab vajadusele õigustada teaduse tippkeskuse nime kandmist.

Esmajärjekorras on sihikule seatud ühendada biomeditsiinitehnika teadlaste biosignaalide interpreteerimise tarkus, elektroonikute uudsed ideed signaalitöötluse algoritmide loomiseks ja arvutitehnika uurijate teadmised eriprotsessorite sünteesi ja veakindluse alal. On mitmeidki teisi huvitavaid ideesid, näiteks uurida seda, kas oleks võimalik ühitada bioloogiliste süsteemide ja tehissüsteemide diagnostikameetodeid, otsida neis sarnasusi, mida saaks üldistada, ületades niiviisi täiesti erinevate teadusvaldkondade piire.

Keskusel on väga aktiivsed rahvusvahelised sidemed, nii ülikoolide, uurimisasutustega kui ka firmadega. Ameerika Fortune 500 nimekirja kuuluv Boston Scientific on partneriks südame impedantsuuringutes, uudseid mikrokiipe asutakse looma koos uute partneritega (Oulu Ülikool ja National Semiconductor). Bundeswehri Ülikool Münchenis ja Chemnitzi Tehnikaülikool on partneriteks akude ja kütte-elementide omaduste uuringutes. Koostöös Fraunhoferi Instituudi, VTT, Daimler GmbH ja paljude teiste firmadega osaletakse Euroopa Heureka-Itea2 testimisalases projektis D-Mint. Biotehnoloogilised uuringud käivad käsikäes Bioprotsesside ja Analüütiliste Mõõtmiste instituudiga Saksamaal. Mikro- ja nanotehnoloogia rakendamine nõuavad uusi pooljuhtmaterjale ja –struktuure, samuti on tarvilik bioloogilise ja tehnilise maailma ühilduvuse saavutamine. Selles osas töötame koos Joffe-nimelise Rakendusfüüsika Instituudiga Peterburis, sealhulgas 2000. a. Nobeli füüsikapreemia laureaadi Zhores Alferovi laboriga.

Testi valdkonnas toimub koostöö firmaga Göpel Saksamaal sardsüsteemide testimise vallas, Taani ja Hollandi firmadega radarite elektroonikasüsteemide testimisel ning meie uusi ideesid on rakendatud ka Eestis firmas Elcoteq telekommunikatsiooni tugijaamade komponentide testimisel. Koostöö keeruliste süsteemide verifitseerimise vallas toimub firmadega IBM Saksamaal, TransEDA Inglismaal, Ericsson Rootsis ja STMicroelectronics Prantsusmaal.

Biomeditsiinitehnika valdkonna teadlastel on hea koostöö erinevate haiglatega nii Eestis kui väljaspool, tihe kontaktvõrgustik biomeditsiinitehnika teadusinstitutsioonidega Euroopas. Uurimistööst saadud teadmiste kasutamine on eelduseks innovatiivsete meditsiinitehnoloogiate väljatöötamisel, kusjuures ideede potentsiaalseteks kommertsialiseerijateks oleksid meditsiinitehnikat tootvad firmad.

Keskuse teadlased on haaratud terve rea EL-i 6. ja 7. Raamprogrammi projektidega, nagu ROBOSWARM, SMARTMUSEUM, INFLUEMP, D-MINT, EUROCOIN. Hiljuti lõppes projekt „VERTIGO – Sardsüsteemide projekteerimise platvormi verifitseerimine ja valideerimine“, mille tulemusena töötati välja uued efektiivsemad meetodid sardsüsteemide verifitseerimiseks, mis võimaldavad tõsta kiirust 50 % ning suurendada täpsust 15% võrreldes seniste kommertslahendustega. Ühe lõppedes algas kohe ka uus europrojekt CREDES Raamprogrammi REGPOT raames, kus pääseti ligi 500 konkurendi hulgas esimese 15 hulka maksimaalse hindega 100 punkti 100 võimalikust. Projekti tulemusena investeeritakse *ca* miljon eurot töökindlate süsteemide uurimistemaatikasse.

Töö algab

Kuigi tippkeskuse positiivne rahastamisotsus saabus juba 2008. aasta suvel siis keskuse avamine toimus 18. septembril 2008 TTÜ 90. aastapäeva pidustuste raames. Pidulik avaseminar ühildati arvutiteaduse tippkeskuse EXCS avamisega ning lisaks mõlema tippkeskuse tutvustamisele esinesid ettekannetega ka prof. Ivan Damgård Aarhusi ülikoolist (tippkeskuse EXCS teemadel), ning prof. **Manfred Glesner** Darmstadti ülikoolist (tippkeskuse CEBE teemadel). Avaseminaril tegid kolme grupi teadlased kokku ka 12 tehnilist ettekannet, kattes sellega enamuse tippkeskuse uurimistemaatikast.

Rahvusvaheline nõukoda koos CEBE inimestega

CEBE töögruppide ja inimeste omavaheliseks tutvustamiseks ning tippkeskuse sihtide seadmiseks organiseeriti oktoobris Pedasel kahepäevane ajurünnak. Diskussioonide tulemusena õnnestus kaardistada rida teemasid, mis pakuvad huvi rohkem kui ühele grupile või nõuavad erinevate gruppide teadmisi. Nende teemade põhjal on plaanis arendada tippkeskuse sisest interdistsiplinaarset koostööd. Sinna kuuluvad näiteks probleemid signaalitöötluse valdkonnast (kus signaalid ei tarvitse olla vaid elektrilised vaid ka näiteks optilised, akustilised või mehaanilised) või siis sensorid ning nende häirekindlus.

Sügise jooksul toimus keskuse eestvedamisel ka tervelt kolm rahvusvahelist konverentsi – Balti elektroonika konverents, ning kaks Põhjamaade suurüritust NORCHIP-i konverents

ja Nordic Test Forum. Konverentsid pakkusid hea võimaluse tippkeskuse tutvustamiseks rahvusvahelisele üldsusele ja tippkeskuse töötajatele huvitavate külaliste kutsumiseks.

Keskuse töö paremaks koordineerimiseks Euroopas läbiviidavate tippuuringutega loodi keskuse rahvusvaheline nõuandev kogu prominentsetest euroopa teadlastest: prof. **Bernard Courtois** (TIMA laboratoorium) ja prof. **Ahmed Jerraya** (CEA-LETI, MINATEC) Prantsusmaalt, dr. **Rainer Dorsch** (IBM), prof. **Manfred Glesner** (TU Darmstadt), prof. **Jürgen Bommer** (Dialysezentrum) ja Dr-Ing.habil. **Uwe Pliquett** (Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik) Saksamaalt, prof. **Bashir M. Al-Hashimi** (University of Southampton) Inglismaalt, prof. **Marta Rencz** (Budapest University of Technology) Ungarist ning prof. **Jaakko Malmivuo** (Helsinki Aalto Ülikool) Soomest.

Esimene nõuandva kogu kokkusaamine toimub 2009. a. kevadel ühise seminarina, kus esinetakse vastastikkuste ettekannetega ja korraldatakse ühispaneel keskuse senise töö ning tulevikukavade hindamiseks ja täiendamiseks

Perspektiivid

Kokkuvõtteks tuleks öelda, et keskus kavandab rakendusliku väljundiga seotud uuringuid ning panustab ühtaegu nii teadustöö kvaliteeti kui ka innovatsiooni, eesmärgiga positiivselt mõjuda Eesti tööstusele, luues näiteks eeldused tööstuse arenguks uute meditsiiniseadmete tootmise näol. Lai koostöövõrgustik ning kõrgetasemeline teadustöö, head praktikavõimalused doktorantidele nii Eestis kui välismaal on eelduseks kraadiõppe edukusele. Keskuse panus doktoriõppesse ning samaaegne tööstuse kaasahaaramine aitab suurendada Eestile vajalike tippspetsialistide arvu ning toetada uute tehnoloogiate kiiret kasutuselevõttu Eesti tööstuses.

Uurimistöö interdistsiplinaarne iseloom, kõrge teaduspotentsiaal, patentidega kaitstud innovaatiline tegevus, aktiivne koostöö rahvusvahelistes võrgustikes ning kahesuunaline teabesiire Eesti tööstusega oleks ühtlasi edu pandiks Eesti konkurentsivõime tõstmisele suure majandusliku lisaväärtusega T&A valdkondades.

CEBE uudiskirjadest

Uudiskiri Nr 1 – 2009

CEBE 7-aastase perioodi vältel ilmutasime ennast veebis seitsme uudiskirja näol. Need ei olnud teaduslikud üllitised, vaid kandsid eeskätt PR-eesmärki. Nad ilmusid igal aastal aprillikuus, olid A4 formaadis, omasid ühte ja sama vormi ning olid varustatud illustratsioonide ja fotodega. Järgnevalt on esitatud kokkuvõte esimesest numbrist. Ka järgmistes peatükkides on järgitud uudislehtede kronoloogiat, kusjuures rõhk on pandud ATI tegevuste ja tulemuste kirjeldamisele.

Hea lugeja!

See on esimene integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskuse CEBE (Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering) uudiskiri. Me loodame, et see meeldib teile!

Uudiskirja eesmärgiks on meie tegemiste tutvustamine ja uute kontaktide loomine sardsüsteemide, arvutisüsteemide, elektroonika ning biomeditsiinitehnika valdkondades. Keskus koondab nendes valdkondades Eesti tippteadust ning CEBE töö põhineb kolmel Tallinna Tehnikaülikooli struktuuriüksusel: arvutitehnika ja elektroonika instituutidel Infotehnoloogia teaduskonnast ning TTÜ Tehnomeedikumil.

CEBE UUDISKIRI

NUMBER 1 — CEBE.TTU.EE — APRILL 2009

HEA LUGEJA!

See on esimene integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskuse CEBE (Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering) uudiskiri. Me loodame, et see meeldib teile!

Uudiskirja eesmärgiks on meie tegemiste tutvustamine ja uute kontaktide loomine sardsüsteemide, arvutisüsteemide, elektroonika ning biomeditsiinitehnika valdkondades. Keskus koondab eesti tippteadust nendes valdkondades ning meie töö põhineb kolmel Tallinna Tehnikaülikooli struktuuriüksusel: arvutitehnika ja elektroonika instituutidel Infotehnoloogia teaduskonnast ning TTÜ Tehnomeedikumil.

Raimund Ubar, TTÜ arvutitehnika instituudi professor ja tippkeskuse CEBE juht.

SISUKORD

Tippkeskuse tutvustus 1
CEBE uurimistemaatika 1
Ülevaade toimunust 2
Jooksvad projektid 2
Esimese tööaasta jooksul saadud tähtsamaid tulemusi 3
Rahvusvaheline koostöö 4
Doktoritööde kaitsmised 4
Tunnustused 4
Teadusorganisatoorne töö aastal 2008 4
Tähtsamad publikatsioonid 2008 4
Loodud töövõtsumand 2008 5
Teaduse Populariseerimine 5
Järgmised olulised sündmused 5

TIPPKESKUSE TUTVUSTUS

2008. aasta kevadel korraldas sihtasutus Archimedes Haridus- ja Teadusministeeriumi korraldusel konkursi Eesti teaduse tippkeskuste loomiseks. Kokku laekus 24 taotlust ning juunis 2008 langetati otsus 524 355 000 krooni struktuuri-toetuste raha jagamiseks 7 tipp-keskuse vahel. Meie keskust, mille nimeks on **integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE** (Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering) rahastatakse aastatel 2008-2015 ca 73 miljoni krooniga. Konkursi tulemused valmistasid veel ühe positiivse üllatuse. Rahastamise sai ka teine IKT valdkonna tippkeskuse taotlus: Arvutiteaduse tippkeskus (EXCS) Tarmo Uustalu juhtimisel. Seega on tervelt kaks keskust seitsmest suuremal või vähemal määral seotud IKT valdkonnaga, mis on Eesti riigi poolt juba ammu kuulutatud prioriteetseks teadusvaldkonnaks. Võime vaid loota, et tippkeskuste loomine on üks esimesi samme, mille puhul ka riigi tasandil jõutakse sõnadest tegudeni.

CEBE koondab endasse kolme erineva valdkonna teadlasi TTÜ Infotehnoloogia teaduskonna arvutitehnika (ATI) ja elektroonika (ELDI) instituutidest ning TTÜ **Tehnomeedikumist** (TM). CEBE taotluses on eesmärgiks seatud interdistsiplinaarsed teadusuuringud elektroonika, analoog- ja digitaaldisaini, diagnostika ning biomeditsiinitehnika alal missioonikriitiliste sardsüsteemide valdkonnas.

CEBE töögruppidel on pikaajaline koostöö kogemus. Koostöös investeeriti aastatel 2005-2008 teadusasutuste infrastruktuuri kaasajastamise projekti raames ligemale 60 miljonit krooni kolme TTÜ **tuumiklaborisse**: siduselektroonika (SIE), mikro- ja nanoelektroonsed komponendid (MINAKO) ning arvutisüsteemide sünteesi ja analüüs (ASSA). Kõik kolm gruppi on osalenud partneritena tehnoloogia arenduskeskuse ELIKO töös.

Tuumiklabor ASSA (Foto: G. Jervan)

Täna kuulub CEBE koosseisu ligi 80 teadurit ja doktoranti. CEBE partneriteks Eesti tööstuses on Artec Group, Smartimplant, Cybernetica AS, Elcoteq, National Semiconductor Eesti, Clifton AS, JR Medical, AS LDI, Ldiamon AS, Emros OÜ, Tensiotrace OÜ, Girf OÜ, AB Medical Teeninduse OÜ, OÜ Testonica Lab, 2 kiinikut ja 4 suuremat Eesti haiglat. Oluliseks partneriks ning keskust Eesti ettevõtetega ühendavaks lüliks on tehnoloogia arenduskeskus ELIKO.

CEBE UURIMISTEMAATIKA

CEBE uurimisobjektiks on **intelligentsed missioonikriitilised sardsüsteemid**, mis kasutavad ja töötlevad sensorite kaudu saadavaid signaale (elektrilisi, magneetilisi, optilisi, heli, soojuskiirgust), varustavad meid informatsiooniga ning teostavad automaatjuhtimist. Põhiprobleemideks on info eraldamine mürast ja signaalide hõivamise ning töötlemise kiirus, mis eeldab eriprotsessorite loomist.

CEBE | Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering — Number 1 · 1

Tippkeskuse tutvustus

2008. aasta kevadel korraldas sihtasutus Archimedes Haridus- ja Teadusministeeriumi korraldusel konkursi Eesti teaduse tippkeskuste loomiseks. Kokku laekus 24 taotlust ning juunis 2008 langetati otsus 524 355 000 krooni struktuuri-toetuste raha jagamiseks 7 tipp-keskuse vahel. Meie keskust, mille nimeks on integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE (Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering) rahastatakse aastatel 2008-2015 *ca* 73 miljoni krooniga. Konkursi tulemused valmistasid veel ühe positiivse üllatuse. Rahastamise sai ka teine IKT valdkonna tippkeskuse taotlus: Arvutiteaduse tippkeskus (EXCS) **Tarmo Uustalu** juhtimisel. Seega on tervelt kaks keskust seitsmest suuremal või vähemal määral seotud IKT valdkonnaga, mis on Eesti riigi poolt juba ammu kuulutatud prioriteetseks teadusvaldkonnaks. Võime vaid loota, et tippkeskuste loomine on üks esimesi samme, mille puhul ka riigi tasandil jõutakse sõnadest tegudeni.

CEBE uurimistemaatika. CEBE uurimisobjektiks on intelligentsed missioonikriitilised sardsüsteemid, mis kasutavad ja töötlevad sensorite kaudu saadavaid signaale (elektrilisi, magneetilisi, optilisi, heli, soojuskiirgust), varustavad meid informatsiooniga ning teostavad automaatjuhtimist. Põhiprobleemideks on info eraldamine mürast ja signaalide hõivamise ning töötlemise kiirus, mis eeldab eriprotsessorite loomist.

Lahendada tuleb lisaks veel niisuguseid probleeme nagu süsteemide ja välisilma informaatiline, energeetiline, elektromagneetiline ja bioloogiline ühilduvus, energia kokkuhoid ning süsteemide usaldatavus.

Tippkeskus on kavandanud ühisuuringuid aladel nagu analoog- ja digitaalsüsteemide süntees, signaali-töötlus ja -modelleerimine, impedantsspektroskoopia, pooljuhtmaterjalide uurimine ja nanotehnoloogia, süsteemide verifitseerimine, diagnostika ja veakindlus. Rakendusi on planeeritud meditsiinitehnikas biosignaalide interpreteerimisel, aju uuringutes, vererõhu- ja südame-veresoonkonna seisundi ning kliiniliste protseduuride biooptilisel monitooringul, potentsiaalselt eluohtlike rütmihäirete tekke ennustamisel, aga ka mujal tööstuses ja automaatprojekteerimisel. Keskuse visioonideks on sensorvõrkude ja ühte kiipi mahtuvate mikrolaborite ning protsessorvõrkude loomine koos rakendustega informatsiooni hõiveks, muundamiseks ja töötlemiseks ning täiturtegevuseks, näiteks südamestimulaatorite juhtimisel.

CEBE uurimistemaatika on koordineeritud kolme riiklikult finantseeritava sihtfinantseeritava uurimis-teemaga: Töökindlate sardsüsteemide disain (ATI), Missioonikriitiliste sardsüsteemide elektroonsed komponendid ja alamsüsteemid (ELIN), Biosignaalide interpreteerimine meditsiinitehnikas (TM).

Ülevaade toimunust esimesel tööaastal

Tippkeskuse avamine. Kuigi tippkeskuse positiivne rahastamisotsus saabus juba 2008. aasta suvel, siis tippkeskuse avamine toimus 18. septembril 2008 TTÜ 90. aastapäeva pidustuste raames. Pidulik avaseminar ühildati arvutiteaduse tippkeskuse EXCS avamisega ning lisaks mõlema tippkeskuse tutvustamisele esinesid ettekannetega ka prof. **Ivan Damgård** Aarhusi ülikoolist (tippkeskuse EXCS teemadel), ning prof. **Manfred Glesner** Darmstadti ülikoolist (tippkeskuse CEBE teemadel).

Peale lõunapausi jätkus avaseminar tehnilisemate ettekannetega. Kolme grupi teadlased tegid kokku 12 ettekannet, kattes sellega enamuse tippkeskuse uurimistemaatikast. Kõikide ettekannete materjalidega on võimalik tutvuda CEBE veebis aadressil cebe.ttu.ee

CEBE esimene üldseminar Pedasel

CEBE seminar Pedasel. CEBE töögruppide ja inimeste omavaheliseks tutvustamiseks ning tippkeskuse sihtide seadmiseks organiseeriti 17.-18. oktoobril Pedasel kahepäevane ajurünnak. Kahe päeva jooksul oli kohal 38 inimest ning ajurünnaku tulemusena õnnestus kaardistada rida teemasid, mis pakuvad huvi rohkem kui ühele grupile või nõuavad erinevate gruppide teadmisi. Nende teemade põhjal on plaanis arendada tipp-keskuse sisest interdistsiplinaarset koostööd. Sinna kuuluvad näiteks erinevad probleemid signaalitöötluse valdkonnast (kus signaalid ei tarvitse olla vaid elektrilised vaid ka näiteks optilised või siis mehaanilised) või siis sensorid ning nende häirekindlus. On leitud inimesed, kes ühte või teist teemat vedama hakkavad.

CEBE seminar konverentsi NORCHIP raames. 17-18. novembril 2008 toimus Tallinnas TTÜ arvutitehnika instituudi organiseerimisel 26. rahvusvaheline Norchip konverents. Norchip on põhjamaade mikroelektroonika valdkonda koondav iga-aastane teaduskonverents. Konverents pakkus hea võimalus tippkeskuse tutvustamiseks ning

tippkeskuse töötajatele huvitavate külaliste kutsumiseks. 18. novembri pealelõunal toimunud spetsiaalsel sessioonil oli põhitähelepanu kolmel kutsutud ettekandel: prof. **Thomas Hollstein** (Darmstadti Tehnikaülikool) pidas ettekande teemal „SoC design challenges in the CMOS nanoscale era," prof. **Ivars Bilinskis** (Riia Tehnikaülikool) tutvustas teemat „Digital Alias-Free Signal processing – DASP" ning prof. **Jaakko Malmivuo** (Tampere Tehnikaülikool), kes on ka tippkeskuse rahvusvahelise nõukoja liige, rääkis teemal „Research on high resolution EEG"

Jooksvad projektid. Arvutitehnika instituudis jõudis lõpule EL 6. Raamprogrammi IST STREP projekt „VERTIGO – Sardsüsteemide projekteerimise platvormi verifitseerimine ja valideerimine" (2006-2008), mille vastutavaks täitjaks oli **J. Raik**. Projekti tulemusena töötati välja uued efektiivsemad meetodid sardsüsteemide dünaamiliseks verifitseerimiseks, mis võimaldavad tõsta verifitseerimise kiirust 50 % ning suurendada täpsust 15% võrreldes seniste kommertslahendustega. Projekti tulemused on rakendatavad sardsüsteemide tootjate poolt, kes saavad kasutada neid uusi meetodeid uute riistvara-platvormide väljatöötamisel

Oluliseks sündmuseks arvutitehnika instituudis oli ka rahastamise saamine uuele kolmeaastasele EL 7. Raamprogrammi REGPOT skeemi projektile „CREDES – Centre of Research Excellence in Dependable Embedded Systems", kus pääseti ligi 500 konkurendi hulgas esimese 15 hulka maksimaalse hindega 100 punkti 100 võimalikust. Projekt algas 1. märtsil 2009 ning selle tulemusena investeeritakse *ca* 1 miljon eurot töökindlate süsteemide uurimistemaatikasse.

Esimesel tööaastal saadud tulemusi. Töötati välja uus algoritmiline kontseptsioon, meetod ja tarkvara-tööriist rikete simuleerimiseks keerukates digitaalskeemides. Meetod võimaldab suurendada simuleerimiskiirust kuni 10 korda võrreldes laialt levinud professionaalsete disainisüsteemidega Synopsys ja Mentor Graphics. Meetodit on võimalik kasutada digitaal-süsteemide verifitseerimisel, rikete ja disainivigade diagnoosimisel ning testide kvaliteedi ja veakindluse efektiivsuse hindamisel.

Loodi uus laiendatud kõrgtaseme otsustusdiagrammide mudel ajalise faktori täpsemaks arvestamiseks digitaalsüsteemide verifitseerimisel. Mudel võimaldas luua uued senistest efektiivsemad algoritmid digitaal-süsteemide verifitseerimiseks ja testprogrammide automaatseks genereerimiseks kõrgtasandil.

Rahvusvaheline koostöö. Keskuse töö paremaks koordineerimiseks Euroopas läbiviidavate tippuuringutega loodi CEBE rahvusvaheline nõukoda kõrge mainega euroopa teadlastest, kes olid valitud vastavalt CEBE kolmele suunale. Nõukoja juhiks oli prof. **Manfred Glesner** Saksamaalt, kes on elektroonika eriteadlane. Elektroonika ja biomeditsiini suunda esindasid professorid **Jürgen Bommer** ja **Uwe Pliquett** Saksamaalt. **Marta Rencz** Ungarist on elektroonik ja prof. **Jaakko Malmivuo** Soomest on biomeditsiinitehnika eriteadlane. Elektroonika ja diagnostika valdkonna spetsiaalsusega on **Rainer Dorsch** IBM-ist Saksamaalt, **Ahmed Jerraya** ja prof. **Bernard Courtois** Saksamaalt ning **Bashir M. Al-Hashimi** Inglismaalt.

Esimene nõuandva kogu kokkusaamine on kavandatud 29.-30. aprillil 2009 ühise seminarina, kus ettekannetega esinevad nii rahvusvahelise nõukoja liikmed kui ka CEBE teadlased ja doktorandid. Üritus on avatud kõigile ning täpsem informatsioon ürituse kohta on leitav CEBE veebilehtedel aadressil cebe.ttu.ee

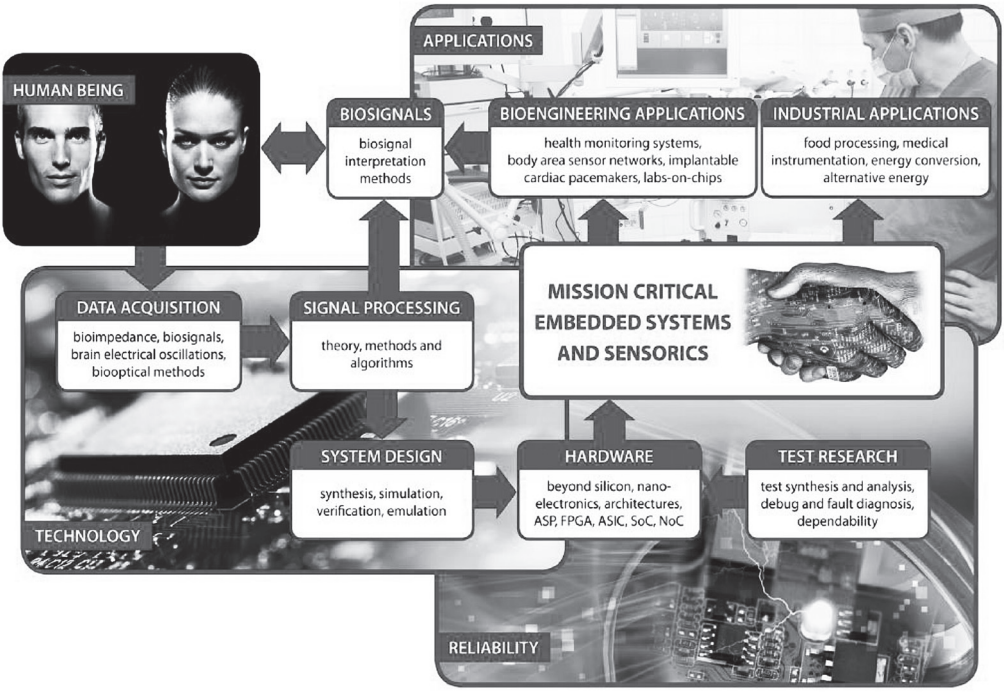
Kolm piiririiki, suhtlusmeediumiks – elekter

Uudiskiri Nr 2 – 2010

Alljärgnev on CEBE tegevuse tutvustus tema teisel tööaastal, mis on ära toodud ka TTÜ aastaraamatus 2010, aga samuti CEBE Uudiskirjas nr. 2.

CEBE – anno *2010*[5]

Juba kolmandat aastat tegutseb meie Rauakoolis üks kooslus, mis pole ei teaduskond, instituut ega õppetool, kus aga ometi uuritakse teadusi ning jagatakse tudengitele teadmisi. Põrandaalune üritus see ei ole. Jutt on ühest Eesti seitsmest teaduse tippkeskusest CEBE (*Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering*), mis asub laiali mööda kampust – raamatukogu kõrval Tehnomeedikumis (TM), peamaja II korpuse Johann Seebecki nimelises elektroonika instituudis (ELIN) ja Raja tänaval asuvas IT-maja arvutitehnika instituudis (ATI).



See on keskus, kus uuritakse biosignaale, elektroonikat ja digitaalsüsteeme – need on iseseisvad riigid, kus räägitakse eri keeli, kus teadusruumid ja kultuuritraditsioonid on erinevad. Seda ahvatlevamad on aga piiriületused, kus iga seiklus uude ja võõrasse keskkonda toob kaasa eksootikat ning põnevust. CEBE – on ühendriik, kus orgaaniliselt põimuvad elus- ja tehisloodus. Biosignaalide, transistoride ja bittide keeled on küll erinevad, kuid osariikidel on ühisvaluuta – elekter, mis vahendab inimrakkude ja -kudede krüpteeritud põnevuslugusid ühtses meedias.

[5] R. Ubar. Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE. TTÜ aastaraamat 2010. TTÜ kirjastus, 2011, lk. 29-40.

CEBE unikaalsus põhineb analüüsi ja sünteesi sünergial. Meditsiin analüüsib elavat loodust, kuid vajab selleks tehnilisi seadmeid. Et elusloodust analüüsida, tuleb niisiis sünteesida tehisloodust. Nii me töötamegi keskuses: Tehnomeedikum analüüsib ja interpreteerib inimese biosignaalidesse peidetud sisu, elektroonikud analüüsivad signaalide käitumist ja sünteesivad selle algoritmilisse kõnepruuki, arvutitehnika instituudi disainerid analüüsivad algoritme ja sünteesivad neist digitaalarhitektuure, mis aitavad välja arvutada biosignaalide mõistukõne saladusi.

CEBE tegevus on suunatud inimesele ja tema missioon on elukvaliteedi parandamine tehnoloogilise innovatsiooni abil.

Visioonist ja kompassist

Tehismaailm meie ümber toetub arvutitele. Aga kõigest 2% kogu maailma arvutitest on „universaalsed" – desktopid ja laptopid. Kõik ülejäänud on rakendusarvutid, mis on kuhugi ära peidetud, mida me harilikult ei näe, mis mõõdavad mingeid signaale – rõhku, kiirust, temperatuuri, analüüsivad mõõtetulemusi ja reageerivad signaalidele tagasi. Need on sardsüsteemid. Reaalajas toimuva töö tõttu ei tohi nad arvutamisel hilineda – õige tulemus, aga hilja, on vale tulemus. Nad on pisikesed, mobiilsed ja erinõudeks on energia kokkuhoid.

Keskuse visiooni on missioonikriitiliste sardsüsteemide loomine, madala energiatarbega veakindlate eriprotsessorite ning sensorvõrkude projekteerimine, nende rakendamine infohõiveks ja -töötlemiseks biomeditsiinitehnika valdkonnas ning uute meetodite, algoritmide ja tööriistade väljatöötamine süsteemide disaini automatiseerimiseks. See on kiiresti arenev valdkond, mis põhineb suurt lisandväärtust ning tootlikkuse kasvu pakkuvatel tehnoloogiatel ja on seetõttu üks prioriteetsemaid T&A suundi Eestis.

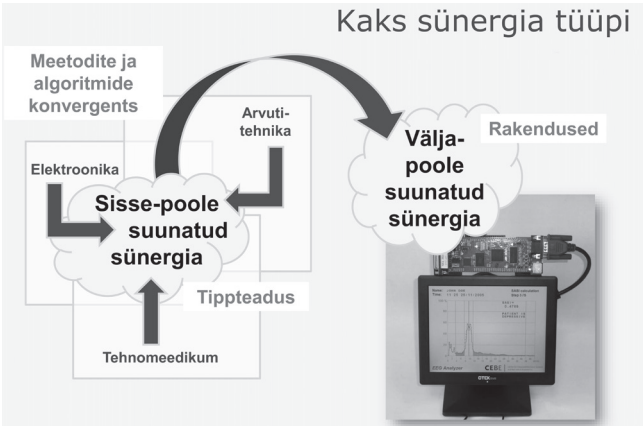
Keskuse partnerid on üksteisest sõltumatult juba aastaid viljakalt tegutsenud omaenda konkreetsetes valdkondades ja saanud märkimisväärseid teadustulemusi. Samas tahaks ühiskond oma teadlastelt midagi rohkemat kui ainult publikatsioone. Et näiteks sünniks praktiline rakendus biomeditsiinitehnikas, on lisaks biosignaalidest arusaamise oskusele vaja ka tarkust signaalitöötlemiseks ja teadmisi selleks vajaliku aparatuuri ning tarkvara loomiseks. Eeskätt just praktiliste rakendusteni jõudmiseks loodigi kõneall olev keskus, ühendati oma teadmised ja oskused eri valdkondadest ning käivitati interdistsiplinaarne koostöö.

Meeskond munsterdas end laevale ja laev on juba lahkunud reidilt ning künnab avamerd. Kaptenisillal tegutseb juhtkomitee, millesse kuuluvad struktuuriüksuste direktorid **Margus Kruus** (ATI), **Kalju Meigas** (TM) ja **Toomas Rang** (ELIN), uurimisgruppide juhid **Ivo Fridolin** (TM), **Mart Min** (ELIN) ja **Raimund Ubar** (ATI), CEBE teadussekretär **Gert Jervan** (ATI) ning „majandusjuht" **Alvar Kurrel** (ELIN). Kord kuus võtab juhtkomitee vastu otsuseid ja vajadusel muudab laeva kurssi.

Kord aastas tuleb keskusele külla 9-st Euroopa prominentsest teadlasest koosnev Rahvusvaheline Nõukoda, vaatab üle laeva logiraamatu ning aitab justeerida kompassi. Kõige esimesel kohtumisel, kui CEBE oli ennast esitlenud, küsis Nõukoda: „Te olete kolm tugevat meeskonda, aga miks te nimetate ennast keskuseks?" Sel hetkel meil veel tõepoolest puudus hästitempereeritud koostööplaan. Aga innustatuna sellisest „müksust", ilmus me logiraamatusse peagi oluline termin – „CEBE koostööprojektid".

Ilmakaartest kompassil

Oma kompetentside ja oskuste ühitamist koordineeritakse keskuses praegu, kolmandal tööaastal, seitsme koostööprojektiga, kus igas on kaasa haaratud mitu töörühma kõigi kolme partneri juurest. Projektide nimetused määravad seitse ilmakaart CEBE kompassil: (1) rakendus-spetsiifilised protsessorid signaalitöötluseks biomeditsiinis, (2) digitaalsüsteemide test ja verifitseerimine, (3) optilised- ja bioimpedantsmeetodid kardiovaskulaarses diagnostikas, (4) EEG analüsaator aju seisundi hindamiseks, (5) neeruasendusravi häiretevaba monitooring, (6) elektroonikasüsteemide testimine ja (7) pooljuhtseadiste uurimine. Iga koostööpartner nendes projektides arendab teooriat ning eksperimenteerib omas valdkonnas, aga rakendab uurimistulemusi ühises koostööprotsessis mingi konkreetse eesmärgi saavutamiseks. Kaudseks stiimuliks on sünergia saavutamine, kus kaks pluss kaks on kindlasti enam kui neli.



CEBE avastas endas kahte tüüpi sünergeetilist ressurssi – sissepoole koonduvat ja väljapoole avarduvat. „Sisesünergia“ tähendab läbimurret mingis ühe partneri konkreetses valdkonnas koostöö toel teise partneriga mingist teisest valdkonnast. Niisuguseks näiteks on projektis (5) Tehnomeedikumi poolt väljatöötatud meetod dialüüsravi doosi hindamiseks optilisel meetodil reaalajas ilma vereproove võtmata. Probleemiks osutusid selle meetodi puhul aga häired optiliste signaalide töötlemisel. Koostöös arvutitehnika instituudiga õnnestus üllatuslikult rakendada ühte elektroonikasüsteemide aparatuuri diagnostikas kasutatavat ideed bioprotsesside analüüsil, mille tulemusena saavutati mitte üksnes häirete mahasurumine, vaid loodi ka võimalus dialüüsiprotsesside kulgemise täpsemaks prognoosimiseks.

„Välissünergia“ all mõtleme üksteise kompetentside ühendamist Tehnomeedikumi teoreetiliste tulemuste praktikasse viimiseks konkreetsete rakendustena biomeditsiinitehniliste seadmete väljatöötamise teel, kaasates Elektroonikainstituudi kompetentsi signaalitöötluses ja Arvutitehnika instituudi teadmisi eriprotsessorite disaini, verifitseerimise ja testimise alal.

Allpool järgnev on lühiülevaade teoksil olevatest projektidest, nende eesmärkidest, probleemide kirjeldustest ja juba saavutatud tulemustest.

Algoritmidest arhitektuurideni

Rakendusspetsiifiliste protsessorite projekti eesmärgiks on bioimpedantsi mõõtmisel vajaliku reaalajas töötava andmete kogumis- ja filtreerimisprotsessorite ning sobivate signaaligeneraatorite loomine. Bioimpedantsi mõõtmiseks on vaja kasutada mitmeid mõõtepunkte ja väga kõrgeid töösagedusi. Sellest johtuv kõrge mõõtmissagedus esitab kõrgeid nõudeid signaalitöötlusele, mis vähemalt osaliselt tuleb teostada reaalajas ja kohapeal.

Probleemiks on signaalitöötlus-algoritmist lähtudes valida sobivaim tasakaal jõudluse ja ressursinõude vahel. Arvesse tuleb võtta ka piiranguid – mõõtmistäpsust, energiatarvet ja mobiilsustingimust (seade võib olla kantav).

Prof. **Mart Mini** (ELIN) juhtimisel on välja töötatud originaalsed meetodid ja signaalitöötlus-algoritmid dünaamiliste objektide omaduste kiireks analüüsiks laias sagedusribas elektrilise impedantsi mõõtmise kaudu. Projekti lähima eesmärgina tuleb välja selgitada sobivaim tasakaal eel- ja järeltöötluse keerukuse ja paindlikkuse vahel.

Koostöös ATI teaduritega prof. **Peeter Ellervee** juhtimisel on väljatöötatud impedantsi mõõtmisel kasutatavate signaalitöötlusalgoritmide mitmeid realisatsioone efektiivsete eriprotsessorite näol, millised minimaalse tarbitava energiakulu juures tagavad arvutusprotsessi maksimaalse kiiruse. On loodud konfigureeritav eelprotsessor bioimpedantsi mõõtmiseks, mis lubab kasutada pseudojuhuslikku võendamist (loe: mõõtmist) vähendamaks nn. alias-efekti (ehk üldisemalt moonutusi). Välja on valitud ühine platvorm prototüüpide realiseerimiseks (Altium NanoBoard). Koostöös teiste projektidega on valminud signaalitöötluses vajalike virtuaalkomponentide esimesed versioonid.

Projekti panusena rahvusvahelisse teadusesse tuleks lugeda metoodikat ja tarkvaravahendeid rakendus-spetsiifiliste signaalitöötlus-protsessorite projekteerimiseks, mis lähtub mitte ainult signaalitöötlus-algoritmist vaid ka jõudlusest, täpsusest, energiatarbest, mobiilsusest.

Depressiooni matemaatika

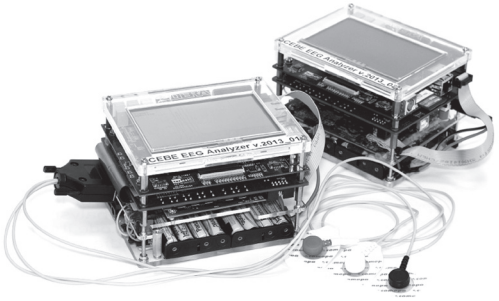
Aju seisundi hindamise projekt põhineb prof. **Hiie Hinrikuse** (TM) juhtimisel ajusignaalide uurimisvaldkonnas välja töötatud spektraalse asümmeetria indeksi (SASI) meetodil, mida saab kasutada depressiooni avastamiseks. Meetod on realiseeritud vanemteadur **Maksim Jenihhini** (ATI) juhtimisel valmistatud portatiivse EEG analüsaatori prototüübina.

Kiirenev elutempo ühiskonnas ja elanikkonna vananemine toovad kaasa stressi suurenemise ja aju vaimsete ning funktsionaalsete häirete kasvu. Nii kannatab NIH (*National Institute of Health*, USA) andmeil ainuüksi sügava depressiooni all umbes 340 miljonit inimest (5% maailma elanikkonnast) ja see arv on viimase 10 aastaga 40 korda (!) suurenenud. Nii aju degeneratiivsed kui vaimsed häired avastatakse reeglina hilja, kui aset leidnud muutused on juba patsiendi elu kvaliteeti oluliselt kahjustanud. Ravi sel juhul on pikaajaline ja tihti vähetulemuslik. Ajuhäirete varase avastamise võimalus tervise regulaarsel kontrollil, näiteks perearsti juures, praktiliselt puudub.

Aju funktsionaalseteks uuringuteks on kaasajal olemas vaid suhteliselt kaudsed meetodid. Pildidiagnostika meetodid nagu funktsionaalne magnetresonantskuvamine (fMRI), positronemissioontomograafia (PET) ja mõned teised annavad teavet ainevahetusest, vere või kindlate molekulide suhtelisest jaotusest ajus. Need meetodid on kallid ja kasutatavad vaid tõsiste meditsiiniliste näidustuste puhul. Elektro- ja magnetentsefalograafia (EEG ja MEG) registreerivad aju elektri- või magnetvälju, mis kirjeldavad aju bioelektromagnetilist aktiivsust ja infotöötlust ajus. Kõige kättesaadavam nii lihtsuselt kui hinna poolest on EEG, mis kindlustab mitte halvema sagedusliku eraldusvõime kui MEG, kuigi halvema ruumilise eristuse MEG ja pildidiagnostika meetoditega võrreldes. Kuna infotöötlus ajus põhineb peamiselt elektrilistel protsessidel ja aju seisundi muutused ei ole seotud ainult üksikute kolletega, on just EEG sobiv aju töövõime hindamiseks tervise regulaarsel kontrollimisel.

Vaimse häire poolt tekitatud EEG muutuste uuringuid alustati koostöös CEBE ja Põhja-Eesti Regionaalhaigla vahel. Läbiviidud uuringute tulemusena jõuti järeldusele, et depressioon tingib muutusi EEG

spektraalses tasakaalus, mida võib iseloomustada nn. spektraalse asümmeetria indeksiga (SASI) aju seisundi hindamiseks. Väljatöötatud SASI-põhine meetod võimaldab indeksi arvulise väärtuse järgi eristada terveid inimesi depressiooni all kannatatavatest.



EEG analüsaator

Projekti käigus realiseeriti SASI arvutamise algoritm spetsiaalse signaalprotsessorina FPGA tehnoloogia baasil. Protsessor tagab väljatöötatavas EEG analüsaatoris SASI arvutuse reaalajas. Meetodi eeliseks rakendatavuse seisukohalt on võimalus kasutada ainult ühte EEG kanalit.

Täiendavad uuringud ning teadaolevad suundumused lubavad oodata, et väljatöötatud SASI indeks võib olla kasutatav ka teiste, depressioonist erinevate aju häirete puhul. Kavas on edasine SASI modifitseerimine mitmete ajuhäirete leidmiseks. Portatiivne ja lihtsalt käsitletav EEG analüsaator võib leida kasutamist aju seisundi hindamisel nii kõrge vastutusastmega töötajate (politsei, päästetöötajad, militaartöötajad) puhul kui ka elanikkonna regulaarsel tervisekontrollil.

Dialüüsravi vereproovideta

Neeruasendusravi häirevaba monitooringu projektile pani aluse prof. **Ivo Fridolini** juhtimisel väljatöötatud dialüüsravi doosi hindamise reaalajas toimuv optiline meetod, mis ei vaja vereproovide võtmist. Projekti eesmärgiks on välja töötada signaalitöötlusalgoritmid, mis võimaldaksid maksimaalselt stabiilset ja häirevaba dialüüsravi doosi hinnangut ravi käigus optilise monitori abil. Tulemused peaksid olema võrreldavad traditsiooniliste vereproovide baasil leitud doosi väärtustega.

Optilise dialüüsi monitooring on seotud mitmesuguste mõõtehäiretega, mille põhjusteks võivad olla õhumullid mõõtesüsteemis, verevoolu ja dialüsaadi voolu kiiruse muutumine, fistula ebaefektiivne funktsioneerimine jne.

Häiretest vabanemiseks on koostöös ATI-ga välja töötatud algoritmid, mis detekteerivad, arvestavad ja parandavad reaalajas mõõdetud signaali mittesoovitavatest kõikumistest tingitud hälbeid. Selle tulemusena on dialüüsravi doosi hindamine dialüüsravi käigus optilise monitori abil stabiilsem ja häirekindlam.

Kahe uurimisrühma koostööna saavutatud huvitav ja ootamatu tulemus seisneb omapärases sünergias, kus elusorganismis toimuvate protsesside diagnoosiks, ehk siis dialüüsiprotsessi jooksva info analüüsiks kasutatavate algoritmide väljatöötamisel võeti aluseks hoopis teises valdkonnas – tehniliste süsteemide riistvara diagnostikas kasutatavaid diagnostika kontseptsioone.

Uued meetodid tagavad stabiilse ja häirekindla reaalajas toimuva monitooringu, võimaldades pidevat dialüüsi adekvaatsuse näitajate määramist igal patsiendil üksnes dialüsaadi põhjal, ilma vereanalüüside võtmiseta, neeruasendusravi kvaliteedi hindamiseks. Kokkuvõttes aitab see parandada raviteenuse kuluefektiivsust. Meetodi rakendamine võimaldab haigla meditsiinipersonalil otsustada, kas dialüüsi efektiivsus vastab patsiendi kliinilisele seisundile ja neeruasendusravi nõuetele panustades personaalse raviteenuse arengusse.

Legoklotsidest tehisintelligents

Elektroonika trükkplaatide testimise projekti eesmärgiks on leida oma konkreetne nišš ja efektiivselt osaleda paradigmavahetuses, kus senine väliste testsüsteemide kasutamine asendub süsteemide isetestimisega. Elektroonikaplaatide testprogramme koostatakse traditsiooniliselt käsitsi. CEBE-s on aga loomisel metoodika ja tarkvara, mis esmakordselt võimaldab seda tööd automatiseerida ja mis oleks äärmiselt vajalik lahendus elektroonikatööstuses. Nimetatud uurimistöö toimub koostöös firmaga Göpel Electronic GmbH Saksamaal, ühe maailma tuntuima ettevõttega antud valdkonnas.

Elektroonika trükkplaatide valmistamisega kaasnevad tüüpiliselt montaaživead ja rikked komponentide ühendustel. Samas on välised testimisvahendid väga kallid ja amortiseeruvad tehnoloogia ülikiire arengu tõttu kiiresti. Seetõttu on üha rohkem levimas süsteemide nn. isetestimise põhimõte nii mikrokiipides kui ka montaažiplaatidel, mida soodustab mikroprotsessorite või -kontrollerite olemasolu testitavas objektis, aga samuti ka FPGA tehnoloogia rekonfigureeritavuse võimalused. Keerukate paljukihiliste plaatide kasutamine ja montaažitiheduse kasv suurendavad küll kasutatavaid funktsionaalseid võimalusi, aga teiselt poolt mõjuvad negatiivselt kaasaegsete elektroonikasüsteemide töökindlusele ja raskendavad testimist. Elektroonikatööstus on astumas uude ajastusse, kus senised testimismeetodid, mis põhinevad staatilisel tehnoloogial (nt. Boundary Scan standard), on kaotamas oma võimekust. Samas puuduvad täna nende asendamiseks alternatiivid

CEBE-s läbiviidava töö teoreetiliseks aluseks on kõrgtaseme otsustusdiagrammide teooria arendamine ja kasutamine elektroonikaplaatide testide programmeerimise üsna keeruka intellektuaalse protsessi automatiseerimiseks. Vanemteadur Artur Jutmani ja allakirjutanu juhtimisel on väljatöötamisel nn. „legoklotsidel" põhinev uudne testprogrammide sünteesi kontseptsioon, kus tüüpiline testprogramm struktureeritakse arhiveeritavateks ja parametriseeritavateks šabloonideks (nn. legoklotsideks) ning automaatne testide generaator sünteesib šabloonidest lõpliku testprogrammi, mis kohandatakse automaatselt konkreetse plaadi ja konkreetsete testimiseesmärkidega seatud tingimustele. Uut testide sünteesi metodoloogiat rakendatakse CEBE-s väljatöötatavate sardsüsteemide testimisel.

Kuna elektroonika trükkplaatide testprogrammide koostamine on valdkond, mida seni pole õnnestunud automatiseerida, siis on käesolev projekt äärmiselt aktuaalne nii teaduslikus kui ka praktilises mõttes. Kuna käsitsitöö on aeglane ja keerukate süsteemide puhul ka vigade rohke, siis testimisele kuluva aja märgatav vähendamine testide programmeerimise automatiseerimise abil võimaldab elektroonikatoodete turule jõudmise kiirendamist (*time-to-market*) ehk siis olulist eelist tootja-ettevõttele konkureerivate firmade ees.

Numbreid CEBE-st

Keskuse eksisteerimise vältel on partnerid osalenud kokku 12 rahvusvahelises projektis. Hetkel koordineeritakse kahte FP7 europrojekti DIAMOND (**Jaan Raik**), kus partneriteks on tipptööstusfirmad IBM ja Ericsson, ning CREDES (**Gert Jervan**). Kolmandaks FP7 europrojektiks, kus CEBE osaleb, on SafeMetal. Käivitumas on projekt programmi EUREKA-EUROSTAR raames. CEBE on tihedas koostöös rohkem kui 15 firmaga Euroopas ja USAs, s.h. IBM, Ericsson, St.Jude Medical jt. ning 10 Eesti firma ja haiglaga. Südamestimulaatorite valdkonnas on CEBE uurijate poolt prof. **Mart Mini** juhtimisel

saadud tulemusi juurutamas firma St. Jude Medical Estonia. Koostöös Kardioloogia Instituudi polikliinikuga on südamehaiguste alastesse uuringutesse kaasatud 3000 patsienti aastas. Koostöös *spin-off* firmaga Testonica Lab Eestis ja Saksamaa firmaga Göpel on turule jõudnud kaks uut produkti trükkplaatide testi automatiseerimise vallas.

CEBE teadustulemusi on publitseeritud viimase kolme aasta jooksul rohkem kui 80-s ajakirjaartiklis ning 160-s konverentsi täisartiklis, valminud on kuus monograafiat. Tulemuste rakenduslikkust iseloomustab rohkem kui 15 avaldatud patenditaotlust või saadud patenti, mis annab kindluse innovatiivse koostöö jätkusuutlikkuse suhtes nii Eesti kui rahvusvahelise tööstusega. Keskuse uurimistöös osalevad edukalt doktorandid, kahe aasta jooksul on kaitstud 9 väitekirja.

Eriliselt väärib esile tõstmist Eesti tehnikateaduste tänavuse aastapreemia määramine CEBE ühele liidrile prof. **Mart Minile**, kes on esitatud ka Euroopa Parlamendi presidendi juhitava žürii poolt kolme nominendi hulka kategoorias „Research" aunimetuse „Euroopa Leiutaja 2011" saamiseks.

Keskuse eelarve on ühtlaselt kaetud kolme tuluallikaga: 30% EL struktuurifondidest, 31% europrojektidest ja 32% sihtfinantseerimisest. Uurimistöös osaleb 44 õppejõudu ja teadurit ning 56 doktoranti. Keskuse tegemisi kajastavad kord aastas ilmuv Uudiskiri ja koduleheküIg veebis http://cebe.ttu.ee.

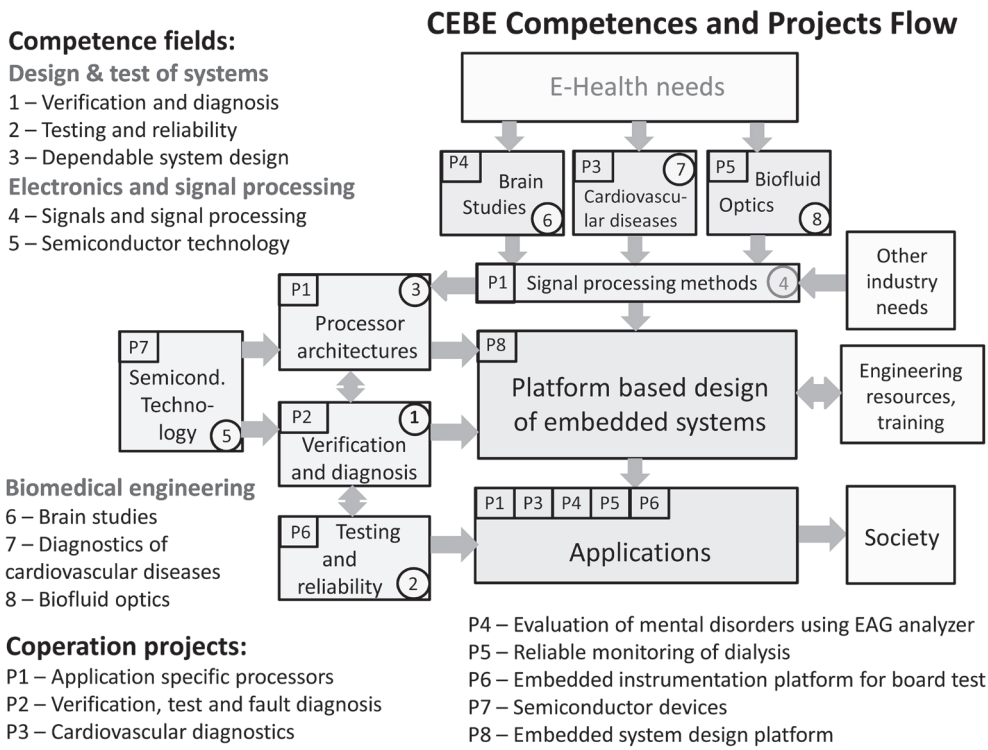
Kokkuvõtteks

CEBE finantseerimise aluseks on „Riikliku struktuurivahendite kasutamise strateegia 2007–2013" rakenduskava „Majanduskeskkonna arendamine" prioriteetse suuna „Eesti teadus- ja arendustegevuse konkurentsivõime tugevdamine teadusprogrammide ja kõrgkoolide ning teadusasutuste kaasajastamise kaudu" meede „Teaduse tippkeskuste arendamine".

Lähtudes nimetatud meetme otsestest ja kaudsetest eesmärkidest, on CEBE-le esitatud väljakutse suur: ühtaegu tuleb anda panus nii Eesti majanduskeskkonna arendamisse kui ka T&A konkurentsivõime tugevdamisse. Tuleb teenida kahte jumalat – olla väljapaistev nii tippteaduses kui ka tulemuste elluviimisel. Teiste sõnadega, tuleb ühtaegu konkureerida võrdsetel alustel nii looduseuurijatega, keda ei survesta teadustulemuste otsene rakendatavus, kui ka ettevõtlusega majandusturul, mis muretseb kasumi aga mitte teadusmahukuse pärast. Seega tipptulemus teaduses ei tähendagi tehnikateadlasele veel edu garantiid.

Hoolimata paradoksist on väljakutse vastu võetud. Enesekindluse annab CEBE-le meeskonna mitmekülgsus ning üksteise kompetentside vastastikune täiendamine tervikuks. Tähtis on see, et CEBE sihtobjektiks on inimene ja tema tervis. Sardsüsteemid on aga valdkond, kus Eesti võiks reaalselt rajada suurt lisandväärtust andva teadusmahuka tööstuse – meditsiinitehnika, targad elektroonikaseadmed, arvutustehnika leidlik rakendamine. Määravaks selles valdkonnas on teadmised ja seetõttu areneks siin kiiresti välja majanduse edukust kindlustav kahepoolne ühiskondlik tellimus – tööstuselt teadusmahukad probleemid teadlastele ja teaduselt rakendusküpsed ideed ning -lahendused tööstusele. Selle tellimuse kaasproduktiks oleksid ülikooliõppe läbinud ja samaaegselt tööstuse ja ülikoolivahelises tellimussuhtlemises küpsuse saavutanud noored insenerid.

Autor tänab käesoleva artikli heaks esitatud kaastöö eest oma kolleege keskusest. (**Raimund Ubar**, CEBE juht.)



CEBE koostööprojektid

Uudiskiri Nr 3 – 2011

Cebe koostöö rahvusvahelise nõukojaga

CEBE töö paremaks koordineerimiseks Euroopas läbiviidavate tippuuringutega loodi kohe keskuse asutamise algul rahvusvaheline nõuandev kogu (IAB – I*nternational Advisory Board*) 9 prominentsest Euroopa teadlasest.

Nõuandev kogu on oma täiskoosseisus meid külastanud Tallinnas kahel korral 2009. a. aprillis ja 2010. aasta septembris. Mõlemal korral viidi läbi CEBE tegemisi tutvustav konverents, mille raames toimusid ka IAB liikmete külalisloengud. Esimese koosoleku eesmärgiks oli IAB soovituste saamine CEBE kui teaduse tippkeskuse töö korraldamiseks. Mitmed IAB liikmed, kes ise olid samalaadsete tippkeskuste juhid, jagasid omapoolseid väärtuslikke kogemusi.

Viimane hiljutine koosviibimine kujunes omalaadseks aruandekoosolekuks, kus CEBE esitas ülevaate oma kahe eksisteerimise aasta jooksul tehtud tööst ja tulemustest. Eelnevalt oli IAB liikmetele välja saadetud CEBE mahukas tööaruanne. Pärast aruandega tutvumist, CEBE ettekannete ärakuulamist ja diskussioone, esitas IAB järgneva mõne nädala jooksul ka omapoolse kokkuvõtliku ja väga põhjaliku arvustuse CEBE senise töö ja tulemuslikkuse kohta. Arvustus oli positiivne, kus märgiti kiitvalt CEBE teadustulemusi partnerite eri valdkondades ja tõsteti eriti esile CEBE-s käivitunud koostööprojektide huvitavaid teemasid ning tulemuslikkust. IAB liikmetele imponeeris see, et projekte juhivad

enamuses just noored teadlased, mis tagab CEBE jätkukestvuse, ja see, et kogu teadustegevus on koordineeritud paljude Euroopa projektidega ning toimub tihedas rahvusvahelises koostöös. Kõrgelt hinnati CEBE koostööd maailma tipptööstusega, niisuguste firmadega nagu IBM, St. Jude Medical, National Semiconductors, Ericsson, Göpel jt. Nõuandva koja liikmete sooviks oli näha tulevikus uute *spin-off* firmade tekkimist CEBEs loodud teadustulemuste ellu viimiseks.

Projekt P1. Rakendus-spetsiifilised protsessorid signaalitöötluseks

Koostööprojekti P1 juht Peeter Ellervee

Projekti juht: **Peeter Ellervee** (Arvutitehnika instituut)
Osalevad partnerid: Põhitegevus toimub ATI disainigrupi (**M. Gorev, D. Mihhailov, V. Pesonen**) ja ELIN bioimpedantsi töögrupi (**P. Annus**, **M. Min**) koostöös. Lisaks toimub koostöö projektiga P2 (**J. Raik**) projekteeritava riistvara testi ja diagnostika alal ning projektiga ja P4 (**M. Jenihhin**) signaalitöötlus-moodulite projekteerimise alal.

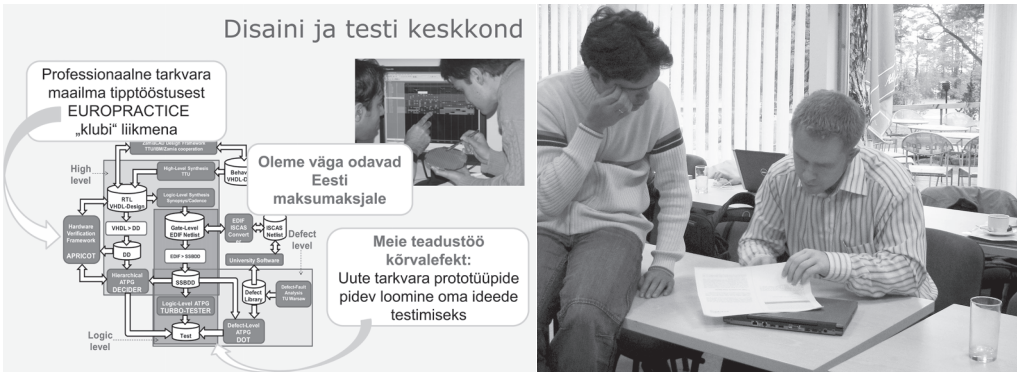
Eesmärk: Projekti eesmärgiks on bioimpedantsi mõõtmisel vajaliku reaalajas töötava andmete kogumis- ja filtreerimis-protsessorite ning sobivate signaaligeneraatorite loomine. Partnerite koostöö eesmärgiks on välja selgitada sobivaim tasakaal eel- ja järeltöötluse keerukuse ja paindlikkuse vahel. Kaugemaks eesmärgiks on metoodika ja vahendite loomine, mis võimaldaksid rakendus-spetsiifiliste signaalitöötlus-protsessorite projekteerimist.

Taust: Biomeditsiinis kasutatakse organite/kudede omaduste mõõtmiseks paljudel juhtudel mitmekanalilisi andmekogumis-seadmeid. Põhjuseks eelkõige see, et kasulik informatsioon on üldjuhul maskeeritud keha/organi üldtegevusena tekkivate muude signaalide poolt, mis konkreetse mõõtmise jaoks osutuvad müradeks. Näiteks võib tuua südametegevust iseloomustavate signaalidega kaasnevaid hingamistegevuse signaale.

Bioimpedantsi efektiivseks mõõtmiseks on vaja kasutada mitmeid mõõtepunkte (6-10) ja kõrgeid sagedusi (MHz-d). Sellest johtuv kõrge võendamissagedus esitab omakorda nõuded signaalitöötlusele, mis tuleb vähemalt osaliselt teostada reaalajas ja kohapeal. Probleemiks on signaalitöötlus-algoritmist lähtudes valida sobivaim tasakaal jõudluse ja ressurssinõudluse vahel. Arvesse tuleb võtta ka täiendavaid piiranguid – nt. täpsus, energiatarve, mobiilsus. Samuti tuleks analüüsida ja rakendada algoritmide ja protsessorite testmetoodikaid, kaasa arvatud reaalajas töötavaid isetestimisalgoritme, mis on projekti P2 temaatikaks.

Senised tulemused: On loodud konfigureeritav eel-protsessor bioimpedantsi mõõtmiseks, mis lubab kasutada pseudojuhuslikku võendamist vähendamaks nn. alias-efekti. Välja on valitud ühine platvorm prototüüpide realiseerimiseks (Altium NanoBoard). Koostöös teiste projektidega on valminud signaalitöötluses vajalike virtuaalkomponentide esimesed versioonid.

Tähtsus: Projekti panusena rahvusvahelisse teadusesse olekski eelkõige kaugem eesmärk – metoodika ja vahendid rakendus-spetsiifiliste signaalitöötlus-protsessorite projekteerimiseks, mis lähtub mitte ainult signaalitöötlus-algoritmist vaid ka nt. jõudlusest, täpsusest, energiatarbest, mobiilsusest.



Projekt P2 disaini ja testi keskkonna loomisest. Jaan Raik ja Maksim Jenihhin tööhoos.

Projekt P2. Digitaalsüsteemide test ja verifitseerimine

Projekti juhid: **Raimund Ubar** ja **Jaan Raik** (Arvutitehnika instituut)

Osalevad partnerid: Põhitegevus toimub ATI diagnostika uurimisgrupis (**R. Ubar**, **J. Raik**, **S. Devadze**, **S. Kostin**, **A. Tsepurov** jt). Katseobjektideks on CEBE koostööprojektis P1 arendatavad signaaliprotsessorite arhitektuurid, milliste rakendused töötatakse välja ATI disainigrupi (**P. Ellervee**) ja ELIN bioimpedantsi uurimisgrupi (**M. Min**) koostöös. Potentsiaalseteks partneriteks on ka teistes koostööprojektides P3 ja P4 osalevad kaastöötajad, kes arendavad välja mitmesuguseid teisi biomeditsiinitehnikas kasutatavaid sardsüsteeme. Lisaks toimub koostöö projektiga P6 (**A. Jutman**) projekteeritava riistavara testi ja diagnostika alal ning projektiga P4 (**M. Jenihhin**) signaalitöötlus-moodulite projekteerimise alal.

Eesmärk: Tõsta digitaalsüsteemide usaldatavust, vältida nende projekteerimisel vigu, avastada süsteemides rikkeid ja parandada veakindlust. Selleks töötatakse välja, ühelt poolt efektiivsemaid projekteerimisvahendeid – meetodeid, algoritme ja tarkvara sardsüsteemide verifitseerimiseks, silumiseks ja diagnostiliseks simuleerimiseks, ning teiselt poolt, kasutades nimetatud tööriistu, töötatakse välja uut tüüpi isetestivaid digitaalstruktuure kasutamiseks sardsüsteemides nende usaldatavuse ja veakindluse tõstmiseks.

Taust: Meditsiinis rakendatavate elektroonikaseadmete üheks põhiliseks nõudeks on usaldusväärsus ja veakindlus ehk võimalike vigade ning rikete automaatne avastamine nii projekteerimisel, valmistamisel kui ka ekspluatatsioonis. Üha levinenumaks kontseptsiooniks maailmas on saanud süsteemide isetestimine, mille puhul ei vajata keerukaid ja kalleid välisseadmeid, mis pealegi aeguvad kiiresti ega suuda juba aasta paari pärast enam adekvaatselt testida uusi projekteeritavaid süsteeme dünaamikas ehk normaalsel töökiirusel. Isetestiv süsteem võib oma töökorrasolekut kontrollida ise sõltumata ajast ning kohast. Probleemiks on siin aga testimise vajaliku kvaliteedi tagamine. Praegu kasutatavate isetestimise meetodite üldiseks puuduseks on ühelt poolt, rikete ebapiisav „kate" ja teiselt poolt, rikete „liigtestimine". Süsteemide keerukuse pideva kasvamise tingimustes on tekkinud suur mahajäämus ka projekteerimisvahendite, eeskätt simulaatorite skaleeruvuses ja ebapiisavas töökiiruses.

Projekteerimise toetamiseks on loodud palju vahendeid, mis võimaldavad projekteerimisvigu tuvastada, aga puuduvad vahendid vigade lokaliseerimiseks. Vigade avastamise ja parandamise ehk silumise maksumuseks kulub praegu teadaolevalt *ca* 45 % kogu kiibi projekteerimistsükli maksumusest. Silumisprotsessi automatiseerimine võimaldaks aga projekteerimiskulusid oluliselt kokku hoida.

Senised tulemused: Uut tüüpi loogikaskeemide rikete simulaator, mille töökiirus ületab ligi suurusjärgu võrra olemasolevaid analoogilisi professionaalseid tööriistu; uued

meetodid digitaalskeemide hübriidseks isetestimiseks ja testimise stsenaariumite optimeerimiseks; uus meetod projekteerimisvigade lokaliseerimiseks ja parandamiseks, kasutades kriitilise tee meetodit lokaliseerimisel ja funktsionaalsete mutatsioonide ideel põhinevat formaalset rikete parandamist.

Tähtsus: Uued meetodid ja algoritmid on panus rahvusvahelisse teadusse. Uued tööriistad võimaldavad tõsta projekteerimise kiirust ja toodete kvaliteeti, mis annab võimaluse konkureerida rahvusvahelisel disainitarkvara turul. Tänu sardsüsteemide projekteerimiskiiruse tõusule ja usaldatavuse kasvule, tõuseb konkurentsivõime ka uut tüüpi sardsüsteemide tootmisel ja rakendamisel.

Projekt P3. Optilised- ja bioimpedantsmeetodid kardiovaskulaarses diagnostikas

Projekti juht: **Kalju Meigas** (Tehnomeedikum)

Projektijuhid: vasakult Ivo Fridolin (P5), Kalju Meigas (P3) ja Toomas Rang (P7)tööhoos

Osalevad partnerid: Optiliste meetodite uurimise ja algoritmide väljatöötamisega tegeleb Tehnomeedikumi biomeditsiinitehnika instituut K. Meigase juhtimisel. Bioimpedantsil põhinevate elektriliste meetodite uurimise ja algoritmide väljatöötamisega tegeleb elektroonikainstituut **M. Mini** juhtimisel. Meditsiinilised uuringud patsientidel toimuvad Põhja Eesti Regionaalhaigla kardioloogia keskuses **M. Viigimaa** juhtimisel. Algoritmide realiseerimise ja protsessorite rakendamisega tegeleb ATI disainigrupp **P. Ellervee** juhtimisel ning diagnostika ning meetodite töökindlusega ATI diagnostikagrupp **J. Raigi** juhtimisel.

Eesmärk: Töötada välja uued efektiivsed ja kiiretoimelised meetodid ning algoritmid, et tõsta diagnoosi kvaliteeti kardioloogias. Väljatöötatavad meetodid põhinevad arterite parameetrite kombineeritud mõõtmistel kasutades paralleelselt nii optilist kui elektrilist aparatuuri.

Taust: Väljatöötatavad meetodid põhineksid arterite jäikuse mõõtmisel ja võimaldaksid diagnoosida väga varaseid arteri seina mehhaanilisi muutusi. Veresoonte seinte jäikus on iseloomulik enamikule kardioloogilistele probleemidele ja on ka üheks ateroskleroosi riskifaktoriks. Uuringud näitavad selgelt, et pulsilaine leviku kiiruse ja augmentatsiooniindeksi muutused viitavad ateroskleroosist tingitud veresoonte strukturaalsetele muutustele. Sellealane meditsiiniline uurimistöö on toimunud Margus Viigimaa juhendamisel Põhja Eesti Regionaalhaiglas ja on ette kantud mitmetel rahvusvahelistel konverentsidel. Tehniliselt on tegemist komplekssе ülesandega mis nõuab erinevate signaalitöötlusvahendite kasutamist optiliste ja elektriliste signaalide ahelates. Pannes oskuslikult kokku optilise ja elektrilise meetodi, oleks tõenäoliselt võimalik välja töötada kõrgetasemeline liitandur, millega saaks hinnata arterite mehhaanilisi parameetreid ja nende ajalist muutumist. Optilisel meetodil on võimalik monitoorida keskmist vererõhku, see põhineb meie pikaajalisel teadustööl. Südame löögimaht on lihtsamini leitav impedantsmeetodiga. Üldine probleem on kindlasti seotud signaalide müradega ja erinevad signaalitöötluse vahendid on möödapääsmatud. Täiustades sellist andurit infotehnoloogiliste lahendustega, oleks võimalik teostada patsientide pikaajalisi uuringuid koos uuringutulemuste automaatse salvestamise ja töötlusega.

Senised tulemused: On välja töötatud pulsilaine kiiruse ja kuju analüüsil põhinev optiline meetod vererõhu mitteinvasiivseks löögilt-löögile mõõtmiseks ning on ehitatud mõõtekompleks arterite erinevate parameetrite uurimiseks nii optilisel- kui ka bioimpedantsmeetodil. Mõõtekompleksi on kasutatud kõrgvererõhku ja diabeeti põdevate patsientide uurimiseks Põhja Eesti Regionaalhaiglas.

Tähtsus: Uued meetodid ja algoritmid on panus nii rahvusvahelisse teadusse kui tervishoidu. Need võimaldavad tõsta kardioloogilise meditsiiniteenuse kvaliteeti olukorras, kus südame-veresoonkonna haigused on üks põhilisi surmapõhjuseid nii Eestis kui ka Euroopas.

P4: EEG analüsaator aju seisundi hindamiseks

Projekti juht: **M. Jenihhin** (Arvutitehnika instituut)

Vasakult: Maksim Jenihhin, Maksim Gorev (seadistab analüsaatorit), Hiie Hinrikus (SASI indeksi autor) ja projekti hindaja Jaakko Malmivuo (Helsingi Aalto Ülikool)

Osalevad partnerid: Tehnomeedikumi aju-uuringute grupp (juht **H. Hinrikus**, osalejad **M. Bachmann**, **J. Lass**, **H. Lurje**, **A. Suhhova**, **V. Tuulik**), Arvutitehnika instituudi disaini grupp (juht **P. Ellervee**; osalejad **M. Gorev**, **V. Pesonen**, **D. Mihhailov**), Arvutitehnika instituudi diagnostika grupp (juht **J. Raik**, osalejad **M. Jenihhin**, **A. Chepurov**, **U. Repinski**)

Eesmärgid: (1) EEG algoritmide ja indikaatorite väljatöötamine ja täiustamine aju häirete hindamiseks; (2) signaalitöötluse algoritmide elektroonne realiseerimine spetsiaalsete protsessorite kujul; (3) eriotstarbelise portatiivse EEG analüsaatori väljatöötlus.

Taust: Tervise pidev kontroll ja tervisehäirete varane avastamine on olulise tähtsusega ravi tulemuslikkuse tagamisel. Kiirenev elutempo ühiskonnas ja elanikkonna vananemine toovad kaasa stressi suurenemise ja aju vaimsete ning funktsionaalsete häirete kasvu. Nii kannatab NIH (National Institute of Health, USA) andmeil ainuüksi sügava depressiooni all umbes 340 miljonit inimest (5% maailma elanikkonnast) ja see arv on viimase 10 aastaga 40 korda suurenenud. Nii aju degeneratiivsed kui vaimsed häired avastatakse reeglina hilja, kui aset leidnud muutused on juba patsiendi elu kvaliteeti oluliselt kahjustanud. Ravi sel juhul on pikaajaline ja tihti vähe tulemuslik. Ajuhäirete varase avastamise võimalus tervise regulaarsel kontrollil, näiteks perearsti juures, praktiliselt puudub.

EEG analüüsil põhinevate indikaatorite leidmine, mis võimaldavad eristada inimese poolt veel mittemärgatavaid häireid ajutegevuses, on seejuures väga oluline. Suhteliselt odava ja lihtsa testaparatuuriga registreeritavate indikaatorite olemasolu võimaldab teostada ajutegevuse laialdast kontrolli ja patsient vajadusel juba varakult suunata spetsiaalsetele uuringutele.

Vaimse häire poolt tekitatud EEG muutuste uuringuid alustati koostöös CEBE ja Põhja-Eesti Regionaalhaigla vahel. Läbiviidud uuringute tulemusena jõuti järeldusele, et depressioon tingib muutused EEG spektraalses tasakaalus. Parima tulemuse andis EEG spektri kõrgema osa, beetasageduse, võimsuse võrdlus spektri madalama osa, teetasageduse, võimsusega. Selline lähenemine nõuab spektri

keskmise sagedusriba, alfasageduse, mis antud juhul informatsiooni ei sisalda, välistamise analüüsist. Selle uuringu põhjal töötati välja spektraalse asümmeetria indeks (SASI) aju seisundi hindamiseks. SASI arvutamiseks leitakse kõigepealt EEG spektri maksimum, sellest kõrgemal ja madalamal valitakse erinevate laiustega ülemine ja alumine sagedusriba, millede võimsuste suhteline erinevus annab SASI väärtused. Tuletatud algoritmi järgi arvutatud SASI väärtused osutusid negatiivseks tervetel (madalam beeta, kõrgem teeta võimsus) ja positiivseks (kõrgem beeta, madalam teeta võimsus) depressiooni all kannatavatel uuritavatel. Väljatöötatud meetodi eeliseks on võimalus ainult üht EEG kanalit kasutada.

Senised tulemused: Tehnomeedikumis tehtud täiendavad uuringud näitavad, et muutused EEG spektri asümmeetrias toimuvad ka mikrolainekiirguse mõjul, mis tõstab beetasageduse võimsust. Kirjanduse andmeil toimub beetasageduse võimsuse tõus ka alkoholi mõjul. Tähelepanu defitsiidi ja hüperaktiivsuse häirele (ADHS) kaasneb teatavasti madal beeta võimsus. Need esialgsed tulemused ja teadaolevad suundumused lubavad oodata, et väljatöötatud SASI indeks võib olla kasutatav ka teiste, depressioonist erinevate aju häirete puhul. Kavas on edasine SASI modifitseerimine mitmete ajuhäirete leidmiseks. SASI algoritmi kohandamine teiste häirete eristamiseks vajab protsessori rekonfigureerimist.

Tähtsus: Väljatöötatav spetsiaalne väikesegabariidiline portatiivne ja lihtsalt käsitatav EEG analüsaator leiab kasutust aju seisundi hindamisel nii kõrge vastutusastmega töötajate (politsei, päästetöötajad, militaartöötajad jt) puhul kui ka elanikkonna regulaarsel tervisekontrollil.

Projekt P5. Neeruasendusravi häiretevaba monitooring

Projekti juht: **Ivo Fridolin** (Tehnomeedikum)

Osalevad partnerid: Koostöös osalevateks partneriteks on TM (**I. Fridolin**, **D. Karai**) ja ATI (**R. Ubar**, **S. Kostin**), kus TM rolliks on optilise dialüüsi adekvaatsuse monitori tarkvara uuendamine vastavalt uutele häirekindlatele algoritmidele ja nende riistvaraline katsetamine kliinilistes uuringutes, ATI ülesandeks on uute häirekindlate algoritmide väljatöötamine, testimine, verifitseerimine, optimeerimine ja juurutamine dialüüsravi doosi hindamiseks.

Eesmärk: Üldeesmärgiks on dialüüsravi doosi hindamine optilise meetodiga reaalajas ilma vereproove võtmata. Käimasoleva uurimistöö konkreetseks eesmärgiks on välja töötada signaalitöötlusalgoritmid, mis võimaldaksid maksimaalselt stabiilset ja häirevaba dialüüsravi doosi hinnangut dialüüsravi käigus optilise monitori abil. Tulemused peaksid olema võrreldavad traditsiooniliste vereproovide baasil leitud doosi väärtustega.

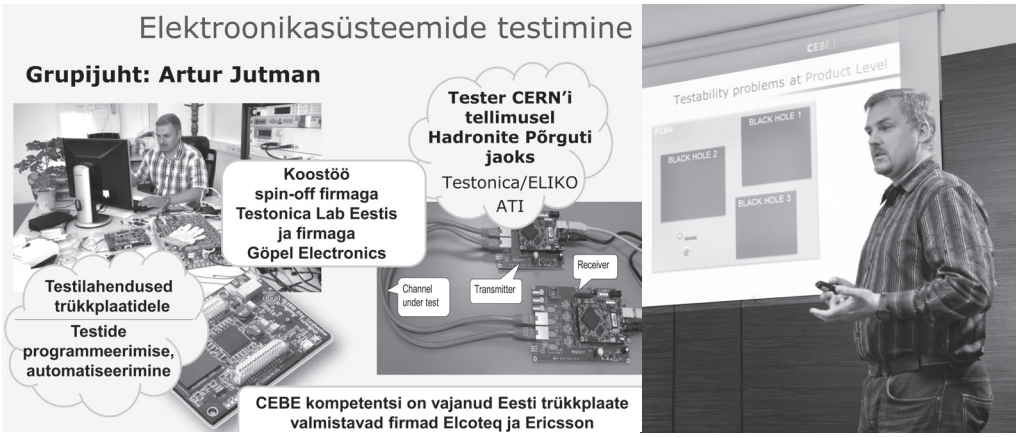
Taust: Seni on optilise dialüüsi adekvaatsuse monitooringu häirekindluse suurendamiseks kasutatud mediaanfiltrit, mis elimineerib äkilised muutused reaalajas mõõdetud signaalist kas tänu õhumullide esinemisele mõõtesüsteemis või muudel põhjustel. Kahjuks ei ole selline lähenemine piisavalt paindlik, kui tegemist on selliste parameetrite nagu verevoolu ja dialüsaadivoolu kiiruse muutusest või fistula ebaefektiivsest funktsioneerimisest tingitud häiretega.

Häiretest vabanemiseks on koostöös ATI-ga välja töötatud uued algoritmid, mis detekteerivad, arvestavad ja parandavad reaalajas mõõdetud signaali mittesoovitavatest kõikumistest tingitud hälbeid. Selle tulemusena on dialüüsravi doosi hindamine dialüüsravi käigus optilise monitori abil stabiilsem ja häirekindlam. Arendamisel on meetodid, mis võimaldavad (i) ennustada dialüüsravi doosi võimalikult vara peale ravisessiooni algust ning (ii) hinnata ureemiliste toksiinide elimineerimise kiirust lähtudes nn multikambrilise kehavedeliku jaotuse eeldusest.

Tähtsus: Kahe uurimisrühma koostööna juba saavutatud huvitav ja ootamatu tulemus seisneb selles, et dialüüsiprotsessi jooksva info analüüsiks kasutatavate algoritmide väljatöötamisel võeti aluseks hoopis teises valdkonnas – digitaalsüsteemide riistvara diagnostikas kasutatavaid diagnoosimeetodeid. Uued meetodid tagavad stabiilsema ja häirekindlama optilise reaalajas toimuva monitooringu, võimaldavad pidevat dialüüsi adekvaatsuse näitajate määramist igal patsiendil dialüsaadi põhjal ilma vereanalüüside võtmiseta ning lisavahendite ja -tööta neeruasendusravi kvaliteedi hindamiseks. See aitab parandada raviteenuse kuluefektiivsust ning tõsta rahvusvahelist teadustaset. Meetodi rakendamine võimaldab haigla meditsiinipersonalil otsustada, kas dialüüsi efektiivsus vastab patsiendi kliinilisele seisundile ja neeruasendusravi nõuetele panustades personaalse raviteenuse arengusse.

Projekt P6. Elektroonikasüsteemide testimine

Projekti juht: **Artur Jutman** (Arvutitehnika instituut)



Artur Jutman kannab ette oma töögrupi teadustulemusi Rahvusvahelisele nõukojale

Osalevad partnerid: Põhitegevus toimub ATI testimise alase uurimisgrupi (**S. Devadze**, **A. Tsertov**, **I. Aleksejev**) ja ELIN bioimpedantsi töögrupi (**P. Annus** ja **M. Min**) koostöös. Lisaks toimub koostöö projektiga P2 (**J. Raik**) projekteeritava riistavara testi ja diagnostika alal.

Eesmärk: Üldeesmärgiks on töötada välja vahendeid elektroonika trükkplaatide testimiseks ja rikete lokaliseerimiseks. Töö teoreetiliseks aluseks on kõrgtaseme otsustusdiagrammide teooria kasutamine testprogrammide sünteesi automatiseerimiseks. Väljatöötamisel on nn. „legoklotsidel" põhinev uudne testide sünteesi kontseptsioon, kus testprogrammid struktureeritakse arhiveeritavateks šabloonideks (legoklotsideks) ning automaatne testide generaator sünteesib nendest šabloonidest lõpliku testprogrammi, mis kohandatakse automaatselt konkreetse plaadi ja konkreetsete testimiseesmärkidega seatud tingimustele.

Taust: Elektroonika trükkplaatide valmistamisega kaasnevad üsnagi tüüpiliselt montaaživead ja rikked komponentide ühendustel. Samas on välised testimisvahendid väga kallid ja amortiseeruvad tehnoloogia ülikiire arengu tõttu kiiresti. Seetõttu on üha rohkem levimas ise-testimise põhimõtte kasutamine nii mikrokiipides kui ka montaažplaatidel, mida soodustavad mikroprotsessorite või -kontrolle-

rite olemasolu testitavas objektis, aga samuti ka FPGA tehnoloogia rekonfigureeritavuse võimalused. Keerukate paljukihiliste plaatide kasutamine ja montaažitiheduse kasv suurendavad küll kasutatavaid funktsionaalseid võimalusi, aga teiselt poolt mõjuvad negatiivselt kaasaegsete elektroonikasüsteemide töökindlusele ja raskendavad testimist. Elektroonikatööstus on astumas uude ajastusse, kus senised testimismeetodid, mis põhinevad staatilisel tehnoloogial (nt. Boundary Scan standard), on kaotamas oma võimekust. Samas puuduvad täna nende asendamiseks alternatiivid.

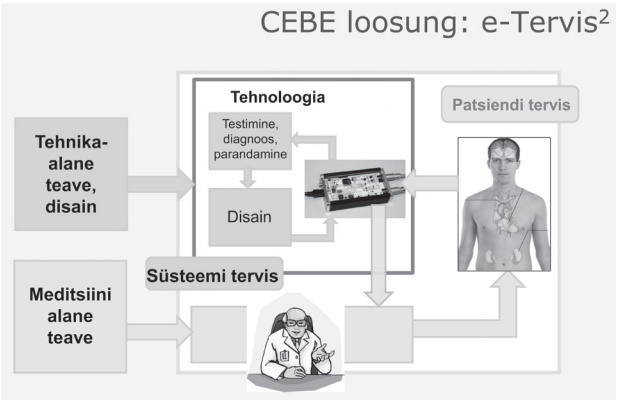
Tähtsus: Kuna elektroonika trükkplaatide testprogrammide koostamine on valdkond, mida seni pole õnnestunud automatiseerida, siis on käesolev projekt äärmiselt aktuaalne nii teaduslikus kui ka praktilises mõttes. Kuna käsitsitöö on aeglane ja keerukate süsteemide puhul ka vigaderohke, siis testimisele kuluva aja märgatav vähendamine testide programmeerimise automatiseerimise abil võimaldab elektroonikatoodete turule jõudmise kiirendamist ehk siis olulist eelist tootja-ettevõttele konkureerivate firmade ees.

CEBE missioon – tervishoid ruudus

Uudiskiri Nr 4 – 2012

Mida tähendab tervishoid ruudus?

Meie ees on CEBE järjekordne uudiskiri, mis märgib fakti, et peatselt on täis saamas juba neli aastat tippkeskuse CEBE käivitumisest. See on olnud aeg kolmele „sõbrale“ seiklus-rohkeks koosmatkamiseks radadeta kõnnumaal, kus on pidevalt olnud tarvis otsida õigeid asimuute saavutamaks üles seatud tähiseid ning ainult selleks, et peatumata ikka edasi minna.



CEBE missioon ja loosung on „Tervis Ruudus“

Matkates koos on need kolm sõpra TTÜst – Tehnomeedikum (TM), Thomas Johann Seebecki elektroonika instituut (TJS ELIN) ja Arvutitehnika instituut (ATI) – õppinud paremini üksteist tundma, eeskätt läbi oma interdistsiplinaarsete koostööprojektide, mis kokkuvõttes on aidanud leida ja määratleda oma „ühisettevõtte“ – tipp-keskuse CEBE – identiteeti. See pole olnud kerge ülesanne – otsida ühiselt uut teadmist niivõrd kaugetel erialadel nagu biomeditsiinitehnika, elektroonika ja arvutitehnika. Kui inseneerias on interdistsiplinaarne koostöö tänapäeval kategooriline imperatiiv, siis interdistsiplinaarset tippteadust on raskem määratleda.

Keskuse loosungiks ehk tähtsaimaks märksõnaks oleme tõstnud oma kõige üldisema eesmärgi „tõsta elukvaliteeti usaldusväärse tehnoloogia abil“. Ei saa vist vastu vaielda sellele, et kõige tähtsamaks elukvaliteedi signaaliks on meie tervis. Tehnoloogia usaldusväärsuse aga määrab samuti selle „tervis“, mida teaduslikus terminoloogias nimetatakse töökindluseks. Seega taotleb CEBE oma üldise eesmärgina „tervishoidu ruudus“, pidades silmas nii inimest kui teda ümbritsevat tehismaailma. Ühiste projektide ja uurimis-

probleemide kaudu oleme tänaseks leidnud CEBE identiteedi niisiis „tervishoid ruudus“ raamistikus. Meie ühiseks fookuseks on inimese tervis ja meditsiini toetamine tehnoloogia abil. Loome uut tüüpi aparatuuri uut tüüpi biosignaalide mõõtmiseks, mis annavad doktorile täpsemat infot patsiendi tervise kohta ja võimaldavad tal kiiremini paremaid meditsiinilisi otsuseid vastu võtta.

Patsient ja doktor on haaratud tagasisidega, milles üha olulisemaks lüliks on muutumas tehnoloogia – mõõte- ja diagnostikaaparatuur, sensorvõrgud ning madala energiatarbega, kiired, miniatuursed ja töökindlad eriprotsessorid signaalitöötluseks. Seda tagasisidega haaratud süsteemi – doktor – patsient – tehnoloogia – doktor võiksime nimetada esimese taseme „terviseringiks“.

Tehnoloogia usaldusväärsusest sõltub aga nii arsti poolt antud diagnoosi täpsus kui sellest tulenev patsiendi tervis. Selle usaldusväärsuse ehk „tehnoloogia tervise“ tagamiseks on vajalik omakorda luua veel üks teise taseme „tervisering“ ehk siis täiendav riist ja tarkvara, mis kontrollib, testib, diagnoosib ja vajadusel ka automaatselt parandab doktorit teenindavat aparatuuri tema töös.

Niisuguse kahetasemelise „terviseringi“ loomine ehk siis „tervishoid ruudus“ tagamine inimest teenindavates meditsiinisüsteemides (või ka muudes elukvaliteeti määravates „inimene – artefakt süsteemides“) tähendabki nii CEBE missiooni kui ka identiteeti.

See on töö, mis ei saa kunagi valmis nii nagu Tallinna linn, sest tehnoloogia areneb üha kiiremini, avades üha uusi võimalusi, kus vana vahetub pidevalt uuega. Suutes sellesse nišši ka majanduslikult pugeda teadusmahuka tööstuse loomise teel Eestis, annaks võimaluse kasutada CEBE potentsiaali uue teabe siirdeks üha kiirenevalt areneva meditsiinitehnika tootmisse.

CEBE rahvusvahelisest evalveerimistest

Hiljuti toimus Sihtasutuse Archimedese poolt organiseeritud kõigi Eesti teadustippkeskuste rahvusvaheline vahehindamine. Nii teadustöö olulisemad tulemused kui ka töö koordineerimine, juhtimine ning rahvusvaheline koostöö said CEBE puhul „väljapaistva“ hinnangu. Saavutatud koondhinne oli samuti „väljapaistev“, mis on samm edasi, võrreldes sellega, et tippkeskuste taotlemiskonkursil sai CEBE taotlus üldhindeks pisut tagasihoidlikuma „väga hea“.

Välisekspertide silm on tegelikult pidevalt CEBE tegemistel peal olnud. Meie töid jälgib ning jagab nõuandeid 9-st Euroopa tippteadlasest koosnev rahvusvaheline nõuandev kogu (RNK). Oleme sellele kogule perioodiliselt aru andnud oma tegevustest, plaanidest ja tulemustest, olgu selleks vormiks olnud siis ühine aruandluskoosolek, *workshop* või kirjalik aruandmine. Ka RNK on meid evalveerinud vahepeal, edastades terve rea nõuandeid. Teaduslik tase on keskuses hinnatud kõrgeks, märkused on olnud suunatud eeskätt sotsiaalmajandusliku mõju tugevdamisele, näiteks soovitades paremini CEBE väljatöötlusi kommertsialiseerida, tugevdades koostööd tööstussektoriga. Samas mõistsid eksperdid, et CEBE enda roll ei saa seisneda kommertstegevuses, vaid üksnes teabesiirdes tööstusele, millega CEBE on seni ka hästi hakkama saanud.

Keskuse vahehindamisel formuleerisid eksperdid kokkuvõtlikult järgmised olulised CEBE tulemused:

1. Uue platvormi loomine missioonikriitiliste sardsüsteemide disainiks, mis põhineb uutel verifitseerimis- ja testimismeetoditel. Platvorm hõlmab digitaalsüsteemide projekteerimiseks vajalikke uusi disainivahendeid, efektiivsemat verifitseerimise ja disainivigade automatiseeritud diagnoosi ning parandamise tarkvara ja kiiremaid uut tüüpi testimisalgoritme ja -meetodeid.
2. Biosignaalide sünteesi, genereerimise ja töötlemise uute põhimõtete rakendamine erinevate objektide (bioloogiliste, keemiliste, elektrokeemiliste, elektrit juhtivate materjalide ja pooljuhtide, organite, seadmete ja süsteemide) identifitseerimiseks ning hindamiseks, et saada soovitud informatsiooni kiiremini ja täpsemalt
3. Uuringud biomeditsiinitehnikas: aju seisundi hindamine, kardiovaskulaarne diagnostika ja neeruasendusravi.

Intelligentne trükkplaatide tester

Hiljuti kaitses oma väitekirja ATI doktorant **Anton Tšertov**, kes on üheks võtmeisikuks CEBE koostööprojektis P6 „Elektroonikasüsteemide testimine“. Selle projekti ja Tšertovi väitekirjas saadud tulemused kuuluvad elektroonika trükkplaatide testimise valdkonda.

Tänapäeval laialt levinud trükkplaatide testimise meetodid ei rahulda nõudmisi, mille seavad üles moodsad tehnoloogiad, kus üha oluliseks on saamas süsteemide kiiruslik testimine ja süsteemisisese funktsionaalse diagnoosi vajadus. Siit tuleneb tarve uue metodoloogilise lähenemise järele, kus mõlemad probleemid oleksid adresseeritud koos. Tööstuses on selline metodoloogia arendamisel, kuid kitsaskohaks on testprogrammide käsitsi koostamise keerukus ja suur maksumus. Enamikel juhtudel ületab testide programmeerimistöö reaalne maht aktsepteeritavad kulud sedavõrd, et osutub paratamatuks teha järeleandmisi testimise kvaliteedi osas.

CEBE-s on vanemteadur **Artur Jutmani** (ATI) juhtimisel koostöös firmaga Göpel Electronic GmbH Saksamaal ja Testonica Lab Eestis väljatöötatud uus „protsessorikeskssete elektroonika trükkplaatide testimise“ metodoloogia PETT ja vastav tarkvara, mis esmakordselt võimaldab trükkplaatide testprogrammide koostamist automatiseerida.

> Meetodi aluseks on uudne idee, kuidas üle kanda ja arvutada testandmeid mööda keerulisi signaalimarsruute trükkplaadil. Seejuures loodi uus matemaatika nende marsruutide modelleerimiseks toetudes teel asuvate komponentide ja nendevaheliste protokollide funktsionaalsetele ning struktuursetele matemaatilistele mudelitele.

Väljatöötatud automatiseerimiskeskkonna kasutamine vähendab testide projekteerimise töömahtu ja testide sünteesiks kuluvat aega, tagades samal ajal kõrge kvaliteediga PETT-programmide sünteesi.

Kuna trükkplaatide välised testimisvahendid on kallid ja amortiseeruvad kiiresti, siis on üha rohkem levimas süsteemide isetestimise põhimõte nii mikrokiipides kui ka montaažplaatidel. Selle trendiga kaasa minemiseks on Keskuses välja töötatud originaalsed instrumendid, mille lisamisel trükkplaatidele on võimalik tõsta nii testimiskiirust kui ka kvaliteeti. Neid instrumente kui tooteid levitatakse koostöös firmaga Göpel Electronics terves maailmas.

Suure panuse sellesse uurimistöösse on andnud teadur **Sergei Devadze**, doktorandid **Igor Aleksejev**, **Konstantin Šibin** jt.

Ajuhäirete arvutamisest

Kiirenev elutempo ja elanike vananemine toovad kaasa stressi suurenemise ja aju vaimsete ning funktsionaalsete häirete kasvu. Nii näiteks on depressiooni all kannatajate arv viimase 10 aastaga kasvanud 40 korda. Ajuhäirete varase avastamise võimalus praktiliselt puudub.

USA Patendi- ja Kaubamärgiamet (USPTO 20.04.2012) otsustas leiutisele „Method and device for determining depressive disorders by measuring bioelectromagnetic signals of the brain" (US2009054801) USA patendi välja anda. Patendi autoriteks on teadlased Tehnomeedikumist **Hiie Hinrikus**, **Maie Bachmann**, **Jaanus Lass**, **Anna Suhhova**, **Viiu Tuulik** ning Põhja-Eesti Regionaalhaiglast Kaire Aadamsoo ja Ülle Võhma. Patent on otseseks väljundiks CEBE tegevusest ja aluseks CEBE koostööprojektile P4 „EEG analüsaator aju-uuringuteks".

Patendi sisuks on vaimse häire (depressioon) olemasolu hindamine lähtudes EEG signaali analüüsist. Uudsus seisneb selles, et kui varem on depressiooni hindamiseks analüüsitud EEG ruumilisi parameetreid (asümmeetriat, kohherentsi jt), siis meie meetod lähtub sageduslike parameetrite analüüsist. Spektraalse asümmeetria indeks (SASI) arvutatakse võrreldes EEG sagedusspektri kõrgema ja madalama osa võimsuste tasakaalu spetsiaalselt valitud sagedusribades. SASI positiivne või negatiivne väärtus näitab häiret aju bioelektrilises aktiivsuses, mis on tingitud depressioonist. Kliinilises praktikas kasutatakse vaimsete häirete hindamiseks peamiselt psühholoogilisi teste, mis põhinevad subjektiivsel informatsioonil.

Uue meetodi väärtus seisneb võimaluses hinnata inimese vaimset seisundit lähtudes objektiivsest informatsioonist. Meetod on realiseeritud vanemteadur **Maksim Jenihhini** (ATI) juhtimisel valmistatud portatiivse EEG analüsaatorina, mis tagab SASI arvutuse reaalajas. Suure panuse sellesse töösse on andnud doktorandid **M. Gorev, D. Mihhailov ja V. Pesonen**.

Esialgsed uuringud SASI kasutatavusest laiemalt kui ainult depressiooni hindamiseks on andnud huvitavaid tulemusi. Nii võimaldab SASI avastada ka madala võimsusega moduleeritud mikrolainekiirguse mõju ajutegevusele, millele ei kaasne üldse subjektiivseid häireid. Iseloomulikke muutusi EEG signaalis, mis peaksid olema tuvastatavad SASI abil, on real juhtudel (alkoholi mõju, stress, ärevus jt) täheldatud teiste autorite poolt. Edasine tegevus on suunatud SASI kasutatavuse hindamisele erinevate haiguste ja vaimsete häirete olemasolu võimaluse tuvastamiseks varases staadiumis. Eesmärgiks on nõrkade, varjatud häirete avastamine ajutegevuses enne subjektiivsete sümptomite teket.

Portatiivne ja lihtsalt käsitletav EEG analüsaator on perspektiivne aju seisundi hindamisel nii kõrge vastutus-astmega töötajate (politsei, päästetöötajad, militaartöötajad) puhul kui ka elanikkonna regulaarsel tervisekontrollil.

Algoritmidest arhitektuurideni

Biomeditsiinis kasutatakse organite ja kudede omaduste mõõtmiseks biosignaale. Kasulik info on üldjuhul maskeeritud keha või organi muude signaalide poolt, mis mõõtmise aspektist tähendab müra. Näiteks südametegevuse signaalide mõõtmisel on müraks hingamistegevusest tulenevad signaalid. Bioimpedants annab signaali, mille mõõtmisel õnnestub vältida kõrvalmüra. Meetodi olemuseks on kudede elektrilise takistuse mõõtmine erinevatel sagedustel, saamaks teavet nii rakkude kui ka rakkudevahelise vedeliku seisukorra kohta, mis omakorda lubab hinnata erinevaid talitusi – südame tööd, vere seisundit, lihaste jt kudede seisundit. Vajalik kõrge mõõtmissagedus aga esitab suuri nõudeid reaalajas toimuvale signaalitöötlusele.

Prof. **Mart Mini** (TJS ELIN) juhtimisel on välja töötatud meetodid ja signaalitöötlusalgoritmid dünaamiliste objektide omaduste kiiranalüüsiks laias sagedusribas bioimpedantsi mõõtmise kaudu. Sellisteks objektideks oleksid rakud ja rakukultuurid kiire läbivusega miniatüürsetes kiiplaborites, töötav südamelihas, pulseeruv kardiovaskulaarsüsteem, hingavad kopsud. Impedants-spektroskoopiat on rakendatud nii meditsiinis, nt ateroskleroosi varajasel avastamisel, kui ka tehnilises diagnostikas, nt euromüntide metallisulamite ehtsuse määramisel (**Olev Märtens**).

TJS ELIN-i ja ATI teadlaste koostöös prof. **Peeter Ellervee** (ATI) juhtimisel on väljatöötatud impedantsi mõõtmisel kasutatavate signaalitöötlusalgoritmide mitmeid realisatsioone efektiivsete eriprotsessorite näol, millised minimaalse energiakulu juures tagavad arvutuste maksimaalse kiiruse. On loodud eelprotsessor bioimpedantsi mõõtmiseks, mis lubab kasutada uut tüüpi pseudojuhusliku mõõtmise meetodit vähendamaks moonutusi. On valitud ühine platvorm prototüüpide realiseerimiseks ning valminud signaali-töötluses vajalike virtuaalkomponentide esimesed versioonid. Analüsaatori valmistasid doktorandid **Maksim Gorev** ja **Vadim Pesonen**.

Projekti panusena rahvusvahelisse teadusesse tuleks lugeda metoodikat ja tarkvaravahendeid rakendus-spetsiifiliste signaalitöötlusprotsessorite projekteerimiseks, kus kriteeriumiteks on jõudlus, täpsus, energiatarve, mobiilsus, hind.

CEBE doktoritöid

Alljärgnev on ülevaade aastatel 2008 – 2016 Tippkeskuse CEBE raames ATI-s kaitstud 17 doktoritööst. Kokku kaitsti CEBE perioodil kõigi kolme partneri juures 31 doktoritööd.

Simulatsioonipõhine riistvara verifitseerimine kõrgtaseme otsustusdiagrammidega

Maksim Jenihhin (ATI, 2008). Doktoritöö juhendajad: prof. **Jaan Raik**, prof. **Raimund Ubar**.

Maksim Jenihhin

Töö on suunatud simuleerimisel põhineva digitaalriistvara verifitseerimise kiiruse ja täpsuse tõstmisele. Töös on pakutud uued lähenemised väidete kontrolli ja verifitseerimise katte mõõtmise jaoks, mis rakendavad kõrgtaseme otsustusdiagrammide (KTOD) eeliseid skeemide esitamisel. On esitatud uudne meetod väidete kontrolliks, mis pakub välja temporaalse laienduse olemasolevale KTOD mudelile, mis on mõeldud Property Specification Language (PSL) keeles esitatud omaduste toetamiseks. On esitatud ka metodoloogia PSL omaduste vahetuks konverteerimiseks KTOD mudelisse ja KTOD simulaatori edasiarendus väidete kontrolli toetamiseks. On väljatöötatud meetod verifitseerimise struktuurse katte KTOD mudelil põhinevaks analüüsiks. Meetodi peamiseks panuseks on traditsiooniliste kattemõõtude, nagu lausete, harude ja andmeevoo katete sidumine KTOD struktuuriga. Lisatulemuseks on lähenemine tingimuste katte analüüsiks. Viimane kasutab hierarhilist OD mudelit, mis koosneb KTOD-idest ja tingimuslike lausete binaarsetel otsustusdiagrammidel põhinevast esitusest. Samuti sisaldab pakutud meetod KTOD mudeli teisendusi, mis on suunatud verifitseeriise katte analüüsi erinevatele tasanditele. Uurimistöö on näidanud, et KTOD on efektiivne mudel simuleerimise läbiviimiseks ning sobilik digitaalsüsteemide diagnostikat ja silumist silmas pidades.

Digitaalsüsteemide rikete simuleerimine

Sergei Devadze (ATI, 2009). Doktoritöö juhendajad: prof. **Raimund Ubar** ja prof. **Peeter Ellervee**.

On välja töötatud efektiivsed meetodid ja algoritmid rikete simuleerimiseks digitaalskeemides. Erinevalt teistest meetoditest, töötavad uued simulaatorid kõrgemal abstraktsel tasandil kui loogikalülituste tase

(tagades samal ajal loogikalülituste taseme täpsuse) ning kasutavad originaalset struktuurselt sünteesitud otsustusdiagrammide (OD) teooriat skeemide analüüsil. Töö põhitulemused võib formuleerida järgmiselt. Esiteks, on loodud uut tüüpi OD teoorial põhinev deduktiivne algoritm rikete levimise analüüsiks skeemis ning selle algoritmi alusel ka vastav rikete simulaator. Uus simulaator on efektiivsem senistest ühe testvektori analüüsil põhinevatest simulaatoritest. Teiseks, on loodud uus ülikiire simulatsioonimeetod, mis võimaldab analüüsida rikkeid terve grupi testvektorite jaoks üheaegselt ehk paralleelselt. Meetodi uudsus seisneb erilise hargnemisanalüüsi meetodi väljatöötamises ning optimeeritud arvutusmudeli koostamises Boole'i diferentsiaalvõrrandite paralleelseks lahendamiseks. On näidatud, et võrreldes olemasolevate professionaalsete rikkesimulaatoritega tõstab uus meetod tunduvalt rikete analüüsi kiirust. Rikete simulaatori rakendusena on väljatöötatud originaalne hierarhiline meetod veakindluse hindamiseks, mis on üheks tsentraalseks ülesandeks usaldatavate süsteemide projekteerimisel.

Testitavusel põhinev välise testi ja diagnoosi meetod kahemõõtmelistele kiipvõrkudele

Vineeth Govind (ATI, 2009). Doktoritöö juhendaja: prof. **Jaan Raik**

Vineeth Govind

Tuleviku elektroonikasüsteemid saavad koosnema miljarditest transistoridest ning sadadest tuumadest, mis võimaldavad rikkalikke multimeedia ja võrguteenuseid. Samas süveneb integraalskeemide keerukuse tõusust tulenevalt traditsiooniliste siiniarhitektuuride piiratus. Kiipvõrgud on saamas uueks ühendusviisiks keerukate kiipide integreerimisel. Tulenevalt nende regulaarsest struktuurist, kuid samas suurest keerukusest, on äärmiselt oluline töötada välja spetsiaalne metodoloogia kiipvõrkude testimiseks.

Käesolevas dissertatsioonis esitatakse kiipvõrkude välise testi metodoloogia, mis saavutab kõrge rikete katte. Meetod on skaleeruv ning ei nõua oluliselt täiendavaid riistvara-ressursse. On väljatöötatud rida testikonfiguratsioone rikete lokaliseerimiseks kiibi-ühendustes. Esitatakse ka uus meetod rikete kollapseerimiseks, kasutades rikete ekvivalentsusklasse. Meetod on võimeline kiirelt ja üheselt lokaliseerima rikkeid kiipvõrgu ühendustes. Pakutakse välja ka parendatud testikonfiguratsioonid testimise aja minimeerimiseks.

Hierarhilised testigenereerimise ja mittetestitavuse identifitseerimise meetodid sünkroonsetele järjestikskeemidele

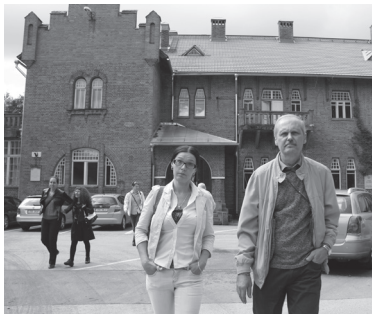
Anna Rannaste ATI, 2010). Doktoritöö juhendaja: prof. **Jaan Raik**.

Töö esitab uue, kitsendustepõhise automatiseeritud testvektorite generaatori registersiirde taseme skeemidele, mis ühendab endas testi kitsenduste formaalse genereerimise ja lahendamise. Programm võimaldab testida nn. raskesti testitavaid rikkeid. Lisaks uuritakse potentsiaalselt testitavate initsialiseerimisrikete identifitseerimise probleeme kõrgtasandil. Töötati välja meetodid mittetestitavate rikete tuvastamiseks sünkroonsetes järjestikskeemides. Info mittetestitavate rikete kohta aitab tõsta testide genereerimise kiirust ning suurendab kindlust testi kvaliteedi suhtes. Loodi uudsed meetodid mittetestitavate rikete identifitseerimiseks järjestikskeemides register-siirde tasemel, kasutades verifitseerimisest tuntud mudeli kontrolli meetodit ja kitsendustel põhinevat testigeneraatorit. Saadud eksperimentaaltulemused annavad meile võimaluse määrata olemasolevate testide genereerimismeetodite nõrgad kohad ja täiustada neid tulevikus.

Sisse ehitatud enesetestimise optimeerimine digitaalsüsteemides

Helena Kruus (ATI, 2011). Doktoritöö juhendaja: prof. **Raimund Ubar**

Väitekiri on pühendatud digitaalsüsteemide isetestimise efektiivsuse ning kvaliteedi tõstmisega seotud uuringutele. Töös on uuritud rikete modelleerimise meetodeid ning on antud ülevaade hierarhilisest defektide modelleerimisest. On kirjeldatud erinevaid defektide modelleerimise meetodeid, s.h. struktuurselt sünteesitud binaarseid otsustusdiagramme, kõrgtaseme otsustusdiagramme ning Boole'i diferentsiaalalgebrat. Uuriti isetestimise efektiivsust reaalsete füüsikaliste defektide avastamisel. Teiseks, on kirjeldatud isetestimise meetodit, mis võimaldab kombineerida pseudojuhuslikke ning deterministlikke testjadasid ning on välja pakutud algoritmid selle meetodi optimeerimiseks. Kolmandaks on kirjeldatud isetestimise



Helena Kruus isaga

meetodit, kus deterministlikke testsignaale kasutatakse lineaarse tagasisidega nihkeregistris uute pseudojuhuslike jadade genereerimiseks. On välja töötatud algoritm, mis võimaldab kiiresti leida lühima vajalike deterministlike testide ja pseudojuhuslike jadade kombinatsiooni, mis vastaks etteantud mälupiirangutele. Välja töötatud meetod ei vaja kõikide võimalike lahenduste leidmist ning seetõttu annab sobiva tulemuse kiiresti.

Välja töötatud optimeerimismeetodeid rakendati biosignaalide töötlemisel kasutatavate protsessorite enesetestimise automatiseerimiseks. On läbi viidud protsessorite eri konfiguratsioonide testitavuse analüüs, selgitamaks millised skeemi omadused soodustavad süsteemide testitavuse paranemist.

Rekursiivsete sortimisalgoritmide riistvaraline realiseerimine HFSM mudelite abil

Dmitri Mihhailov (ATI, 2012). Juhendaja: dots. **A. Sudnitsõn, Valeri Skljarov**

Dmitri Maihhailov

Väitekirjas uuritakse võimalusi olemasolevate ja uute sorteerimismeetodite parandamiseks ning väljatöötamiseks, mis oleksid sobivad realiseerimiseks programmeeritavatel loogikamaatriksitel (FPGA). Töö eesmärgiks oli orienteeruda eeskätt odavatele FPGA-dele kõrgjõudlusega sortimisseadmete projekteerimisel suvalise mahuga andmete jaoks.

Töö peamised tulemused on: (1) hierarhilise lõpliku automaadi (HFSM) ilmutamata moodulitega mudeli uurimine, mis on kiirem ja nõuab vähem ressursse kui ilmutatud moodulitega HFSM, (2) uute meetodite väljatöötamine, mis lubavad efektiivselt töödelda puu-laadseid struktuure riistvaras, (3) mitmetasemelise andmetöötluse kasutamine, (4) esitatud meetodite prototüüpimine, eksperimendid ja võrdlused. Uute meetodite riistvaraline realiseerimine põhineb HFSM-mudelil, mis toetab modulaarsust, hierarhiat ja rekursiivsust. Uued algoritmid põhinevad puulaadsetel struktuuridel, mis võimaldavad kiiresti adapteeruda sisendandmete muutumisele. Puu tippudega manipuleerimine on kiire ning andmete sorteerimist saab teostada lineaarse aja jooksul. Kiire ülesorteerimise omadus on tähtis näiteks prioriteedi-puhvrite või sarnaste seadmete projekteerimisel, mis on asendamatud paljudes praktilistes rakendustes. Töötati välja mitmetasemeline andmetöötlusmudel, mille eeliseid demonstreerides näidati, et mitme sorteerimis-algoritmi ühendamine viib jõudluse tõstmisele.

Süsteemide modelleerimine protsessorikesksete testide sünteesi automatiseerimiseks

Anton Tšertov (ATI, 2012). Juhendajad: vanemteadur **A. Jutman**, prof. **R. Ubar**, teadur **S. Devadze**

Käsitletakse tulemusi, mis kuuluvad elektroonika trükkplaatide testimise valdkonda. Tänased meetodid ei rahulda nõudmisi, milliseid seavad üles moodsad tehnoloogiad, kus üha olulisemaks on saamas süsteemide kiiruslik testimine ja süsteemisisene funktsionaalne diagnoos. Vaja on uut tüüpi metodoloogilist lähenemist, kus mõlemad probleemid oleksid adresseeritud koos. Käesolevas töös ongi välja töötatud uudne meetod protsessorikesksete elektroonika trükkplaatide testimiseks (PETT).

Suur osa trükkplaatide testide programmeerimise tööst tehakse tänapäeval käsitsi. Enamasti ületab käsitsitöö maht aktsepteeritavad kulud sedavõrd, et osutub paratamatuks teha järeleandmisi testimise kvaliteedi osas. Käesoleva töö põhitulemuseks on uus metodoloogia, mis viib PETT-lahenduste kulutused sedavõrd alla, et need oleksid vastuvõetavad tööstuses. Väitekirjas on esitatud meetod PETT-programmide sünteesi automatiseerimiseks. Sünteesi formaliseerimise aluseks on uudne lahendus, kuidas üle kanda ja arvutada testandmeid mööda testimistrajektoori trükkplaadil. Seejuures modelleeritakse nimetatud testimisrada sellel asuvate komponentide ja nendevaheliste protokollide funktsionaalsete ning struktuursete mudelite abil. Väljatöötatud automatiseerimiskeskkonna kasutamine vähendab testide projekteerimise töömahtu ja testide sünteesiks kuluvat aega, tagades samal ajal kõrge kvaliteediga PETT-programmide sünteesi.

Digitaalsüsteemide isetestimine

Sergei Kostin (ATI, 2012). Juhendaja: prof. **R. Ubar**

Sergei Kostin ja Anton Tšertov lõunapausil malelaua taga

Väitekiri on pühendatud digitaalsüsteemide diagnoosi probleemide uurimisele. Eesmärgiks on kiirus ja täpsuse parandamine defektide diagnoosil isetestivates süsteemides. Väitekirja põhitulemusteks on: uued meetodid rikete diagnoosi optimeerimiseks isetestivates süsteemides ja hierarhiline rikete käsitlus, mis ei vaja rikete mudelite kasutamist rikete diagnoosil. Töötati välja uudne diagnoosiprotsessi optimeerimise meetod, mis põhineb rikete „kaalude" mõiste kasutamisel. Uus põhimõte võimaldab efektiivsemalt juhtida diagnostikaprotsesse, saavutamaks parimat diagnoosi täpsust etteantud ajaliste piirangute juures. Diagnoosi resolutsiooni tõstmiseks on välja töötatud originaalne mitme signatuuranalüsaatori kasutamisel põhinev aparatuurne meetod ja algoritmiline lahendus. Uus meetod toob sisse täiendava dimensiooni diagnostika-protseduuride optimeerimiseks, kus kriteeriumiteks on diagnoosiks kuluv aeg ja diagnoosi täpsus.

Uus hierarhiline diagnoosikontseptsioon ühendab kahte teineteisele vasturääkivat trendi: kõrgtasemel jämemodelleerimist ja defektidele peenorienteeritust. See põhineb kahe klassikalise strateegia – põhjustagajärg ja tagajärg-põhjus integreerimisel, mis võimaldab ületada keerukusest tingitud raskusi ja realiseerida veamudeli-vaba diagnoosi põhimõtet. Töö käigus loodud prototüüplahenduste baasil on rajatud e-õppe keskkond digitaaldisaini kursuste toetamiseks ja eksperimenteerimisvõimaluste andmiseks tudengitele keerukate süsteemide rikete diagnoosimisel ja kõrvaldamisel.

Kiipvõrkudel põhinevate ajakriiti-liste töökindlate süsteemide kõrgtaseme disain

Mihkel Tagel (ATI, 2012). Juhendaja: prof. **G. Jervan**

Mihkel Tagel

Töös on välja pakutud kiipvõrkude kommunikatsiooni modelleerimise ja sünteesi meetod, mis võimaldab leida võrgus andme-ülekandeks kuluva aja, võttes seejuures arvesse võimalikke võrgukonflikte. Antud meetodi puhul modelleeritakse iga võrguressurssi (näiteks marsruuter, kommunikatsioonikanal) kui jagatud täitursõlme (protsessor). Seega, andmete liikumine kiipvõrgus on kui ülesannete täitmine protsessoris, milleks tuleb vajaminev ressurss ette planeerida. Eksperimentide tulemused näitavad, et käitades leitud planeeringuid kiipsüsteemi simulaatoril on tulemuste erinevus maksimaalselt üks takt ning andmekadu seoses võimalike võrgukonfliktidega puudub. Seejuures võtab ülesannete planeeringu simuleerimine võrreldes modelleerimisega keskmiselt 28 korda rohkem aega. Uus väljatöötatud kommunikatsiooni modelleerimise meetod on efektiivne erinevate lahendusvariantide läbi proovimiseks ning vajadusel on tulemused kontrollitavad simuleerimise teel.

Veebikasutajate käitumise analüüs ja soovitused adaptiivse veebi loomiseks.

Tarmo Robal (ATI, 2012). Juhendaja: prof. **A. Kalja**

Väitekiri käsitleb veebiinfosüsteemide parendamist ja personaliseerimist läbi kasutajate käitumise mõistmise ja modelleerimise. Töö keskendub anonüümsetele veebikasutajatele ja nende veebikäitumise modelleerimisele. Saamaks informatsiooni kasutajate veebikäitumise kohta, on realiseeritud spetsiaalne logimissüsteem koos andmete töötlemise ja analüüsimise süsteemidega. Töös on esitatud veebipõhiste süsteemide hindamise metoodika nende süsteemide kasutatavuse seisukohast, ja raamistik veebisoovituste leidmiseks anonüümsete veebikasutajate jaoks. Veebipõhiste süsteemide hindamismetoodika põhineb kasutajate käitumise järelmodelleerimisel. Välja on pakutud mitmed mõõdikud veebipõhiste süsteemide hindamiseks ja neis probleemide tuvastamiseks. Kõnealuse metoodika eesmärgiks on lähendada arendajate ja tegelike kasutajate käsitlust süsteemist, kohandades süsteemi just kasutajate nägemusele läbi vastavate strateegiliste muutuste. Raamistikul baseeruva soovitussüsteemi poolt leitud inforessursside hulk

Tarmo Robal oma juhendaja Ahto Kaljaga

võimaldab veebikasutajale pakkuda personaliseeritud veebikogemust lähtuvalt viimase huvidest ja kavatsustest. Väljatöötatud meetodid, milles kesksel kohal on nii ontoloogiate rakendamine kui keskendumine erinevalt peavoolu veebiuuringutest anonüümsetele kasutajatele, on suunatud veebisaitide ja portaalide parendamiseks ning nende kasutajatele personaliseeritud sisu kuvamiseks. Meetodid on rakendatavad ka teistes infosüsteemides, kus kasutajatel palutakse end eelnevalt identifitseerida, ja soovitussüsteemil on rohkem infot kasutaja kohta.

Formaalne verifitseerimine ja vigade parandamine digitaalsüsteemides

Anton Karputkin (ATI, 2012). Juhendajad: prof. **R. Ubar**, prof. **M. Tombak**, prof. **J. Raik**

Anton Karputkin

Uuritakse kõrgtaseme otsustusdiagrammide (KTOD) teooriat ja selle rakendamise võimalusi digitaalsüsteemide disaini formaalse verifitseerimise ja disainivigade automaatse parandamise valdkonnas. On välja töötatud meetodid, mis võimaldavad diagramme sünteesida digitaalsüsteemide käitumis-, funktsionaalse või register-siirete taseme kirjeldustest. Näidatakse, kuidas sünteesitud KTOD-mudelit saab rakendada süsteemide formaalseks verifitseerimiseks. Mudelit on täiendatud karakteristlike polünoomide mõistega. Viimased võimaldavad kanooniliselt kirjeldada mudeli struktuuri ja neid saab rakendada kahe sama funktsiooni esitava aga erinevaid struktuure omava mudeli ekvivalentsuse tõestamiseks. KTOD-polünomiaalne esitus on ühtlasi esmakordne digitaalsüsteemide matemaatiline esitus kanoonilise mudeli abil.

Verifitseerimisprobleemi keerukusega toime tulemiseks on arendatud uudne tõenäosuslik ekvivalentsuskontrollimeetod, mille põhiideeks on funktsiooni määramispiirkonna laiendamine ning polünoomide väärtuste võrdlemine juhuslikes punktides, mis on võetud määramispiirkonna laiendatud osast. On näidatud, et samade tulemuste saamise tõenäosus erinevate polünoomide puhul on väga väike. Karakteristlikel polünoomidel põhinev verifitseerimismeetod on arendatud edasi automaatse disainivigade parandamise ülesande lahendamiseks. On näidatud, kuidas disainivigu saab esitada graafi servade ümbersuunamisel põhineva veamudeli abil. Meetodi eelisteks on: saab parandada mitu viga korraga ning parandamine ei ole sisendvektorite valikust sõltuv.

Kitsenduste lahendamisel baseeruv hierarhiline testide genereerimine

Taavi Viilukas (ATI, 2012). Juhendaja: prof. **J. Raik**

Nanotehnoloogia arengud on muutnud digitaalskeeme palju keerulisemaks, mis teeb testimise üheks enim aeganõudvamaks etapiks. Väitekiri käsitleb kolme hierarhilise testigenereerimise meetodit, kus põhieesmärgiks on suurendada testigeneraatori veakatet ning vähendada genereerimiseks kulunud tööaega.

On välja töötatud uus kitsenduste lahendamisel põhinev hierarhiline testide genereerimise meetod. Esimesel etapil leiab deterministlik algoritm kitsendused, mis on vajalikud tee aktiviseerimiseks sisendist testitava moodulini RTL tasemel. Seejärel käivitub kitsenduste lahendamiseks ECLiPSe Prolog ning saadud vastuseid kasutades genereeritakse moodulile madalal tasemel test. Meetod annab suurema veakatte eelkõige raskesti testitavatele digitaalskeemidele ning aitab lühendada testi-genereerimiseks kulunud aega.

On loodud uus meetod, kus on ühendatud kolm erinevat rikete mudelit – hierarhiline mudel moodulitele, funktsionaalne rikete mudel multiplekserite jaoks ja kombineeritud hierarhilis-funktsionaalne rikete mudel võrdluste moodulitele.

Rikete mudelid on integreeritud kõrgtaseme otsustusdiagrammidesse. Meetod on oluliselt efektiivsem võrreldes analoogidega. On välja töötatud kitsendustel põhinev mittetestitavate rikete tuvastamise meetod. Meetod kasutab samuti hierarhilist lähenemisviisi, kus leitakse tee testitava moodulini registersiirde tasemel ning antud teed kasutatakse rikete mittetestitavuse tõestamiseks loogikalülituste tasemel. Esita-

takse meetod registersiirde disainis testitava mooduli tee aktiviseerimiseks ning seejärel antud tee kitsenduste väljatoomise algoritm. Meetod võimaldab genereerida registersiirde tasemel maksimaalset rikete katet integreeritud moodulitele.

FPGA-sisesed virtuaalsed test- ja mõõtevahendid

Igor Aleksejev (ATI, 2013). Juhendajad: vanemteadur **A. Jutman**, teadur **S. Devadze**

Vasakult Igor Aleksejev, Anton Tsepurov, Maksim Jenihhin. Maksim oli Antoni juhendaja.

20. sajandi keskel toimus traditsiooniliste test- ja mõõtevahendite (instrumentide) kiire areng. Eraldi seisvad ostsilloskoobid, signaaligeneraatorid, loogika-analüsaatorid, multimeetrid on laialt tuntud traditsioonilised instrumendid, mida kasutatakse süsteemide testimiseks. Arvutite areenile tulles hakkasid insenerid kasutama tarkvaravahendeid instrumentide juhtimiseks, andmete kogumiseks ning töötlemiseks. Arvutitarkvara kasutamist instrumendi funktsionaalsuse teostamiseks nimetatakse virtuaalvahendite metoodikaks.

Viimase kümnendi jooksul on testitavad süsteemid täielikult muutunud. Trükkplaadid on täna nii tihedalt asustatud, et seal ei ole enam vabu kohti testpunktide lisamiseks. Suur osa ühendustest on paigutatud sisekihtidesse, kuhu pinnalt juurdepääsu ei ole. Need muutused on sundinud viima testinstrumente kiibi sisse või plaadile. Neid instrumente nimetatakse sardinstrumentideks ja nende põhieesmärgiks on tagada vahetu juurdepääs signaalide jälgimiseks. Väitekiri on pühendatud sardvirtuaalvahendite (SVV) metoodika analüüsile, rakendusvõimaluste uurimisele ning SVV abil testimise kiiruse ning kvaliteedi tõstmisele. millel on suur potentsiaal uut tüüpi tehnoloogiate, näiteks 3D kiipide testimist silmas pidades. Instrumentide platvormina on kasutusele võetud tänapäeval laialt levinud FPGA-programmeeritavad skeemid.

Välja töötatud SVV-instrumendid võimaldavad ületada mitmeid tehnoloogilisi piiranguid. Nad on disainitud viisil, mis võimaldab instrumendi hõlpsat kohandamist konkreetsete toodete testimisele. Töötati välja täielik SVV-raamistik, mis ühendab nii FPGA-instrumente kui ka vastava juhtimistarkvara moodulit. Katsete tulemused ja saadud positiivne hinnang tööstuselt tõestasid uut tüüpi SVV-instrumentide efektiivsust võrreldes teiste kaasaegsete testimistehnoloogiatega.

Rikete simuleerimine ja koodikatte analüüs kasutades kõrgtaseme otsustusdiagramme

Uljana Reinsalu (ATI, 2013). Doktoritöö juhendajad: prof. **P. Ellervee**, prof. **J. Raik**, dr. **A. Sudnitsõn**

Uljana Reinsalu

Töö käsitleb nii digitaalriistvara testimise kui ka simuleerimisel põhineva verifitseerimise küsimusi register-siirde ja käitumuslikul tasemetel. Töös pakutud lähenemised rikete simuleerimiseks register-siirde tasemel ning struktuurse katte mõõtmiseks kasutavad kõrgtaseme otsustusdiagrammide (KTOD) eeliseid skeemide esitamisel. On välja töötatud uudne meetod rikete simuleerimiseks register-siirde tasemel, mis põhineb KTOD-mudelil. Meetod tugineb deduktiivsele rikete simuleerimisalgoritmile, mis on viidud kõrgemale abstraktsiooni tasemele ning rakendatud KTOD-na esitatud digitaalriistvarale. Algoritmi on lisatud efektiivne andmestruktuur selleks, et kiirendada bitioperatsioone rikete nimekirjadega ning seega kiirendada simulatsiooni tervikuna.

On välja töötatud ka uudne meetod struktuurseks koodikatte analüüsiks, mis samuti põhineb KTOD-mudelil. Traditsioonilised koodikatte mõõdud nagu lausete, harude ja andmevoo katted seoti KTOD-struktuuriga. KTOD-põhine kiire simuleerimine võimaldab mõõta neid katteid efektiivselt. Samuti sisaldab pakutud meetod KTOD-mudeli teisendusi, mis on suunatud koodikatte analüüsi erinevatele aspektidele. Lisaks on KTOD-simulaatori jaoks realiseeritud jälgitavuse katte mõõt, mis võimaldab paremini analüüsida testi stiimuleid ning digitaalriistvara disaini.

Riistvara modelleerimine disaini verifitseerimise ja silumise jaoks

Anton Tšepurov (ATI, 2013). Doktoritöö juhendajad: prof. **Jaan Raik** ja dr. **Maksim Jenihhin**

Digitaalskeemide ülikõrge keerukusaste on saanud põhiraskuseks elektroonika arendus-automatiseerimistööstuse (EAA) ja vastavate teaduslike uuringute jaoks. Vaatamata EAA viimase aja saavutustele, ei võimalda olemasolevad projekteerimis- ja verifitseerimisvahendid realiseerida disaineritel kõike, mida tehnoloogia juba võimaldaks. Väitekirja panuseks on nimetatud puuduste kõrvaldamine kahe uue võimsa esitusmudeli kaasamise abil. Arendajate produktiivsust suurendatakse automaatse silumismeetodiga, mis põhineb hästi skaleeruval eksemplar-graafmudelil (EG). Suurem täpsus verifitseerimisel saavutatakse koodikatte mõõtmise ja kiire väidete kontrolli meetoditega, mis põhinevad kõrgtaseme otsustusdiagrammide (KTOD) mudelil. Kui KTOD-mudel on eriti sobiv akadeemiliste uuringute läbiviimiseks, siis EG mudel on vajalik, et teha katseid suurte skeemidega ja seetõttu on leidnud rakendust tööstuses.

On loodud metodoloogia KTOD-mudelite automaatseks genereerimiseks VHDL kirjeldustest. Leiti, et KTOD kasutamisel paraneb koodikatte mõõtmise täpsus võrreldes klassikaliste meetrikatega. On uuritud mutatsioonitestimist KTOD-mudelil ja see on osutunud koodikatte mõõtmisest veelgi paremaks testi kvaliteedi hindamisvahendiks. Uuriti ajalise laiendiga KTOD (AKTOD)-mudelit ja leiti, et selle abil saavutatakse kiiremat väidete kontrolli võrreldes kaasaegse RKK-põhise väidete kontrollimismeetodiga. On väljatöötatud metodoloogia AKTOD genereerimiseks PSL väidetest ning on esitatud ühtne KTOD-põhine verifitseerimiskeskkond APRICOT[6] koos seda realiseeriva ApricotCAD rakendusega. Esitatakse metodoloogia EG mudeli saamiseks läbi põhjaliku RKK kirjelduste teisendamise, mis võimaldab tõsta ApricotCAD skaleeruvust. Mudeli skaleeruvuse võime hindamiseks kasutatakse 3584 LEON3 protsessori tuumast koosnevat kiipsüsteemi, mille tulevikuperspektiive hinnatakse väga kõrgelt tööstuses. Esitatakse avatud lähtekoodiga skaleeritav zamiaCAD-platvorm, mis põhineb EG-mudelil ja on mõeldud riistvara arendamise ja verifitseerimise hõlbustamiseks. Pakutakse välja uus skaleeritav silumismeetod täpseks ja automaatseks disainivigade lokaliseerimiseks, milles kasutatakse mõlemat ülal mainitud rakendust.

Doktoritöös välja töötatud keskkond, mudelid koos mitmete laiendustega ning uued meetodid on tervikuna heaks aluseks nii teadusuuringute läbiviimisel kui ka tööstuses kasutamiseks ja võimaldavad oma mitmekesisuses saavutada sünergilist efekti digitaalsüsteemide projekteerimise kvaliteedi tõstmisel.

Kõrgtaseme disainide mutatsiooni-põhine verifitseerimine ja vigade korrektsioon

Hanno Hantson (ATI, 2015). Doktoritöö juhendaja: prof. **Jaan Raik**

Töö käsitleb automatiseeritud vigade leidmise ja parandamise probleeme digitaalsüsteemide projekteerimisel. Vigade leidmisele eelnevat verifitseerimist analüüsitakse kahel abstraktsiooni tasemel: registersiirde- (RTL) ja süsteemitasemel (ESL). Kõrgtaseme otsustusdiagrammide (HLDD) mudelil RTL tasemel kasutatakse mutatsioonianalüüsi ja luuakse uus tarkvaratööriist, mis on integreeritud APRICOT verifitseerimise raamistikku. On loodud uus meetod võimalike disainivigade automaatseks sisestamiseks süsteemi funktsionaalsusse, mis töötab erinevatel abstraktsiooni tasemetel (TLM ja käitumuslik RTL). Võrreldakse mutatsioonide kasutamise tulemusi otse RTL-mudelil ja TLM kirjeldustel. Vigade lokaliseerimise ja kõrvaldamise probleeme uuritakse mõlemal, RTL- ja ESL-tasemel. Analüüs viiakse läbi tööstusliku mikroprotsessori ROBSY baasil. Vigade lokaliseerimine toimub kahes iteratiivses etapis: dünaamiline viilutamine ja statistilisel analüüsil põhinev pingerea koostamine võimalikest vigade asukohtadest. Disainivigade kõrvaldamise meetod põhineb mutatsioonide kasutamisel. Väljatöötatud uute meetodite eksperimentaalne hindamine on läbi viidud kasutades Siemens võrdlusprogramme. Dissertatsiooni peamiseks panuseks on uute, automatiseeritud töövahendite loomine, juhtumiuuring ja meetodid võimaldamaks riistvara disaineril säästa aega raskesti tuvastatavate vigade leidmisel.

Töökiirusel testimine ja testi kvaliteedi hindamine konveierarhitektuuriga süsteemidele

Maksim Gorev (ATI, 2016). Doktoritöö juhendajad: prof. **Peeter Ellervee** ja prof. **Raimund Ubar**

Väitekirjas käsitletakse probleemide kompleksi, mille eesmärgiks on isetestimise meetodite väljatöötamine ja uurimine kõrgjõudlus-konveierarhitektuuriga skeemide jaoks. Probleemid jagunevad kolme gruppi:

[6] APRICOT on verifitseerimise keskkond, mis töötati välja Maksimi Jenihhini doktoritöös 2008. a.

(1) testimisobjektide klassi defineerimine ja vastavate näidisskeemide disain (kõrgjõudlus-konveierarhitektuuriga skeemid), (2) uued meetodid selle objektide klassi testimiseks (isetestimine) ja (3) uued meetodid testimiskvaliteedi hindamiseks (rikete simulatsioon).

On välja töötatud uus meetod konveierarhitektuuriga digitaalsüsteemide funktsionaalseks isetestimiseks. Meetodi oluliseks omaduseks on võimalus testida süsteeme reaalsel töökiirusel ja normaalsetes töötingimustes, mis tagab kõrgema testimiskvaliteedi kui traditsioonilised staatilised meetodid. Võtmeaspektiks on skeemi funktsionaalsuse ärakasutamine testjadade automaatseks genereerimiseks. Esmakordselt on välja pakutud idee testida digitaalskeeme analoogsignaalide abil. Eksperimentaalne uurimistöö ja võrdlus traditsioonilise digitaalse testimisega demonstreeris uue idee suurt perspektiivsust.

Isetestimismeetodite kvaliteedi analüüsiks ja hindamiseks loodi vastav uus simuleerimiskeskkond, kus põhikriteeriumiks oli rikete simuleerimise jõudlus. Simuleerimiskiiruse tõstmiseks teisendati mahukas järjestikskeemide simuleerimisülesanne lihtsamate kombinatoorsete ülesannete kogumiks. Uus lähenemisviis aitas kiirendada simuleerimist kaks suurusjärku.

Testide kvaliteedi analüüsi kiiruse tõstmiseks töötati välja uus meetod kombinatoorsete skeemide rikete simuleerimiseks multiprotsessorsüsteemides. Meetodi iseärasuseks on arvutusprotsesside paralleliseerimine esmakordselt kolmes dimensioonis: rikete skaala, testvektorite massiiv ja simuleeritav skeemimudel. Rikete ja vektorite analüüsi paralleelsus on saavutatud iga üksikprotsessori suhtes ning skeemimudeli analüüsiprotsess on jaotatud erinevate protsessorite vahel. Eksperementide tulemused demonstreerisid 5-10 kordset simuleerimiskiiruse kasvu.

Maksim Gorev ja Mairo Leier, tagaplaanil Raimund Ubar

Töö viimases peatükis üldistatakse kombinatoorsete skeemide simuleerimise ideed kasutamiseks järjestikskeemides. Näidati, et väga väikese aparatuurse täienduse abil on võimalik dramaatiliselt tõsta rikete simuleerimiskiirust järjestikskeemides.

Laiendatud avatud platvorm usaldusväärsete meditsiiniliste sensorite jaoks

Mairo Leier (ATI, 2016). Doktoritöö juhendaja: prof. **Gert Jervan**

Väitekiri keskendub inimese tervise jälgimise tehnoloogiate uurimisele. Viimastel aastatel on turule jõudnud üha suurenev arv erinevaid tervise jälgimise seadmeid. Üks võimalus terviseuuringute kiiremaks läbiviimiseks ja erinevate portatiivsete seadmete omavaheliseks ühilduvuse parandamiseks on arendada seadmeid, mis põhinevad modulaarsel arhitektuuril.

Väitekirjas on esitatuud uus metoodika, mis aitab kiirendada reaalseid eksperimente, kasutades erinevaid tüüpi sensoreid, mis võivad vajada erinevat riistvara. Välja pakutud metoodika teostatavuse demonstreerimiseks sai välja töötatud modulaarne platvorm. Eksperimentide abil nimetatud platvormil demonstreerisime, kuidas välja pakutud arhitektuuri, ühendatud erinevate sensoritega, on võimalik kasutada erinevates valdkondades. Eksperimentide abil demonstreeriti ka seda, kuidas on võimalik suurendada taoliste süsteemide töökindlust, kasutades selleks süsteemivälistelt sensoritelt tulevat infot. Lõpuks viisime läbi erinevaid eksperimente demonstreerimaks arendatud metoodika efektiivsust.

Tippkeskus CEBE lõpetab

Uudiskiri Nr 7 – 2015

Selle suvega saab läbi Eesti teaduse tippkeskuste seitse aastat väldanud rahastusperiood 2007-2015. Finaalisirgel korraldas CEBE kaks olulist foorumit oma teadus- ja arendustegevuse positsioneerimiseks Eesti mastaabis ja selle tulemuslikkuse hindamiseks rahvusvahelisel skaalal. Möödunud aasta lõpul kutsus CEBE kokku foorumi „Tarvilikud tehnikad tervikliku e-Tervise toeks“, et tutvustada oma töötulemusi, biomeditsiinitehnika alast kompetentsi ja rakendusvõimalusi Eesti terviseala võtmetegijatele. Mõned nädalad tagasi

aga kogunes Tallinna Euroopa tippteadlastest koosnev CEBE Rahvusvaheline Nõukoda andmaks hinnangut CEBE senistele tulemustele nii teaduse kui arendustöö vallas tippteaduse vaatepunktist.

CEBE eripära kõigi teiste Eesti 12 teadustippkeskuse hulgas on olemuslik interdistsiplinaarsus, kus on ühendunud biomeditsiinitehnika, elektroonika ja IT-alased kompetentsid Tehnomeedikumist, elektroonika ja arvutitehnika instituutidest. CEBE üheks oluliseks rakendusvaldkonnaks on 7 aasta jooksul kujunenud tervishoiule suunatud biomeditsiinitehnika, millele esitatakse väga rangeid nõudeid, nagu täpsus, minimaalne energiatarve ja kõrge veakindlus. Siit ongi alguse saanud tippkeskuse hüüdlause: „Tervis ruudus", mis tähendab, et põhiline teadus- ja arendustöö on suunatud ühelt poolt inimese tervisele – selle meditsiiniliseks toetuseks vajaliku aparatuuri loomisele ja teiselt poolt, selle aparatuuri enda „tervise" ehk usaldusväärsuse tagamisele.

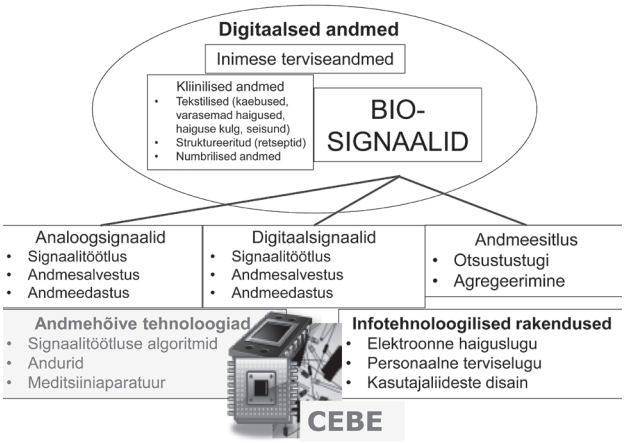
Käesolevas uudislehes antakse kõigepealt ülevaade nendest foorumitest, seejärel mõned lühilood CEBE viimase aja teadus- ja arendustöö saavutustest biomeditsiinitehnika valdkonnas, ülevaated kahest viimasest doktoritöö kaitsmisest, uutest edukatest projektidest, mis on finantseerimise saanud programmi HORIZON 2020 raames ja tagasivaade ühe maailma tippkonverentsi juubelile, kus CEBE teadlased on kogu oma eksistentsi perioodil olulist positsiooni omanud. Edasi järgneb lühianalüüs CEBE panusest Eesti ühiskonnale ja mõtisklustega sellest, mis edasi saab koos kommentaaridega uue tippkeskuste meetme kohta. Uudisleht lõpeb kokkuvõttega CEBE teadus- ja arendustöö tulemustest.

CEBE ja e-Tervis

Tarvilikud tehnikad tervikliku e-Tervise toeks. Tunnetades oma rolli tehnoloogilise kompetentsi kandjana rahvusliku e-Tervise programmi terviklikkuse tagamisel, käivitas CEBE diskussiooni biomeditsiinitehnika seadmete väljatöötamise olulisusest digitaalsete terviseandmete kogumise eesmärgil.

9. okt. 2014 toimus Tallinnas, Meriton Grand hotellis, Eesti Teadustippkeskuse CEBE ümarlaud teemal „Tarvilikud tehnikad tervikliku e-Tervise toeks". Ürituse eesmärgiks oli CEBE tegevuse ja tulemuste tutvustamine Eesti e-Tervise võtmetegijatele, CEBE potentsiaali avamine e-Tervise ja personaalmeditsiini võtmes ning diskussioonide käivitamine CEBE rollist Eesti pikemates plaanides e-Tervise teemal. CEBE tutvustas ennast kui konkreetse lisandväärtuse võimalikku allikat praeguse kliinilise meditsiini andme-haldusele kontsentreerunud e-Tervise kontseptsioonile.

Seminarile olid kutsutud võtmetegijad Haridus- ja Teadusministeeriumist, Kaitseministeeriumist, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumist, Sotsiaalministeeriumist, Ettevõtluse Arendamise Sihtasutusest, Arengufondist, Sihtasutusest Praxis, Tehnopolist, Elektroonikatööstuse Liidust, Teadus-Arenduskeskusest ELIKO, IT Kolledžist, haiglatest ja Haigekassast, Eesti e-Tervise Strateegia Rakkerühmast, Sihtasutusest Archimedes ja ETAG-ist. Ümarlauast osavõtjaid oli üle 30-e, kuid mitte kõikidest kutsutud organisatsioonidest. Seminari avas TTÜ prorektor **Erkki Truve**, **Peeter Ross** andis ülevaate e-Tervise kontseptsioonist Eestis, millejärel tutvustasid CEBE-t **Raimund Ubar**, **Thomas Hollstein** ja **Mart Min** ning CEBE *spin-off* firmasid **Rene Jõeleht** (Optofluid Technologies OÜ) ja **Mairo Leier** (Sleep Catch). Seminarile järgnenud diskussioonis arutati, kuidas CEBE-s olemasolev kompetents saaks tugevdada Eesti e-Tervise tulevikku.



CEBE kompetentside positsioneerimine Eesti e-Tervise visioonis

Tänapäevane ja jätkusuutlik tervishoid nõuab kaasaegsete digitaalsete tehnoloogiate ja e-tervise lahenduste rakendamist. E-tervise abil loodetakse muuta mitut paradigmat. Näiteks suutlikkust pakkuda inimesekeskset tervishoiuteenust. See hõlmaks tervise- ning meditsiini diagnostika andmete kättesaadavust koos infotehnoloogiliste võimalustega andmeid koguda ja töödelda ning esitada ülevaateid inimese individuaalsest profiilist ja tervislikust seisundist. Teiseks näiteks oleks elanike personaalse tervise monitooring, mis võimaldaks jälgida ning ennustada kroonilisi haigusi, ennetada riske ja sel moel tagada inimese kõrget elukvaliteeti. Läbimõeldud e-Tervise kontseptsioon aitab liikuda haiguste infolt tervisele orienteeritud andmetele ja pakub võimalusi teadlikumaks tervise-käitumiseks.

Mõttetalgutel kujunes välja ühine arusaam vajadusest luua terviklik riist- ja tarkvarakeskkond, mille baasil võiks realiseeruda eluvõimeline ja toimiv e-Tervise kontseptsioon, mis eeldaks tihedat koostööd meedikute ja patsientidega töötamaks välja innovatiivseid e-tervise lahendusi.

Ümarlaud osutus kasulikuks, kuna ühendas neid, kes on seotud Eesti e-Tervise programmi väljatöötamisega ja CEBE teadlasi, kelle uurimisvaldkonnaks on biosignaalide hõive sensorite abil, signaalitöötlus ning biomeditsiinitehnika aparatuuri väljatöötamine. Diskussioon tugevdas veendumust, et inimese terviseandmete saamine sensorite ja nutika riistvara kaudu on väga oluline komponent lisaks kliinilistele andmetele ravi tasakaalu ja tulemuslikkuse tagamisel. Just siin tunnetab CEBE oma missiooni e-Tervise programmi terviklikkuse tagamisel.

Teadus ja innovatsioon tervise teenistusse

16. jaanuaril k.a. toimus Teaduste Akadeemia saalis foorum koos aruteluga teemal „Eesti tervisesüsteemi teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni strateegia 2015-2020 – Teadus ja innovatsioon tervise teenistusse.“ Strateegia oli esitatud kohati liiga üldiselt ja kohati ühekülgselt. Kuigi oli viidatud telemeditsiini tähtsusele, puudus ometigi detailsem käsitlus, kuhu näiteks CEBE oleks võinud ennast positsioneerida. Puudusid näiteks viited IT riistvaralise komponendi olulisusele ja innovatsiooni ootustele selles valdkonnas. Näiteks Soome analoogilises dokumendis oli ka suures pildis selgelt välja toodud niisugune komponent nagu „ICT, e-health, monitoring and decision support“, mis vastab näiteks täpselt CEBE profiilile ja kompetentsidele.

Nimetatud aspekti kajastamiseks Eesti tervisesüsteemi üldises visioonis esitas CEBE omapoolse kommentaari kõnealuse strateegiadokumendi täiendamiseks:

Rahvusvaheline Nõukoda CEBE-st:

CEBE started as groups of researchers in 2008, which barely knew each other. As a result of the center, the groups started to collaborate across their fields of expertise, and built-up an environment which not many other places worldwide offer.

The advisory board considers it important to continue the collaborations to harvest in the next years the investments of the past. In the future the number of centers of excellence will decrease to six. This means that CEBE will get new partners. This also gives a challenge to CEBE to ensure its existence and position as a leading research consortium.

We believe that CEBE is on the right way. We were informed that CEBE is now in a very important turning point because the existing project and its financial support is ending and new funds shall be applied for the continuation of the project. We were also informed that getting the funding will now be more difficult. This needs rethinking the targets and contents of the project. We hope, that this IAB meeting has helped CEBE not only to survive, but to find a new and more demanding target for its research and thus redeem a still higher position in the international scientific community.

We appreciate the strong international aspect in CEBE and this is assessed important. This is seen e.g. in the large number of international collaborating partners from industry and universities from all around the world. The instruments, devices and systems, which are developed in CEBE are not only prototypes but they have demonstrated that they are working well. Should these devices and systems be more innovative and ambitious is a question which can always be made. It is easier to ask for more innovative and revolutionary results than to list in detail what those should be.

*„Esitatud materjalides on mitmes aspektis rõhutatud andmete olemasolu tähtsust (geneetiline põhi, haiguslugu jms). Need on kindlasti tarvilikud, kuid praegustes materjalides on rõhutatud rohkem (geneetilisi) või vähem (haiguslugude) üksnes staatilisi andmeid. Inimese tervislikku seisundit antud hetkel või situatsioonis iseloomustavad aga muutandmed, mida saadakse pidevmonitooringuga elutegevuse või raviprotseduuride käigus (vererõhk, südamerütm ning kindlasti ka peidetumad parameetrid nagu südame löögimaht, verevoolutus, hingamise rütm ja maht). Kuidas neid andmeid saadakse? Sensorid annavad küll vaid kaudseid elektrisignaale, aga järgneva signaalitöötluse abil saadakse neist juba ka vajalikud füsioloogilised andmed kätte. Tähtis on, et sensorid ei segaks inimese tegevust (*non-obtrusive*), ning et tulemuste viimine andmevõrkudesse oleks katkevusteta (*seamless*), näiteks „asjade interneti" tehnoloogiat kasutades. Peale selle tuleb andmetest ka mõistetav info kätte saada, veel enam, selle info põhjal tuleb formeerida teadmised otsustuste jaoks. Kõik need protsessid peavad olema automaatsed, või vähemalt suures osas automatiseeritud.*

Senine tegevus TTÜ-s, CEBE-s ja ELIKO-s, mis on seotud teadusliku uurimistöö ja seniste rakenduslike tulemustega terviseinfo kogumisel sensorite ja sellele järgneva signaalitöötluse ning signaalide interpreteerimise vallas spetsialiseeritud riistvara abil, täiendaks oluliselt olemasolevat tehnilist baasi ning aitaks vähendada lõhet, mis eksisteerib olemasolevate tehniliste võimaluste ja nende ära kasutamise vahel. Ülal mainitud mõtte võiks lisada praegusesse strateegia teksti, mis aitaks tulevikus kaasa haarata Eestis olevat kompetentsust meditsiini-alase tehnoloogia valdkonnas."

Rahvusvaheline hinnang CEBE-le

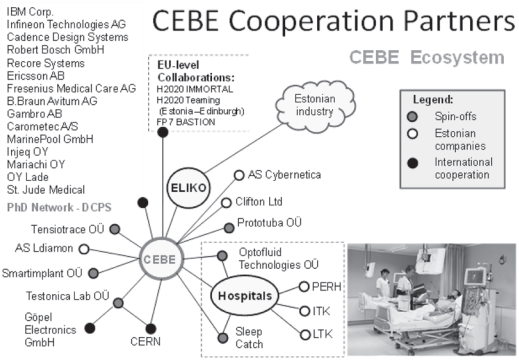
19. mail 2015. toimus Swiss hotellis CEBE koosolek koos Rahvusvahelise Nõukojaga koosseisus: prof. **Jaakko Malmivuo**, Aalto University, Finland (bioelectromagnetics), dr. **Rainer Dorsch**, Bosch Sensortec, Germany (digital systems verification, design for testability), prof. **Marta Rencz**, TU Budapest, Hungary (electron devices), dr-ing.habil. **Uwe Pliquett**, IBA, Heiligenstadt, Germany (bio-electronics), prof. **Bernard Courtois**, CMP, France (microelectronics technologies), dr. **Ahmed Jerraya** CEA-LETI, MINATEC, France (IC design and CAD), prof. **Manfred Glesner**, TU Darmstadt, Germany (microelectronic systems).

Koosolekul osalesid CEBE juhtkomitee ja projektide juhid koosseisus: R. Ubar, M. Min, T. Rang, I. Fridolin, M. Kruus, K. Meigas, A. Kurrel, G. Jervan, M. Jenihhin, J. Raik, A. Jutman, T. Hollstein, P. Ellervee, H. Hinrikus, M. Bachmann + 40 CEBE professorit ja teadurit.

Ettekannetega esinesid: R. Ubar, M. Min, I. Fridolin, T. Hollstein, A. Jutman ja J. Raik. Nii IAB liikmed kui ka CEBE töötajad esinesid aktiivselt diskussioonides. Pärast avalikku koosolekut tegid seminarist ja CEBE kogu senisest koostööst kokkuvõtted IAB liikmed ja CEBE juhtkomitee kinnisel koosolekul.

Nädala pärast saatis IAB CEBE-le oma kokkuvõtliku retsensiooni ja hinnangu CEBE tegevusele, mis oli väga positiivne. Märkused olid väga üldised, nagu näiteks, et keskuse missioon oleks võinud veelgi ambitsioonikam olla, veelgi enam oleks võinud publikatsioone veelgi mainekamates tippajakirjades olla, rakendused oleksid võinud veelgi innovatiivsemad olla... Kõige tõsisem kriitika käis aga tippkeskuste finantseerimise põhimõtte kohta, kus toetuskõlbulikuks loeti üksnes teadustegevust, aga mitte õpetamisega seotut. „Teadus ja õpetamine peavad ülikoolis käima käsikäes," arvasid IAB liikmed.

CEBE panusest ühiskonda ja tulevikust



CEBE ökosüsteem

CEBE eripära oli interdistsiplinaarsus ja eesmärkideks ühelt poolt kõrge teadustase oma kompetentsialadel ja teiselt poolt kompetentside sünergia kaudu oluliste rakendusteni jõudmine. Kogu pika koostööperioodi jooksul on saavutatud sõbralik tasakaal teadusrühmade terviklikus konsortsiumis nii laiahaardelise koostöö intensiivsuse kui ka kitsamate suundadega eriuuringute koordineerimisel. CEBE koguväljundit iseloomustab teadustulemuste kõrgetasemeline publitseerimine, intensiivne leiutiste ja avastuste patenteerimine ning kõrge rahvusvaheline renomee, mille selgeks väljenduseks on terve hulga europrojektide koordinaatori staatus programmide FP7 ja Horizon 2020 raames.

Eesti ühiskonna huvide seisukohast on CEBE eksistentsi kõige märkimisväärsemaks produktiks saanud ökosüsteem keskmega TTÜ-s ehk CEBE-s, mis koosneb nii rahvusvahelisest kui ka kodumaisest koostöövõrgustikust nii akadeemilises kui ka tööstusmaailmas, kus erilisel kohal on kõik need *spin-off* firmad, mis CEBE rüpes on sündinud ja tuult tiibade alla saanud. Oma tulevikku nägi tippkeskus oma seniste tulemuste ja saavutatud kompetentsi panustamises sellesse ökosüsteemi, mille keskmes terendus CEBE-2.

Aeg aga nõuab muutusi ja kõige lihtsam on muutusi genereerida alati lihtsalt ümberkorralduste (!) teel, mis iganes need ka oleksid. Üheks muutuseks uue tippkeskuste meetme läbiviimisel aastatel 2015-2020 oli valdkondliku printsiibi sisseviimine, kus eesmärgiks sai tippteaduse jaotamise püüd ühtlaselt üle kuue (nn. *Frascati*) teadusvaldkonna, põhimõttel – üks tippkeskus igasse valdkonda. Selline uudne suundumus kustutas momentaanselt idee CEBE-2, mis oleks tähendanud liiga kitsast rakendusuuringute esindatust tehnikateaduste väga laia valdkonna kohta. Ehkki biomeditsiinitehnika suund, kontekstis e-Tervisega ja koostöös meditsiinivaldkonnaga, oleks iseenesest väga lai ja väga suure ühiskondliku tähtsusega väljakutse. Kooskõlas uue meetme põhimõtetega tuli hakata valima muid fookusi laiema konsortsiumiga. Kindlasti ei saa aga uue fookuse leidmine kerge olema, et kogu Eestis olemas olev tehnikateaduste tipp on määratud koonduma üheainsa „katuse" alla.[7]

[7] Tegelikult pärast taotlusperioodi lõppu ja konkursi läbiviimist selgus üllatuslikult, et moodustati siiski mitte 6 tippkeskust (üks iga valdkonna kohta), vaid koguni 9, kusjuures tehnikateaduste valdkonda tekkis siiski üheainsa keskuse asemel tervelt 3 keskust. Reegleid oli muudetud mängu ajal.

Kokkuvõte CEBE-st

Kokkuvõtlikult võiks CEBE uurimistöö tulemused kokku võtta järgmiselt, kusjuures CEBE kui loomult interdistsiplinaarse uurimisgruppide konsortsiumi tegevuse võib distsiplinaarsete erifookuste järgi jaotada kolmeks: biomeditsiinitehnika, signaalitöötlus ja usaldusväärsete elektroonikasüsteemide projekteerimine.

Biomeditsiinitehnikas on ette näidata uued optilised meetodid neeruasendusravi kvaliteedi operatiivseks hindamiseks, vererõhu mõõtmiseks ja varase ateroskleroosi statistikaks ning aju elektriliste signaalide analüüsiks, et avastada depressiooni ja hinnata aju funktsionaalset seisundit.

Signaalitöötluse valdkonda iseloomustavad uued originaalsed meetodid dünaamiliste objektide (töötav südamelihas, kardiovaskulaarsüsteem, hingavad kopsud) omaduste kiireks analüüsiks elektrilise impedantsi (ehk näivtakistuse) mõõtmise abil ning impedantsspektroskoopia rakendused ateroskleroosi varasel avastamisel, metallisulamite omaduste määramisel (nt võltsmüntide tuvastamine), lihakvaliteedi hindamisel ja mujalgi.

Elektroonikasüsteemide projekteerimise alal on CEBE-s loodud uusi meetodeid, mudeleid ja tarkvaralisi tööriistu, mis tõstavad süsteemide usaldusväärsust, verifitseerimise ja diagnostika efektiivsust ning aitavad automatiseerida testprogrammide koostamist ja projekteerimisvigade ülesleidmist.

Peamiste koostöös lahendatud uurimisprobleemidena saab välja tuua info eraldamist mürast, signaalide hõivamise ja töötlemise kiirust ning minimaalset energiakulu, milleks tuli uusi meetodeid arendada ja välja töötada eriprotsessorite erinevaid arhitektuure ning nende usaldatava töö tagamiseks tuli leiutada uusi meetodeid süsteemide isetestimiseks.

CEBE teadustulemused on leidnud terve rea rakendusi keskuse teadlaste ühise koostööna. Esile võib tuua portatiivse EEG-signaalide analüsaatori, mis võimaldab kindlaks teha depressioonist tingitud aju seisundi muutusi, uudseid signaalitöötlusprotsessorite arhitektuure, mis paistavad silma suurema töökiiruse ja väikese energiakulu poolest. Toodeteni on jõudnud impedantsspektroskoopia seade QUADRA, isekohanduv südamerütmur, inimkudede analüsaator süstlanõela juhtimiseks ravi vajavasse organisse, optiline dialüüsisensor Diasens, mitmed diagnostika-seadmed ja tarkvara elektroonikasüsteemide testimiseks ja verifitseerimiseks nagu zamiaCAD, Turbo Tester, CERN-i tellimusel valmistatud Suure Hadronipõrguti kommunikatsioonikanalite tester BERT ja teised väljatöötlused.

Lõpetuseks tahaks aga arvutitehnika instituudi nimel eriliselt rõhutada seda fantastilist elamust, mille võtsime kaasa sellest viimasest seitsmest aastast, töötades koos oma partneritega – T. J. Seebecki elektroonika instituudi ja Tehnomeedikumiga. See oli tõeline koostöö, mis seisnes üksteise tugevuste kokku panemises ja igasuguse omavahelise konkurentsi puudumises. Suures üksmeeles töötas CEBE juhtkomitee koosseisus **Alvar Kurrel**, **Mart Min** ja **Toomas Rang** elektroonikainstituudist, **Ivo Fridolin** ja **Kalju Meigas** Tehnomeedikumist ning **Maksim Jenihhin**, **Gert Jervan**, **Margus Kruus** ja **Raimund Ubar** arvutitehnika instituudist. Me poleks paljuski suutnud olla nii edukad oma ideede ja ambitsioonide elluviimises, kui meil poleks olnud Alvari ennastsalgavat organisatoorset tööd ja toetust, kes hoolitses kogu koormava sidepidamise eest administratiivse „välismaailmaga“ ja maandas kõik ebatasasused ning mured, mis aegajalt tekkisid aruandluses ja muudes bürokraatia labürintides.

Projekt on lõppenud

See projekt oli akadeemilise vabaduse positiivse toimimise musternäide, kus me ei olnud seotud päevakajaliste „pisikeste konkreetsete ülesannete" täitmisega, vaid meid juhtisid üksnes projekti taotluses üles seatud üldised eesmärgid, mille suunas liikuda. Kitsendused ja ahelad meie „tegevusvabaduses" tulenesid teiste majja toodud projektidega seotud kohustustest. CEBE vahendid olid selleks, et nende „muude" kohustuste täitmist toetada ja seejuures lisaväärtust ehk kõrvalefekti luua.

CEBE akadeemiline missioon ja roll seisnesidki selles, et anda teadustööga seotud inimestele võimalust haarata hoopis avarama pilgu ja teoga igat muud uurimistöö ülesannet partnerite projektiportfellides ja nõndaviisi tõsta ühelt poolt nende ülesannete täitmise kvaliteeti, aga teiselt poolt näha neid „väiksemaid" ülesandeid ka ühe suure katuse all, leida üldistusi ja arendada teooriaid ning jõuda selle kaudu kaalukamate teadustulemusteni kui seda võimaldanuksid üksikud projektid eraldi.

Paraku, teaduses on juba nii, et ühegi üksiku projekti finantsvõimalused ei suuda kunagi katta uurimistöö tegelikke vajadusi, mistõttu püsib ka pidevalt oht CEBE taolise „katuse" puudumise korral, et üksikutest projektidest võivad kujuneda mitte tõsised teaduslikud uurimisaktsioonid, vaid teaduse mõttes väheambitsioonikad tehnilised tellimistööd. Niisugune olukord ülikoolis, kus professori töö peab hakkama seisnema selles, et tuua raha ülikooli oma uurimisgrupi ülalpidamiseks tellimustööde kaudu ettevõtlusturult sealsete „päevaülesannete" täitmiseks, tähendab koos akadeemilise vabaduse kadumisega ka tõelise teadustöö hääbumist.

Ülaltoodut silmas pidades, on CEBE väärikalt täitnud Euroopa struktuurifondide missiooni, sest 7 aasta jooksul kaitstud 36 doktoritööd, 550 eelretsenseerimisega teadusartiklit, 13 monograafiat, 21 patenti ja 10 patenditaotlust, 17 rakendust toodete prototüüpidena koostöös ettevõtlusega, 6 uut CEBE keskkonnas võrsunud *spin-off* firmat, 9 maale toodud europrojekti programmide FP6, FP7 ja HORIZON 2020 raames (kogueelarvega ligi 4 miljonit eurot), milles tervelt 5 projekti on koordineerinud CEBE teadlased, koostöö selliste tippfirmadega, nagu IBM, Bosch, Ericsson, Infineon jt – kõik see kokku räägib veenvalt CEBE teadlaste kõrgest rahvusvahelisest tunnustusest ning tähendab kaalukat panust mitte üksnes teadusse, vaid ka Eesti majandusse. Üksikasjalisemat ülevaadet CEBE tegevusest ja tulemusest võib leida aadressil http://cebe.ttu.ee.

2005–2016
Põlvkondade vahetus

Põlvkonnavahetused toimuvad kahel viisil – sportlikult ja vaenulikult. Vaenulik viis on levinud looduses: noor isane, tundes endas olevat piisavalt jõudu kasvanud võtab ühel hetkel kokku julguse ja lükkab valitseva isase troonilt. Edasiviivaks jõuks on siin võimuiha. Sportlik viis sarnaneb teatejooksuga, kus eesmärgiks on kollektiivne edu ja kus üks meeskonnaliige, olles oma rolli täitnud, annab teatepulga edasi meeskonnakaaslasele, et edasiliikumise kiirus säiliks.

Inimühiskonnas ja teaduses esinevad mõlemad viisid. Mitte alati ei taha väsima hakkav pool tunnistada oma jõu kahanemist ega taha loovutada liidripositsiooni, mis aga viib paratamatult selleni, et jalg hakkab nihkuma gaasipedaalilt pidurile. See juhtub siis, kui pole õigesti ära tunnetatud liidri sisulist funktsiooni kollektiivis. Kollektiivi edu seisneb liidri oskuses rakendada igatühte oma kollektiivist just seal, kus selle oskused ja suutlikkus teistest paremini sobivad konkreetse ülesandega. Paradoksaalselt puudutab sama põhimõte ka juhtimisülesannet ennast. Edu saadab seda kollektiivi, kus liider hoolitseb selle eest, et talle tekiks järelkasv ja et teatepulga vahetus toimuks valutult ehk siis kiiruse kaotuseta, nii nagu 100 meetri teatejooksus.

Arvutitehnika instituudis see just selliselt on toimunudki ja teatepulga vahetust saab ajaliselt isegi üsna täpselt seostada perioodiga 2006 – 2009. Just perioodiga, aga mitte hetkega, sest ka spordis on nii: et teatepulk maha ei kukuks, peavad ühel hetkel pulgast kinni hoidma mõlemad spordimehed.

2006. aastal algas europrojekt VERTIGO, mida instituudi poolt hakkas koordineerima **Jaan Raik**. Just sel perioodil lõppes **Raimund Ubari** osalus instituudi poolse liidrina europrojektide seerias projektiga eVIKINGS II (2003-2005) ja samuti Eesti tippkeskuses „Töökindlate arvutisüsteemide uurimine"(2002-2007). Seejärel õnnestus ATI-l olla edukas ka järgmisel Eesti tippkeskuste konkursil, mille tulemuseks oli tippkeskuse CEBE asutamine ja mida juhtis aastatel 2008-2015 Raimund Ubar. Aga juba 2009-ks aastaks oli Jaan Raik kogunud piisavalt suure arenemiskiiruse ja hoo, asudes koordineerima koguni terve Euroopa ulatuses projekti DIAMOND (2009-2012). Jaan Raigi europrojekti üldliidri staatus tähendas aga juba seda, et temast oli saanud ka arvutitehnika instituudi teadusliider.

Jaan Raik (vasakul) ja Gert Jervan (paremal) võtavad vastu instituudi külalist Zebo Pengi (Linköping), kes oli Gerdi doktoritöö juhendaja

Täpselt samal ajal alustas oma tähelendu ka **Gert Jervan**, tuues instituuti veel teisegi europrojekti CREDES (2009-2012). Ka siin toimus omapärasel viisil teatepulga lihvitud vahetus. Projekti initsiaatoriks oli Gert, aga kuna poliitilises mõttes tundus olevat otstarbekas, et projekti juhiks oleks professor, siis taotluse kirjades figureeriski esialgu projekti liidrina professor Ubar. Edukale konkursile järgnes aga loomulik juhtimisohjade üleandmine tegelikule projektiliidrile.

Nii oligi instituudil tekkinud kaks noort liidrit – Jaan Raik ja Gert Jervan, kelle liidripositsioon sai õige pea ka „paberitega" kindlustatud – alates 2012. aastast, pärast mõlema europrojekti edukat lõpule viimist said mõlemast noorest teadlasest professorid.

Jaan Raik on täna ATI diagnostika ja verifitseerimise teadussuuna juht ja tema järgnevateks saavutusteks sai uute europrojektide toomine ülikooli: FP7 BASTION (2014-

2016), HORIZON 2020 IMMORTAL (2015-2018), kus viimases on ta taas projekti üldkoordinaatoriks. Samuti juhib Jaan alates aastast 2014 instituudi peamist IUT uurimisteemat ja lisaks on ta nüüd ka ATI kollektiivi juhiks uues Eesti tippkeskuses – EXCITE (2016-2023), mille üldkoordinaatoriks on prof. **Maarja Kruusmaa**, kes samuti on arvutitehnika instituudi kasvandik.

Gert Jervan on täna infotehnoloogia teaduskonna dekaan. Samal ajal juhib ta ka ülikooli reformi, mille 2015. a. sügisel käivitas TTÜ uus rektor **Jaak Aaviksoo**. Koos TÜ professori **Jaak Viloga** koordineeris Gert ettevalmistusi suuremastaabiliseks rahvusvaheliseks koostööks uue tippkeskuse „ITEE: Digitaalne võrgustunud majandus" loomise eesmärgil programmi HORIZON 2020 raames, mis küll ei saanud Euroopast vajalikku toetust, aga mille boonuseks tuleb lugeda Tartu ja Tallinna teadlaste vahelise koostöö intensiivistamist, mis loodetavasti jätkub ka tulevikus.

Rääkides uuest edukast liidrite põlvkonnast ATI-s, tuleb kindlasti esile tõsta **Artur Jutmani**, kelle panuseks on koos Jaan Raikiga europrojekti FP7 BASTION toomine instituuti, kus Artur on kogu projekti konsortsiumi üldliidriks. Tema eriline panus instituudile ja tervele ülikoolile on *spin-off* firma Testonica Lab asutamine 2005. aastal ja selle edukas juhtimine tänini, mille tulemuseks on ka mitmete teiste europrojektide toomine Eestisse, kus Testonica on olnud koordinaator-asutuseks, nagu näiteks FP7 programmi EUROSTARS raames projekt COMBOARD (*FPGA-Based Test Acceleration Methodology for Complex Electronic Boards*) jt. Lisaks tuleb rõhutada ka Testonica viljakat koostööd pikkade aastate vältel Eesti teadus-arendustöö keskusega ELIKO. Kõigil kolmel nimetatul Jaan Raikil, Gert Jervanil ja Artur Jutmanil on juba juhendatud ja juhendatavate doktorantide ning magistrantide baasil kujunenud omad koolkonnad, ehk siis taimelavad edaspidisteks teatepulkade üleandmisteks kunagi hiljem, kui aeg kätte jõuab. Teatepulka on peagi üle andmas ka teised arvutitehnika instituudi professorid, kes juba mõnda aega on „hegemoonidena" oma teadusvaldkondi instituudis juhtinud ja noori dokotorante teaduskraadideni „talutanud" – prof. **Ahto Kalja** alates 1997 süsteemi tarkvara õppetooli juhatajana ja prof. **Peeter Ellervee** alates 2004 arvutisüsteemide projekteerimise õppetooli juhatajana.

Võime rääkida oma instituudis isegi mitte ainult kahest põlvkonnast, vaid koguni juba neljast (!). Kui näiteks Artur Jutman oli **Raimund Ubari** kunagine õpilane, siis edasi viis Artur juba ise doktorikraadini **Anton Tsertovi** (kolmanda põlvkonna esindajana), aga tänaseks on juba Antoni enda õpilane **Artjom Jasnetski** (neljanda põlvkonna esindajana) ka oma doktoritööd peagi lõpetamas. Niisiis on Raimund Artjomile koguni „vana-vanaisaks".

Alljärgnev on põgus pilguheit mõningatele arvutitehnika instituudi (noor)teadlaste edulugudele, projektidele ja ärateenitud auhindadele.

Teadlase aju otsib vigu unes[1]

Toomas Lumani rahastatav teadusauhind läks noormehele, kes aitab arvuti abil uusi arvuteid välja mõelda. Lapsepõlves kutsusid sugulased teda „professor". Praegu on ta 32-aastane ja omab doktorikraadi. Tal on üle 100 avaldatud teadusliku töö. Tema loodud spetsiifiline kiipide testimise tarkvara Turbo Tester on kasutusel 30 riigi 90 laboris. Läinud nädalal sai ta **Arnold Rüütlilt** kätte 50 000 kroonise tšeki – vabariigi kultuurirahastu tänavuse noorteadlase preemia. Ta on arvutiuurija, aga Exceli nippe ärge temalt küsige. Ta ei tea neist suurt miskit, igatahes mitte rohkem kui mõni kontoriametnik. **Indrek Neivelt** on temast

[1] See on Eesti Ekspressis 16. dets. 2004 avaldatud Argo Ideoni intervjuu Jaan Raikiga, kes sai Toomas Lumani rahastatava Vabariigi Presidendi kultuurirahastu 2004. aasta noore teadlase auhinna.

Jaan Raik

vaimustuses. Ta ei kipu välismaale, sest elu on Eestis sisse seatud, toime tuleb ja miks peaks.

TTÜ vanemteaduri dr. Jaan Raiki tööpesa peitub Tallinnas Raja tänaval punatellistest arvutuskeskuse majas. Mõned hetked pärast külaliste saabumist haarab ta tähelepanu kõrvaltoa luitunud arvutikapp. See näeb välja nagu tahaks müraki läbi põranda pudeneda. Kaks kasti on 80-ndate superarvuti – üks on protsessor, jõudluselt umbes meie aja 386. Kaheksa mega mälu. Soomlaste kingitus. Teine kapp on 181 kilone kõvaketas (see on kaal). Maht on 516 megabaiti. Veidi aja eest kõik veel töötas ja elas. Siis ükskord liigutati kogu värk ühele näitusele ja tagasi.

Raik paneb pliiatsi kõrva taha ja avab tööarvuti. „Selle programmi litsents maksab firmadele mitu miljonit krooni. Aga meie saime viieprotsendilise hinnaga, sest oleme ülikool." Ekraanile manab end ühe lihtsa kiibi loogikaskeem. Üsna samasuguseid töövahendeid kasutatakse Intelis. Raiki kitsam eriala on kiipide testimine. Kui tootja neid ahjus „põletab" ja „elektronidega pommitab, kas nad sealt tulles töötavad nii, nagu kavandati? Kas ahjus oli tolmukübe ja tekitas defekti, või on kõik korras?"

Kuidas te seletasite agronoomist president Rüütlile, mis asjaga te õigupoolest tegelete? Mmm. Ei oskagi öelda, seletasin vist suhteliselt lihtsalt. Indrek Neivelt ütles ka, oi-oi, see asi on keeruline ja ma ei saa aru, mis sa siin kirjutasid. Samas hakkas ta esitama nii asjatundlikke küsimusi, et mul tekkisid sügavad kahtlused tema siiruses.

Aga kui tutvute pubis inimesega, kes küsib, mis tööd sa teed? Ütlen, et olen arvutiteadlane, ja rohkem ei seleta. Muidugi on inimestel seda keeruline mõista. Kõige raskem on aru saada, kuidas me arvutiga teeme arvuteid. See on imelik nende meelest. Ma isegi ei tea, mida tavaline inimene üldse mõtleb, et kuidas neid kiipe tehakse.

Kui üliõpilane saab aimu, kuidas kiipe välja mõelda ja testida, mis ta selle teadmisega Eestis peale hakkab? Kui lõpetasin ülikooli, siis kõik kursusekaaslased loomulikult läksid programmeerima. Kes ei saanud head programmeerimistööd, läks müügimeheks kusagile arvutifirmasse. Nüüd on asjad natuke paremad. Näiteks on huvitav Eesti firma Artec Design. Nad tegid algul ühe kiibi. Mis oli 486-emaplaat ühel kiibil, koos kogu perifeeriaga. Eestis välja töötatud. Nüüd on nad teinud krüptovõrgukiipe ning päris suuri. Hästi edenenud firma, seal on üle 30 inimese, siiani on vee peal püsinud. Kuigi India ja Hiinaga on väga raske võistelda, isegi USA-st kolib mikroelektroonika väljatöötamine sinna üle.

Kui te olete üks edukas teadlane, siis vabandust, mida te veel Eestis teete? Miks te pole kusagil MIT-is või UCB[2]-s? Siin on ju tegelikult põnev. Meie tiim siin kõrvalklassis on väga tugev. See motiveerib. Teine asi on see, et ma ju elan siin. Kes see ikka viitsib kuhugi minna? Ma olen rahul.

Kas võib küsida, kui palju te TTÜ-s palka saate? Ei või. Ei, üldiselt on meie laboris päris head lood. Kui meil projekte on, saame ilusti hakkama. Ikka Eesti keskmisest parem on see palk. Normaalselt elab ära. Mul on kaks last kodus, saan hakkama.

Tähendab, et palk on tegelikult üks osa sissetulekust. Teete mingeid projekte, teenite lisa? Nii ongi, ma olen 20-s projektis osalenud. Mitmed asjad jooksevad paralleelselt, päris palju tegevust on.

Miks peaks inimene endale tänases Eestis valima teadlase karjääri? Ma arvan, et mul on see perekonnaviga. Isa oli väga kõva matemaatik. Kui praegu vaatan kusagilt Internetist midagi stohhastilistest probleemidest, siis alati on tema töid loetletud. **Ernst Raik** oli väga kõva tegija. Ja paljud tugevad tegelased siinsamas laboriski on teise põlvkonna tegijad. Samamoodi nagu Vormel-1s, kus löövad läbi mingi endise maailmameistri pojad. Teadus on nagu sport. Sind kogu aeg hinnatakse ja sa kogu aeg võistled. Saadad oma artikleid välja, neid retsenseeritakse. Parimatel konverentsidel on umbes 8 retsensenti. Nemad muidugi ei ütle, et oi kui tore töö. Vaid enamasti, et teed seda valesti ja teist valesti.

Kas on õige, et teadlase elu põhineb nn. grantidel ehk suur osa ajast kulub, et otsida sponsoreid uuringutele? Sõltub vanusest. Noor doktorant teeb sisulist tööd. Kui ta on nagu mina, sellised juba

[2] MIT – *Massachusetts Institute of Technology,* UCB – *University of California*, Berkeley. Mõlemad on tuntud USA tehnikaülikoolid.

kantseldavad omi doktorante ja vähem jääb aega sisulise töö jaoks. Kui kaks aastat tagasi **Ahto Buldas** (*ka arvutiteadlane Toim.*) sai noore teadlase preemia, siis ta ütles, et kuni 30. eluaastani inimese aju areneb, pärast seda algab vaimsete võimete allakäik.

Kas kõike on võimalik teaduslikult kirjeldada või on ka nähtusi, kus teadus on täiesti võimetu? Kindlasti kõike ei ole võimalik. Mida näiteks? Vaat ei teagi. Ilmselt midagi hingelisest maailmast. Teadusfilosoofia õpikutes on alati toodud kaks näidet, marksism ja freudism. Kumbki pole ümberlükatav ja tänu sellele pole ka teadus.

Mida tähendab teie jaoks fraas „teadmistepõhine majandus"? (naer algab veel enne, kui küsimus jõuab lõppeda).

See, millest tavatsevad rääkida Parts ja teised poliitikud? Ei usu, et poliitikud väga hästi aru saavad, millest räägivad. Tundub, et Eesti liigub tegelikult hoopis vastupidises suunas.

Tähendab, odav allhanketöö? Jaa. Üks asi, millest on palju juttu olnud, on doktorantide rahastamine. Doktorandid on sisulise teadustöö tegijad, aga kui nende rahakraanid kinni keerata…

Lähevad ära välismaale? Kindlasti lähevad, või siis kusagile firmasse. (Järgnevas monoloogis ilmneb, miks on totter ja sürr toetada riigi poolt pigem neid doktorante, kes ei õpeta ega uuri ülikoolis, vaid töötavad kusagil mujal).

Kõik ütlevad, et raha on vähe. Kas ainult see on põhjus, miks ei tule Eestis teadmistepõhist majandust? Üldse on Eesti mõnes mõttes raskes seisus. Tehnoloogia ja tööstus olid Läänes, nüüd nad liiguvad maadesse, kus on odavam tööjõud ja palju insenere ehk Hiinasse ja Indiasse. Eesti on kogu selles protsessis vahele jäänud. Polnud sellist etappi, kus see oleks siia tulnud. Siiski peaks otsima lahendusi ja mitte allhanget, vaid ikka väljatöötamise poolt. Allhanke jaoks ei ole meil isegi piisavalt palju inimesi.

Kui räägitakse teadlastest, meenub mulle sageli nõukaaegne anekdoot. Professor läheb komandeeringusse ja saadab sealt naisele telegrammi, et hambapastatuub ei avane, mida teha. Kas ongi nii, et teadlased elavad oma valemites ja võrrandites, aga igapäevaelus on hädas? On küll. See on 100% tõsi. See on päris koomiline. Mind on vist väikesest lapsest peale kutsutud professoriks. Vist sugulased kutsusid nii. Ju ma oma käitumise ja hajameelsusega selle põhjustasin. Kui sa mõtled väga intensiivselt millegi üle, su töö ongi mõtlemine, siis tihtipeale tuleb ette perioode, kus kõik muu jääb tagaplaanile. Me saame siin kõvasti naerda üksteise lugude üle.

Krishnendu Chakrabarty oli see hajameelne USA professor

Rääkige mõni lugu. Kolleeg Ameerikast, noor teadlane, hindu, käis Eestis. Tegeleb biokiipide uurimisega. Tore poiss, ei tundunud väga hajameelne, hoopis väga asjalik. Kutsusin külla ja ta rääkis, kuidas sõitis autoga tööle oma ülikooli. Siis pärast nägi, et autot ei ole maja ees ja sattus paanikasse. Kutsus politsei välja, kirjutas seletuskirju. Lõpuks leiti auto üles, ta oli parkinud selle teise kateedri ette. Endal juhtub ka neid kuriioosseid asju küll. Mul on kodus nõudepesumasin, tihti ma valan seal pesuvahendit soola asemele ja vastupidi täiesti suvaliselt. Lähen siis ise ära tööle ja taipan hiljem, mida tegin.

Kas see on tõsi, et aju töötab ka öösel magades mingi probleemiga edasi ja mõtleb lahenduse välja? Palju paremini mõtleb kui päeval, muuseas. See on täiesti nii. Tajusin seda, kui olin ise doktorant. Tihtipeale oli kusagil algoritmis või programmis väga keeruline viga, mida lihtsalt kuidagi ei mõelnud välja. Läksidki magama ja hommikul teadsid, kus see viga on. Seda räägivad nii paljud inimesed, et alateadvus teab rohkem ja töötab võimsamalt.

Mis veel teeb teadlaste elu huvitavamaks? Saab palju reisida. Konverentsid on huvitavates kohtades, ja kolleegid on väga huvitavad.

Konverentsid soojal maal? Jah, kui talvel tahetakse inimesi ligi tõmmata. Soliidsemate konverentsidega on nii, et need ei toimu mitte soojadel saartel, vaid pigem suurtes linnades, nagu Pariis või München. Seal on magnetiks juba tase. Vahepeal oli aeg, kus konverentse tekkis pidevalt juurde. Siis tekkis üleküllastus, vähemalt meie valdkonnas. Kui tahaks Eestis korraldada uut mikroelektroonika teaduskonverentsi, siis see nii lihtne poleks. Maailm on üsna täis.

Arvutisüsteemide uurimisest arvutitehnika instituudis[3]

Sissejuhatus

1958. aasta juulis nägi Texas Instrument'i laboris ilmavalgust *maailma esimene integraalskeem*. See, ühest transistorist ja paarist teisest komponendist koosnev germaaniumitükike, võeti tollel hetkel vastu teatava skeptitsismiga ning esimesed integraalskeeme sisaldavad seadmed loodi alles 1961. aastal. Vähesed oskasid arvata, et **Jack Kilby**[4] leiutisel võib olla kaugeleulatuv mõju ja suur tulevik. Kuid tänapäeval on maailma elektroonikatööstus, oma 1150 miljardi USD suuruse turukapitalisatsiooniga, tõusmas maailma suurimaks tööstusharuks. Ning aastal 2000 tunnustati Jack Kilby tööd teadusmaailma ühe tähtsaima auhinnaga – Nobeli füüsikaauhinnaga.

Elektroonika ning arvutitehnika arengu iseloomustamiseks on sageli kasutatud Inteli asutaja **Gordon Moore'i** poolt 1965. aastal sõnastatud väidet (tuntud ka kui *Moore'i seadus*) mille kohaselt kiibil olevate komponentide arv kahekordistub iga 18 kuuga. Selle eelduseks on kiibikomponentide mõõtmete pidev vähenemine ning odavnemine. Tänaseks (2006. a suveks) on välja töötatud tehnoloogiad, kus kiipide valmistamise täpsuseks on uskumatud 65 nanomeetrit[5] (n.ö 65 nm tehnoloogia). Võrdluseks võib tuua, et HIV-viiruse läbimõõt on 120 nm ja punase verelible oma 6000-8000 nm. Moore'i seaduse esimeseks suuremaks komistuskiviks ennustatakse aega, kui kiibikomponendid kahanevad vaid kümnekonna aatomi suuruseks. Sealt alates on vaja fundamentaalselt uusi lahendusi, kuid vaadates praeguseid arenguid, kehtivad Moore'i seaduse põhimõtted veel umbes 10-20 aastat.

Eelpool kirjeldatud arengute tulemusena on olnud võimalik välja arendada üha keerukamaid tooteid, kus sama maksumuse ja füüsiliste dimensioonide juures on lõpptarbijal ligipääs väga laiale funktsionaalsusele. Näiteks võib tuua telekommunikatsiooniseadmed. Mobiiltelefonid pole ainult kõnede tegemiseks või tekstsõnumite saatmiseks – kolmanda põlvkonna mobiiltelefonid võimaldavad 3G võrgus pidada videokõnesid, vaadata reaalajas televisiooniprogramme, rääkimata fotode tegemisest, ajaplaneerimisest ning muusika kuulamisest. Kõik see on integreeritud ühte pihku mahtuvasse seadmesse. Kui väidetavalt 1943. aastal arvas IBM-i tollaaegne president Thomas Watson, et maailm vajab üldse vaid ehk viit arvutit, siis tänapäeval on arvutid, telekommunikatsioon ja laiatarbe elektroonika jõudnud kõikidesse eluvaldkondadesse, suurendades nii tootlikkust kui ka parandades meie igapäevast elukvaliteeti.

Arvutisüsteemide töökindlus

Veel üsna hiljuti käsitleti elektrooniliste süsteemide töökindluse temaatikat vaid kõrget veakindlust nõudvates valdkondades, nagu näiteks lennundus või meditsiin. Seoses

---

[3] See on artikkel (autorid: Gert Jervan, Peeter Ellervee ja Raimund Ubar), mis esitati kogumikule „Teadusmõte Eestis (IV). Tehnikateadused (II)", Tallinn, 2007, kuid unustati millegipärast kogumikku lisada (ilmselt töötas post tookord halvasti). Avaldame nüüd selle „ära unustatud" artikli käesolevas raamatus, kirjeldamaks teadustöö seisu aastal 2007 arvutitehnika instituudis. Artikkel kirjeldab populaarsel viisil instituudi teadustegemisi põlvkonnavahetuse perioodil, kui „teatepulgad" läksid üle vanematelt kolleegidelt noorematele.

[4] Jack Kilby on USA elektroonikakompaniis Texas Instruments Inc. töötav teadlane, kes koos Vene teadlase Alferovi ja USAs töötava Saksa päritoluga teadlase Kroemeriga said 2000. aastal Nobeli füüsikapreemia IT alaste tööde eest. Kilby sai poole preemiasummast arvutikiibi leiutamise eest.

[5] Aastaks 2016 on jõutud firmas Intel juba 10 nm piirimaile.

elektroonika jõulise tungimisega kõikidesse eluvaldkondadesse, on see aspekt saanud aga märksa laiema kõlapinna. Kui mõningatel juhtudel (nagu näiteks mittetöötav mobiiltelefon) võivad vead põhjustada vaid personaalset ebamugavust, siis missioonikriitilistes süsteemides, nagu näiteks pangandus- või telekommunikatsioonisüsteemides, võivad vead põhjustada ka väga suuri rahalisi kaotusi.

Et tagada süsteemi töökindlus, on vead vaja avastada enne, kui ilmnevad nende vigade tagajärjed. Kuna vigade avastamine kaasaegsetes süsteemides on ülikeerukas ülesanne, tuleb sellega arvestada ja tegeleda juba ennetavalt nii süsteemi loomise kui ka tootmise käigus. Näiteks on juba süsteemi loomise varases staadiumis oluline kindlaks teha, et luuakse õiget süsteemi (vastavus esialgsele ideele) ja et süsteem luuakse õigesti (süsteemi võime pakkuda ettenähtud funktsionaalsust). Selliseid tegevusi nimetatakse üldisemalt verifitseerimiseks ja valideerimiseks. Samuti tuleb avastada tootmisprotsessi käigus tekkinud defektid. Defektide klassikaliseks näiteks on valesti ühendatud juhtmed või kontaktide vahele jäänud tolmukübe. Defektide avastamiseks tuleb süsteemile ette anda kindlad sisendandmete kombinatsioonid ja analüüsida süsteemi väljundit. Kui väljund on erinev korrektselt toimiva süsteemi väljundist, võib öelda, et süsteem on vigane. Sellist tegevust nimetatakse laiemalt riistvara testimiseks. Testimist on võimalik kasutada ka süsteemi edasise eluea jooksul, et avastada rikkeid, mis on põhjustatud keskkonna mõjudest (temperatuur, niiskus), elektromagnetilisest kiirgusest (kosmilised osakesed), kulumisest, vananemisest jms.

Testimine, diagnostika ja parandamine moodustavad juba tänapäeval kuni 70% süsteemide tootmiskuludest. *International Technology Roadmap for Semiconductors* (ITRS)[6] ennustab dekaadi lõpuks aga selliste kiipsüsteemide teket, mis koosnevad neljast miljardist 50-nm tehnoloogia transistorist, opereerivad kiirusel üle 10 GHz ja pingel alla 1 V. Selliseid nanostruktuuridel põhinevaid kiipsüsteeme võivad hakata häirima uut tüüpi vead ja rikked, mis teeksid taolised süsteemid mittesobivaks veakriitilistes rakendustes, niikaua kuni süsteemi ei ole teadlikult sisse ehitatud veakindluse garanteerimise ja rikete kompenseerimise mehhanisme. See paneb pooljuhtide tööstuse tõenäoliselt olukorda, kus ühe transistori testimine osutub peatselt kallimaks kui selle tootmine ning seoses süsteemide keerukuse ja elementide tiheduse kasvuga muutub testimine digitaalsüsteemide loomis- ja tootmisprotsessi üheks kriitilisemaks osaks.

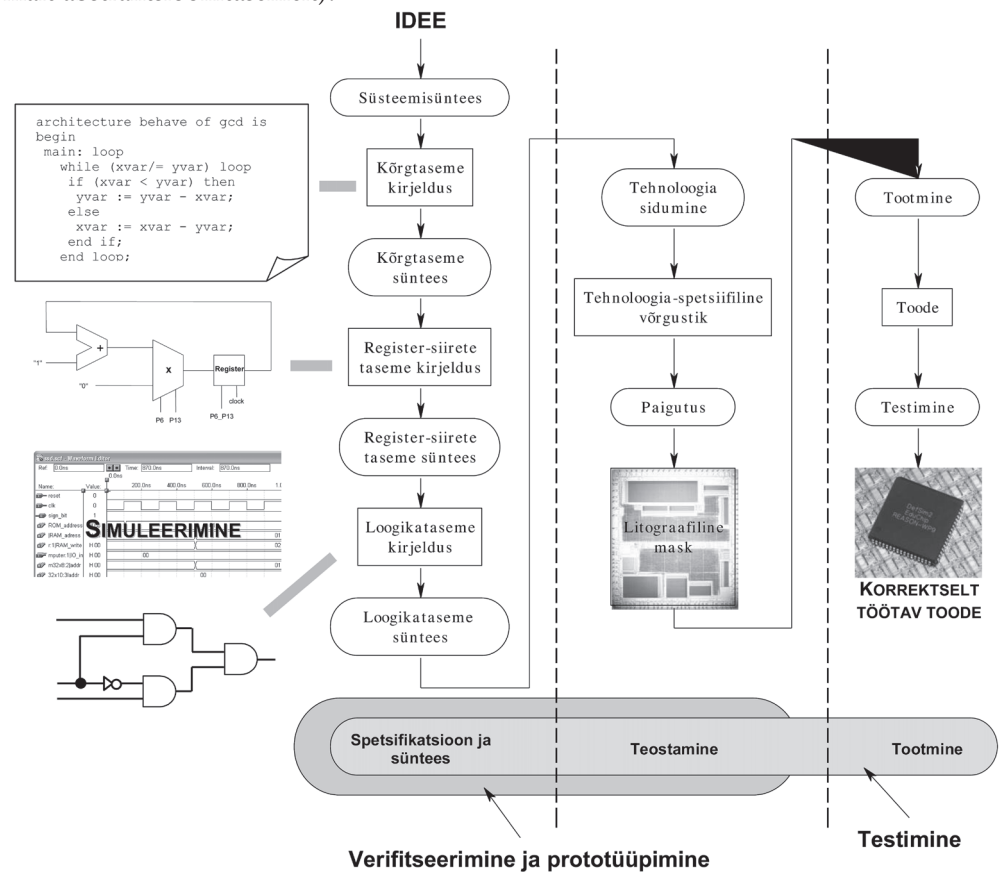
Saamaks paremat ettekujutust keerukate arvutisüsteemide alasest teadustööst, kirjeldame järgnevalt digitaalsüsteemide disaini- ja tootmisvoogu, tutvustades selle voo põhilisi tegevusi ja tulemusi. Seejärel tutvustame Tallinna Tehnikaülikooli arvutitehnika instituudi seniseid saavutusi nii arvutisüsteemide sünteesi, veakindluse kui ka testimise valdkonnas. Peatume arvutisüsteemide sünteesi ja analüüsi hetkeprobleemidel, kirjeldame teoksil olevat teadustööd nii digitaalsüsteemide disaini kui ka testi valdkonnas, ning loetleme tähtsamaid ees seisvaid probleeme.

Keerukate digitaalsüsteemide loomine ja tootmine

Ülisuurte integraalskeemide arendamise ja tootmise võib jagada kolme faasi: *spetsifitseerimine ja süntees, teostamine ning tootmine* (vt. joonis lk.517). Spetsifitseerimise ja sünteesi faasis kirjeldatakse loodavat süsteemi. Seda on võimalik teostada erinevatel abstraktsioonitasemetel: funktsionaalsel, register-siirete või loogika tasemel, kasutades erinevaid kir-

[6] http://www.itrs.net/

jeldamise keeli, nagu näiteks VHDL, *Verilog, System*C jt. Igal abstraktsioonitasemel on loodava süsteemi kohta saadaval erinev kogus informatsiooni. Alati on ära kirjeldatud loodava süsteemi funktsionaalsus, kuid madalamatel tasemetel lisandub sellele täiendav tehnoloogiline informatsioon, mida on vaja süsteemi hilisemaks tootmiseks. Süsteemi kirjelduse teisendamisel ühelt abstraktsioonitasemelt teisele kasutatakse erinevaid sünteesialgoritme ning tüüpiliselt eristatakse järgnevaid sünteesimise samme (alustades kõrgeimalt abstraktsioonitasemelt):



Digitaalsüsteemide disaini- ja tootmisvoog

1. **Süsteemisüntees**. Kõrgeimal abstraktsioonitasemel kasutatakse süsteemi kirjeldamiseks tavaliselt funktsionaalset kirjeldust, koos erinevate piirangute ja nõudmistega süsteemi teostamiseks. Sellised kirjeldused võivad olla esitatud tavalise tehnilise dokumendina ning eesmärgiks on kõikide süsteemile esitatavate nõuete võimalikult täpne kirjeldamine. Süsteemisünteesi peamine eesmärk on jaotada süsteem väiksemateks alamsüsteemideks (kommunikeeruvateks protsessideks), mida on kergem hõlmata, luua nendele liidesed ja paika panna protsesside vaheliseks suhtluseks kasutatavad protokollid. Lisaks tuleb igale protsessile luua ka käitumuslik kõrgtaseme mudel, mida saaks kasutada sisendiks kõrgtaseme sünteesile.
2. **Kõrgtaseme süntees** kasutab sisendina kirjeldusi, kus on ära kirjeldatud erinevad operatsioonid, mida teostada, et saada soovitud väljund etteantud sisendite juures. Riistvara kõrgtaseme kirjelduselemendid on sarnased programmeerimiskeeltes kasutatavatele, sisaldades muuhulgas erinevaid kontrollstruktuure ja muutujaid, koos nendele rakendatavate operatsioonidega. Samamoodi sarnaneb riistvara

kõrgtaseme kirjelduste loomine programmeerimisele. Tuleb kirjutada programm, mida oleks võimalik kompileerida. Erinevus tuleb vaid sellest, et siin kompileeritakse kirjeldusest riistvara moodulid. Sellist ränikompileerimist nimetatatksegi kõrgtaseme sünteesiks. Kõrgtaseme sünteesi kolm peamist alamülesannet on:

- ressursside hõivamine (vajalike komponentide tüüpide, nagu näiteks liitjad, võrdlejad jms. valimine);
- planeerimine (igale operatsioonile sobiliku ajahetke määramine);
- sidumine (operatsiooni sidumine selle täitmiseks sobiva funktsionaalse sõlmega).

Kõrgtaseme sünteesi väljundiks on süsteemi kirjeldus register-siirete tasemel, kus disain on jaotatud kontrollosaks ja andmeosaks. Andmeosa, mis tüüpiliselt koosneb funktsionaalsetest blokkidest, mälust ja nendevahelistest ühendustest, teostab operatsioone sisendandmetega, et saavutada ettenähtud väljund. Kontrollosa kontrollib aga andmete töötlemise järjekorda ning on tavaliselt esitatud oleku-siirete tabelina, mida on võimalik hilisemates sünteesimise sammudes kasutada kontrolleri sünteesimiseks.

3. **Register-siirete taseme süntees** kasutab sisendina register-siirete taseme kirjeldust, mis on jaotatud kontrollosaks ja andmeosaks. Sellel sammul täpsustatakse komponentide sisestruktuuri arvestades ette antud viite ja/või suuruse piiranguid. Kontrollosa jaoks toimub aga vajaliku kontrolleri süntees, luues sobilik kontrolleri arhitektuur, kasutades sisendina eelnevalt genereeritud olekuid ja olekute siirdeid.
4. **Loogikataseme süntees** saab endale sisendiks tehnoloogiast sõltumatu süsteemi kirjelduse, mis koosneb kombinatoorsetest komponentidest ja mälu elementidest. Sellel sammul tegeletakse süsteemi täiendava optimeerimise ja loogika minimeerimisega. Tulemuseks on süsteemi kirjeldus loogikalülide tasemel.

Teostamine

Teostamise faasis luuakse spetsifikatsioonis kirjeldatud funktsioonide täitmiseks vajalike komponentide skeemid ja disainist luuakse *litograafilised maskid*, kus on ära määratud transistoride ja neid ühendavate traatide paiknemine toodetavas kiibis. Disaini teisendamisega loogikalülide tasemelt füüsikalisele tasemele algab tehnoloogia sidumine. Selle sammu sisendiks on skeem abstraktsetest loogikaelementidest (tehnoloogiast sõltumatu), konkreetse tehnoloogia põhikomponentide teek ja erinevad disainile seatud piirangud (nagu näiteks sagedus, energiatarve jms.). Tehnoloogia sidumise käigus valitakse loogikataseme sünteesi tulemusena saadud loogikalülide skeemile sobivad põhielemendid, et realiseerida disain valitud tehnoloogias. Selle tegevusega lõppeb ka sünteesi tsükkel. Saadud elementide asetus võimaldab disaineril juba tuletada mitmeid olulisi disaini parameetreid, nagu näiteks koormustakistus ja mahtuvus, mida kasutatakse erinevate disaini parameetrite (eelkõige kiiruse) kontrollimiseks. Parameetrite kontrollimine on tänapäevastes allamikronilistes tehnoloogiates üks oluliseima tähtsusega samme, kuna ka kõige väiksemad variatsioonid võivad kaasa tuua toote mittevastavuse etteantud spetsifikatsioonile.

Tootmine

Tootmise käigus valmistatakse *litograafiliste maskide* põhjal alusplaadil[7] asuvad kristallid. Enne alusplaadist väljalõikamist toimub vigaste kristallide identifitseerimiseks esmane testimine. Terved kristallid pakitakse korpustesse, testitakse veelkord ja valmis kiibid saadetakse klientidele. Neid kiipe on võimalik kasutada juba suuremate süsteemide, nagu näiteks mobiiltelefonide või olmeelektroonika koostamiseks, nagu seda tehakse mitmetes tehastes üle Eesti.

[7] Nimetatakse ka vahvliks (*wafer*) oma regulaarse struktuuri ja ümmarguse kuju pärast.

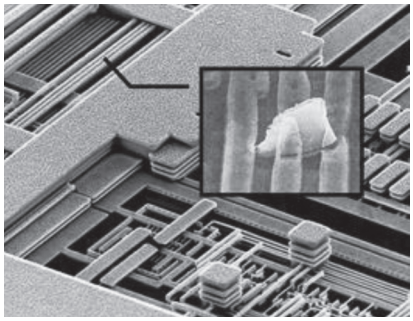
Tänu mikroelektroonika tehnoloogiate viimastele arengutele on ühte kivisse võimalik integreerida üha suuremat arvu transistore ning väga erinevaid funktsioone. Juba täna on turul laiatarbe tooted, mis on toodetud 65 nm tehnoloogias. Sellised arengud võimaldavad integreerida ühele kiibile terve keeruka digitaalsüsteemi ning tekkinud on uus disaini paradigma – *kiipsüsteemid* (*SoC – System-on-Chip*). Kiipsüsteemide puhul on ühte ülisuurde integraalskeemi integreeritud väga erinevad funktsionaalsed plokkid (tuumad), nagu näiteks protsessorituumad, mälud, dekoodrid. Lisaks on samale kristallile võimalik paigutada ka analoogelektroonikat, nagu näiteks analoog/digitaalmuundurid jms. Niisugune projekteerimisstiil on toonud endaga kaasa uue mõiste: disainide taaskasutus. Taaskasutuse eesmärgiks on süsteemi loomine n.ö. lego põhimõttel, kasutades varemprojekteeritud ja verifitseeritud disainiosi, vähendades sedasi projekteerimiseks kuluvat aega ning projekti maksumust. Arvestades fakti, et projekteerimise jõudlus (nii inimtööjõu oskused kui ka projekteerimiseks kasutatav tarkvara võimsus) kasvab aeglasemas tempos, kui tootmistehnoloogiate areng, on disanide taaskasutus sisuliselt ainukene võimalus tagada toodete õigeaegne turule jõudmine.

Verifitseerimine

Disainide keerukuse suur kasv koos tootmisprotsessi miniaturiseerumisega tähendab aga vigade tekkimise tõenäosuse suurt kasvu. Süsteemide töökindluse suurendamiseks kasutatakse kahte erinevat sorti tegevusi: verifitseerimine ja testimine (vt. joonis lk. 517). Üldlevinud meetod disainide verifitseerimiseks on tänapäeval nende tarkvaraline simuleerimine erinevatel abstraktsioonitasemetel. Tarkvaralise simuleerimise korral luuakse disaini mudeli ümber spetsiaalne tarkvaraline testpink, mille abil on võimalik genereerida vajalikud sisendandmete kombinatsioonid ning analüüsida väljundeid. Mõningatel juhtudel kasutatakse simuleerimist ka siis, kui kiibi esimene prototüüp on juba valminud. Kuna keerukate disainide täielik simuleerimine on praktikas võimatu, siis simuleerimispõhine verifitseerimine annab vaid mõningase kindluse disaini korrektsuse osas. Üheks alternatiiviks on kujunemas formaalne verifitseerimine, mis kasutab matemaatilisi meetodeid disaini korrektsuse tõestamiseks. Kuna selles valdkonnas vajalikud töövahendid aga praktiliselt puuduvad, siis formaalne verifitseerimine, välja arvatud mõningad spetsiifilised meetodid nagu sarnasuse kontroll, ei ole seni saavutanud laiemat populaarsust.

Testimine

Testimine kontrollib, et tehases toodetud kiip täidab neid funktsioone, milleks ta on ette nähtud. Testimise eesmärgiks ei ole kontrollida disaini korrektsust; vastupidi, testimisega kontrollitakse tootmisprotsessi korrektsust. Seda teostatakse juba toodetud kiipidel või kividel, kasutates testvektoreid, mis on genereeritud eesmärgiga tõestada vigade puudumist tootes. Samamoodi on testimist võimalik kasutada toote hilisema eluea jooksul, et avastada vigu, mis on tekkinud keskkonna, vananemise või teiste faktorite tõttu.
Üheks vigade põhjustajad on erinevad defektid, nagu näiteks osakesed, mis tekitavad lühiseid (vt. joonis 2), ebaõiged ühenduste vahelised kaugused, materjalide ebapuhtus jmt. Tüüpiline 200 mm alusplaat 0,25 µm tehnoloogias sisaldab plaadi mõlemal teljel sadu tuhandeid geomeetrilisi elemente (tüüpiliselt ristkülikulised kujundid, mida kasu-



Vaade kiibi sisemusse koos näitega ühendusi lühistavast defektist (väikeses aknas)

tatakse transistoride ja nende vaheliste ühenduste loomiseks). See tähendab, et iga alusplaadi kihil on miljardeid geomeetrilisi elemente. Mõningad aastad tagasi oli kiipidel kuus metallikihti ning litograafiliste maskide koguarv küündis üle 20. Tänapäevaste 90 nm ja 65 nm tehnoloogiate puhul on metallikihtide arv aga tõusnud seitsmeni ning alusplaatide läbimõõt suurenenud 300 millimeetrini. Kuna defektid võivad esineda igas geomeetrilises elemendis ja igal kihil, siis on võimalike defektide arv tohutu. Lisaks sellele toimub kiipide tootmine mitmeastmelise protsessina, kus igal sammul võivad tekkida erinevad defektid. Kõigest sellest johtuvalt on ka defektide leidmiseks vajalik testimine ülikeeruline protsess.

Keerukate arvutisüsteemide alane uurimistöö Tallinna Tehnikaülikoolis

CAD projekteerimistarkvara töökoht

Tallinna Tehnikaülikooli arvutitehnika instituut (ATI) tekkis oma tänasel kujul 1992. aastal, kuid selle eelkäija loodi elektronarvutite kateedri näol juba 1966. aastal. ATI teadustöö põhisuundadeks on olnud keerukate digitaalsüsteemide projekteerimine, diagnostika ja testimine, kus on saavutatud rahvusvaheliselt kõrge tunnustuse saanud teadustulemusi. Selle eelduseks on olnud nii kvalifitseeritud teadustöötajate kui ka vajaliku laboratoorse baasi olemasolu. Nendes valdkondades on see viimane tihtipeale nähtamatu. Millestki erilisest annavad aimu vaid spetsiaalses jahedas ruumis mühisevad võimsad serverid. Põhjus on tänapäevaste digitaalsüsteemide ülisuures keerukuses – süsteemide loomine ja analüüs on võimalik vaid spetsiaalse projekteerimise ehk CAD tarkvaraga (*CAD – Computer Aided Design*). CAD tarkvara nõuab suurt arvutusvõimsust ja sedasi jääbki kaasaegse arvutiinseneri lauale vaid tavalisele kontoriarvutile sarnanev riistapuu, millel küljes keskmisest suurem ekraan. Kõik ülejäänu toimub kõrvaliste pilkude eest varjus olevates serverites.

CAD tarkvara ei ole lihtne ja ta ei ole ka odav. Kui tavaline kontoritarkvara maksab tuhandeid kroone ning tarkvara arenduseks kasutatavad arendussüsteemid kümneid või sadu tuhandeid kroone, siis riistvara loomiseks kasutatav CAD tarkvara maksab kümneid või sadu tuhandeid USA dollareid. Tavalisele ülikoolile oleks sellise tarkvara omandamine võimatu, kui ei oleks Euroopa Liidu poolt ellu kutsutud initsiatiivi EUROPRACTICE.[8] EUROPRACTICE-i eesmärgiks on vahendada CAD tarkvara akadeemilistele asutustele oluliselt soodsamatel tingimustel (suuresti tänu vastava valdkonna tööstuse vastutulelik-

[8] http://www.europractice.com/

kusele, mis on mõistnud järelkasvu koolitamise toetamise vajalikkust) ning alates 1993. aastast on ATI olnud EUROPRACTICE-i ja selle eelkäija EUROCHIP täieõiguslik liige (olles üks esimesi institutsioone Kesk- ja Ida Euroopast, mis selle organisatsiooni liikmeks võeti). Hetkel on ATI's esindatud kõigi kolme suurima CAD tarkvara tootja Cadence, Synopsys ja Mentor Graphics projekteerimissüsteemid ning tänu EUROPRACTICE-i uuendus- ja hoolduspoliitikale on saadaval alati tarkvara viimane versioon, mis on võrdväärne samal ajal tööstuses kasutatavaga. Disainivoogu täielikult katvad programmid võimaldavad nii teadlastel kui ka tudengitel töötada digitaalsüsteemide projekteerimise kõikide etappidega. Seda tarkvara kasutataksegi näiteks väga aktiivselt ATI teadurite ja õppejõudude poolt loetavates kursustes, nii bakalauruse-, magistri- kui ka doktoriõppe valdkondades. Sisuliselt on igal tudengil võimalik oma idee ränisse kompileerida ja sellest kiip lasta valmistada. Selline keskkond võimaldab TTÜ tudengitel omandada Lääne-Euroopa inseneride tasemele vastavat haridust ja treenitust, aga samuti kujutab endast tehnilist baasi nii inseneri- kui ka teadustegevuse toetamiseks Eestis kaasaegse elektroonika projekteerimisel. On loodud eeldused nii euroinseneride koolituseks kui ka väikeettevõtete arendustegevuse toetuseks elektroonika disaini valdkonnas. Oluline on siinkohal märkida, et tänu sellisele tarkvarakeskkonnale valmis 1997. aastal ATI-s **Jüri Põldre** eestvedamisel *Eesti esimene ülisuur integraalskeem*, mis jõudis ka prototüüptootmiseni. Tegemist oli andmevahetuse krüpteerimiseks mõeldud kiibiga, mille keerukus vastas Intel 386 protsessorile.

Rahvusvaheline koostöö

Lisaks inimestele ja arvutitele on tänapäeva maailmas edukuse üheks eelduseks ka koostöö. Eriti selliselt kiiresti arenevas valdkonnas, nagu seda on infotehnoloogia. ATI teadlastel on aja jooksul välja kujunenud aktiivne koostöö rohkem kui 40 teadusasutusega Lääne-Euroopas ja USA-s. ATI tudengid on olnud külalistudengiteks sellistes Euroopa mikroelektroonika alase teadustöö kantsides nagu Grenoble, Darmstadt, Dresden, Kista (Stockholm) jpt. On osaletud kümnekonnas teadusprojektis, mida on finantseeritud läbi Euroopa Liidu programmide TEMPUS, COPERNICUS, PECO, ESPRIT, FP5 ja FP6. Nende projektide raames on välja kujundatud mastaapne rahvusvaheline koostöö erinevate uurimisgruppidega nii Lääne- kui ka Ida Euroopas, olles seejuures liidriks paljude alamprojektide ja ühisuuringute läbiviimisel. Koostööpartneritest võib näiteks tuua Kuningliku Tehnoloogiaülikooli ja Linköpingi Ülikooli Rootsist, Darmstadti ja Ilmenau Tehnikaülikoolid Saksamaalt, Warssavi Tehnoloogiainstituudi Poolast, TIMA Laboratooriumi Prantsusmaalt, Fraunhoferi Instituudi Saksamaalt, Slovakkia Teaduste Akadeemia Informaatikainstituudi Slovakkiast jmt. Koostöö edukust ja ulatust illustreerib ilmekalt viimase 3 aasta jooksul 28 teadlasega 11 riigist (USA, Prantsusmaa, Saksamaa, Rootsi, Taani, Poola, Slovakkia, Bulgaaria, Ukraina, Venemaa ja Valgevene) kirjutatud 38 ühisartiklit eelretsenseeritavates väljaannetes. Instituudi teadlased on olnud mitmete rahvusvaheliste konverentside põhiorganisaatoriteks, nagu näiteks IEEE European Test Symposium ning European Board Test Workshop, mis toimusid 2005. aasta kevadel Tallinnas (ja üldse esimest korda väljaspool Lääne Euroopat), IEEE East-West Design & Test Workshop (3 korda), IEEE Norchip ja teised.

Eesti sisene koostöö

Hiljuti lõppenud EL-i FP5 projekti EViking II raames toimus ATI teadlaste koostöö Eesti firmadega Artec Design, Ericsson Eesti, AS Cybernetica jt. Arvutitehnika instituut on üheks partneriks tehnoloogia arenduskeskuse ELIKO[9] tegevuses, mida rahastatakse läbi Ettevõtluse Arendamise Sihtasutuse (EAS). Hiljuti oldi edukad EAS-i koordineeritavas teaduse infrastruktuuri uuendamise programmis, mille tulemusena peaks aastaks 2008 TTÜ-s valmima uudne sardsüsteemide uurimise keskkond. Nimetatud labori loomine toimub koostöös TTÜ elektroonika instituudi teadlastega.

ATI teadlaste baasil moodustati ka üks TTÜ tippkeskusi ning täna kuulutakse Haridus- ja Teadusministeeriumi teaduse tippkeskusesse *„Töökindlate Arvutisüsteemide Uurimise Keskus"* (CDC), mille raames toimub koostöö Tartu Ülikooli ja TTÜ Küberneetika Instituudi teadlastega Eesti ulatuses.

Teadustemaatika aktuaalsus

Eelpool nimetatud koostöö ja üles ehitatud tipptasemel laboratoorne keskkond on loonud vajalikud eeldused edukaks teadustööks. Oleme saavutanud uusi teadustulemusi, mis võimaldavad tõsta digitaalsüsteemide projekteerimise efektiivsust, kvaliteeti ja veakindlust. Diagnostika ja veakindlus on täna ja veel enam homme võtmeprobleemiks konkurentsivõime tagamisel süsteemide projekteerimisel ja valmistamisel. Uurimisgrupi põhitulemused on seotud isetestivate süsteemide projekteerimisega ja efektiivsete testisünteesi ning -analüüsi meetodite väljatöötamisega ja automatiseerimisega. Kui klassikaliselt tuleb testimiseks süsteem ühendada spetsiaalse riistvaraga, mida nimetatakse testriks, siis isetestivad süsteemid suudavad ise aru saada, kas nad on vigased või mitte. Eriti oluline on selline omadus näiteks telekommunikatsioonisüsteemides, sest keset põlde asuva mobiilside tugijaama juurde oleks testimiseks vajalike seadmete kohale vedamine piisavalt tülikas, et mitte öelda võimatu. Selle asemel teostavad need seadmed perioodilisi eneseteste ja vaid rikke ilmnemisel saadavad nad välja veateade ning masti juurde tuleb saata remondibrigaad. Testimine ise on aga ülikeeruline protsess. Seetõttu tuleb seda teha niivõrd optimaalselt (parima kvaliteediga ja lühima ajaga), kui vähegi võimalik. Testimine ise toimib mingi kindla algoritmi alusel ja seda protsessi, kus antud süsteemile genereeritakse sobivad algoritmid, testjadad või testprogrammid nimetatakse testisünteesiks. Selles valdkonnas on ATI teadlastel väga suured kogemused ja ette on näidata laia rahvusvahelist kõlapinda saanud tulemused. Nende tulemuste aluseks on uudne otsustusdiagrammidel põhinev graafiteooria digitaalsüsteemide diagnostiliseks modelleerimiseks, mis erinevalt klassikalistest meetoditest on üldisem ja võimaldab tehnoloogia kiiret muutumist silmas pidades välja töötada ajalises mõttes püsivamaid ning universaalsemaid modelleerimise ja diagnostika meetodeid. Saavutatud teadustulemusi kasutades on väljatöötatud diagnostikatarkvara Turbo Tester[10], mis on ülemaailmselt väga populaarseks muutunud. Seda on kasutatud ligi sajas instituudis rohkem kui 30-st riigist.

Kõige olulisemaks uurimis- ja arendustöö tulemuseks töögrupi pikemat arengu perspektiivi silmas pidades tuleks lugeda paljude projektide tulemusena ülesehitatud eksperimentaaluuringute keskkonda, mida iseloomustab:

[9] http://www.eliko.ee/
[10] http://www.pld.ttu.ee/tt/

- digitaalsüsteemide disaini ja testi tarkvaraga toetatud uurimisobjektide matemaatiliste mudelite, uurimistasandite ning analüüsi- ja sünteesimeetodite varieeruvus, mis võimaldab kergesti formuleerida uusi probleeme ning lahendusideede katsetamiseks operatiivselt kombineerida erinevaid eksperimentaaluuringute stsenaariume;
- keskkonna virtuaalsus e. tarkvara distantskasutuse võimalus, mis teeb keskkonna atraktiivseks ka välispartneritele ja mille tõttu on paljude aktiivsete koperatsioonisidemete taustal arvutitehnika instituudist kujunenud hästi tuntud rahvusvaheline keskus digitaaldisaini ja -diagnostika valdkonnas.

Uurimistulemusi arvutisüsteemide sünteesi, modelleerimise ja analüüsi vallas

Mikroelektroonika tormiline areng, st. üha suurenev transistoride arv kristallil, on toonud kaasa vajaduse projekteerimise automatiseerimiseks, sest vastasel korral võtaks mikroskeemi projekteerimine üha rohkem ja rohkem aega. Suurema arvu projekteerijate rakendamine poleks lahendus, sest esiteks oleks vaja pidevat sünkroniseerimist eri inseneride ja meeskondade vahel, mis aga kahandaks drastiliselt jõudlust. Teiseks poleks nii suurt arvu projekteerijaid lihtsalt kusagilt võtta. Enne eelmise sajandi viimast kümnendit olid edukalt lahendatud ja praktilises projekteerimises rakendatud nii füüsikalise kui ka loogikataseme projekteerimise automatiseerimisega seotud probleemid. Oma panuse nende lahendamisse on andnud ka ATI teadlased. Seda eelkõige loogikataseme sünteesi ühe etapi, juhtautomaatide sünteesiga seotud tükeldamisülesannetes. Vajadus tükeldamise järele tulenes mikroelektroonika arengust – mida suuremaks skeemid kasvasid, seda keerukamaks muutusid ka algoritmid, mida oli võimalik skeemis realiseerida. Samas kasvas koos sellega eksponentsiaalselt ka projekteerimise keerukus, sest keerukamate algoritmide puhul kasvas ka nende analüüsi maht jõudmaks piisavalt hea realisatsioonini. Algoritmi tükeldamine võimaldab analüüsi keerukust oluliselt kahandada ja seeläbi projekteerimist kiirendada. Seejuures on oluline, et ka tükeldamine ise oleks efektiivne, mis omakorda nõuab sügavat teoreetilist analüüsi ja optimaalseid tükeldamise algoritme.

Sajandi lõpuks jõudis ka register-siirete taseme automatiseerimine praktilisse kasutusse. Samas on aga projekteerimise automatiseerimine kogu aeg olnud n.ö. taga-ajaja osas ega ole suutnud areneda samas tempos kasvavate tehnoloogiliste võimalustega ning sellega seonduva süsteemide keerukuse kasvuga. Lisaks on suurenenud loogikamaht ja töökiirused otseses konfliktis energiaeraldusega ja skeemisiseste müradega. Kõik see on toonud kaasa olukorra, et nii käitumusliku kui ka süsteemi taseme projekteerimise automatiseerimise areng pole olnud võrreldav madalamate abstraktsioonitasemete omadega. Edusamme on tehtud, st. kasutusel on mitmeid käitumusliku taseme sünteesivahendeid, kuid nad on spetsialiseeritud ja pole nii universaalsed kui madalamate tasemete sünteesivahendid.

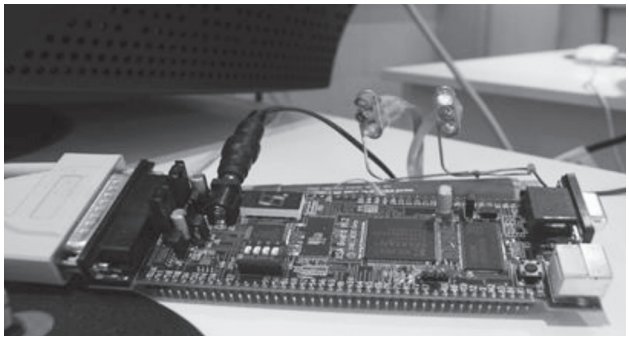
Kaasaegsete digitaalsüsteemide projekteerimise kasvava keerukusega kaasneb terve hulk erinevaid probleeme. Üldjoontes on nad kõik seotud vajadusega tuua uus toode võimalikult kiiresti turule, et mitte konkurentsis alla jääda. Olgu märgitud, et mikroskeemi projekteermise tsükli pikkuseks on praegu üksnes 12 kuud. Seetõttu on äärmiselt oluline, et juba esimene versioon mikroskeemist oleks töökõlblik, st. (1) kõik olulised riistvara komponendid on töökorras ning (2) rakendus- ja süsteemitarkvara on mikroskeemi tehasest saabumisel valmis. Probleemi olulisuse illustreerimiseks võiks tuua fakti, et üle 40% mikroskeemide esimestest versioonidest sisaldavad funktsionaalse loogika vigu.[11] Kõige lihtsam viis funkt-

[11] Aart de Geus (Synopsys, Inc., CEO) ettekanne Boston SNUG-l, 9. sept. 2003.

sionaalsuse kontrolliks on süsteemi tarkvaraline simuleerimine, mida nimetatakse *valideerimiseks*. Kahjuks ei suuda simuleerimine oma aegluse tõttu tagada õigeaegset korrektsuse kontrolli ja üha rohkem otsitakse võimalusi simuleerimisprotsessi kiirendamiseks.

Väljapääsu nähakse eelkõige *emuleerimises* (riistvaralises simuleerimises) kasutades *väliprogrammeeritavat loogikat* (FPGA). Lisaks simuleerimise kiirendamisele on saavutatav ka otsene hinnavõit, sest kiipide valmistamise maksumus järjest kasvab ja seda just kaudsete kulutuste osas, nt. *maskikomplekti* hinnad järjest tõusevad, samas kui FPGA-de hind pidevalt langeb. Samuti sisaldavad moodsamad FPGA-d lisaks integreeritud mälumoodulitele ka integreeritud *protsessorituumi*. Sarnaseid ekperimentaalsüsteeme on loodud mitmeid ja nad on osutunud edukaks. Kahjuks on enamasti tegemist aga mitut FPGA-d sisaldavate keerukate ja kallite süsteemidega, mis teeb nende laialdase kasutamise raskeks, seda eriti just väikefirmade seisukohalt. Kuna ka Eestis on elektroonika projekteerimisega seotud just eelkõige väikefirmad, siis kehtib see ka nende kohta.

Universaalsemate *emuleermiskeskondade* loomisega koostöös teiste ülikoolidega tegeldakse ka ATIs. Siinkohal on rahvusvaheline ja ülikoolisisene koostöö lausa hädavajalik, kuna süsteemide komponente modelleeritakse erinevatel abstraktsioonitasemetel – osad neist on esitatud kui algoritmid mõnes programmeerimiskeeles, osad aga riistvarakirjelduskeeltes skeemidena kas register-siirete või lausa loogika tasemel. Ja loomulikult on võimalikud ka vahepealsed abstraktsioonitasemed. Kõigi nende erinevate abstraktsioonitasemete modelleerimiseks ühtse tervikuna tuleks rakendada nii *riist- ja tarkvara koosdisaini*, kõrgtaseme sünteesi kui ka FPGA-de riistvaraliste kiirdenditena rakendamise metoodikaid. Neist esimese puhul vaadeldakse süsteemi kirjeldust esialgu tervikuna, ilma jagamiseta tark- ja riistvara vahel. Projekteerimise käigus otsustatakse, millised funktsioonid realiseeritakse tarkvaras ja milliste jaoks tuleks projekteerida spetsiaalsed riistvaramoodulid. Loomulikult vajab tarkvara oma tööks protsessoreid ja seega oleks riistvara seisukohalt tulemuseks süsteem, mis koosneb erinevatest protsessoritest ja teistest riistvaramoodulitest. Antud teemadel on toimunud pika-ajaline koostöö ATI ning Darmstadti Tehnikaülikooli (Saksamaa) ja Kuningliku Tehnikaülikooli (Stockholm, Rootsi) teadlaste vahel.



FPGA arendusplaat

Ka kõrgtaseme sünteesi alal on toimunud tihe koostöö Kuningliku Tehnikaülikooli ja ATI vahel. Selle tulemusena on valminud prototüüp-süsteem kõrgtaseme sünteesiks, mis on häälestatud eelkõige *kontrollvoopõhiste algoritmide* realiseerimiseks. Ka FPGA-de kasutamisel riistvaraliste kiirenditena on instituudis saavutatud häid tulemusi. Nii näiteks on ATIs välja töötatud meetodid, algoritmid ja vastav riistvara, mis võimaldavad rikete tarkvaralise simuleerimise asendamist emuleerimisega saavutada *mitmekümne- kuni mõnesajakordset kiiruse võitu*. See omakorda lubab läbi analüüsida suuremat hulka erinevaid testimis-strateegiaid ja seeläbi tõsta valminud mikroskeemide testimise usaldatavust.

Uurimistulemusi arvutisüsteemide testide sünteesi ja analüüsi vallast

Testimine on kvaliteedi ja kulutuste ehk raha dilemma. Mida rohkem ja põhjalikumalt testida, seda kindlamalt saaksime garanteerida süsteemi testimise kvaliteeti (*usaldusväärsust*). Aga testimine tähendab ka kulutusi. Mida rohkem testime, seda rohkem kulutame aega ja ressursse ehk kokkuvõttes raha. Samas, kui testiksime ebapiisavalt, siis riskiksime rikete mitte avastamisega ja vigade avaldumisega süsteemi hilisemas töös, mis lõppkokkuvõttes tuleks trahvide ja kompensatsioonide näol kinni maksta. Teoreetilised arvutused ühe konkreetse mikroprotsessori puhul näitasid kord, et ühe konkreetse mikroprotsessori ammendavaks testimiseks läheks vaja 37 (!) aastat. Samas, traditsiooniliselt kulutatakse tööstuses ühe mikroprotsessori testimiseks konveieril vaid umbes 10 sekundit, mis rahuldab aga piisavalt praktilisi vajadusi.

Tehnilise diagnostika filosoofiliseks põhiküsimuseks on: *kui palju testida konkreetset süsteemi* olemaks kindel, et see on töökorras. Teoreetiliste uuringute praktilise eesmärgi võib siin eelpool toodud näite valguses formuleerida ka nii: kuidas leida niisugusi teste, mis võimaldaksid testimisaega vähendada 37 aastalt 10 sekundile. Just niisuguse probleemi lahendamisel on ATI-s saavutatud märkimisväärseid tulemusi. Neid iseloomustavad viimase 10 aasta jooksul saadud 10 Euroopa projekti, 8 ETF-i granti, üle 200 publikatsiooni, üks monograafia, Eesti Vabariigi Teaduspreemia tehnikateaduste alal ning terve rida teaduspreemiaid töös osalenud noorteadlastele. Uuringute praktilise väljundina on instituudis loodud kaks testide generaatorit – kaks programmide süsteemi, mis võimaldavad automaatselt sünteesida antud elektroonikaseadmele testprogramme ja analüüsida viimaste kvaliteeti ning anda hinnangut testimise usaldusväärsusele.

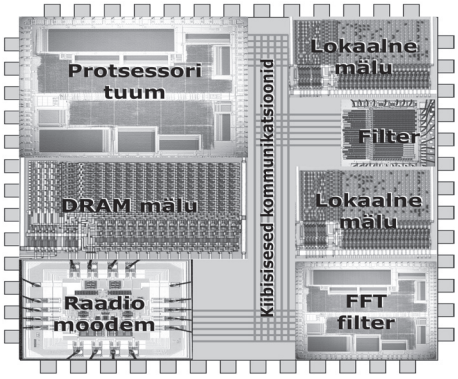
Esimene generaator nimetusega Turbo Tester on mõeldud *„suhteliselt lihtsate" umbes kuni 100 tuhandest loogikaelemendist koosnevate digitaalskeemide jaoks*. Generaator on äärmiselt tarbijasõbralik ja seetõttu saanud atraktiivseks ka mujal maailmas, teda on kasutatud rohkem kui 100 ülikoolis või uurimislaboris rohkem kui 30 riigis üle maailma. Atraktiivseks on teinud generaatori ka suur töökiirus, mis ei jää alla äärmiselt kallitele sama tüüpi kommertstööriistadele. Nii näiteks võrreldi meie generaatorit ühe rohkem kui 100 tuhat dollarit maksva kommertsgeneraatoriga testide sünteesil ühele konkreetsele digitaalskeemile. Kui kommertsgeneraator vajas 100%-lise rikete katte saavutamiseks 80 sekundit, siis Turbo Tester saavutas selle sama 80 sekundiga rikete katte 99.99%. Ühele väikesele disainifirmale oleks siin küsimus mõtlemiseks: kas ikka tasuks selle puuduva 0,01% saavutamiseks kulutada 100 tuhat dollarit. Ilmselt oleks otstarbekam laadida võrgust tasuta alla Turbo Tester ja kulutada 80 sekundist pisut rohkem aega, et saavutada samuti 100%-line testimise kvaliteet.

Teine instituudis välja töötatud generaator DECIDER on mõeldud testprogrammide automaatseks sünteesiks väga keerukatele *miljonitest loogikaelementidest koosnevatele digitaalsüsteemidele*, milleks võivad olla näiteks mikroprotsessorid või koguni arvutid. Taolised generaatorid kommertsturul puuduvad. Neid on vaid üksikutes ülikoolides üle maailma, kes oma saaavutatud tulemustega konkureerivad esialgu vaid konverentsidel. Põhjuseks, miks niisugused generaatorid pole jõudnud kommertsturule, on nende keeruline käsitsus ehk tarbijasõbralikkuse puudumine. DECIDER on seniste eksperimentide järgi maailmas üks kiiremaid. Praegu uurime instituudis võimalusi generaatori tarbijasõbralikkuse tõstmiseks.

Nimetatud praktiliste tulemuste teoreetiliseks aluseks on instituudis välja töötatud uus spetsiaalne graafiteooria. Neid graafe nimetatakse *otsustusdiagrammideks*. Seni on matemaatikute huviorbiidis olnud vaid kitsas klass niisugusi graafe – binaarsed otsustusdiagrammid. Instituudis on välja töötatud terve rida arendusi, mis võimaldasid neid graafe kasutada palju efektiivsemalt kui seni digitaalskeemide testimiseks loogikatasemel. Teiselt poolt toodi sellesse graafiteooriasse niisugused uued üldistused, mis võimaldasid formaliseerida testide sünteesi palju kõrgematel tasanditel kui üksnes loogikaskeemid. Niisugusteks tasanditeks oleksid näiteks registersiirete tase või arvutite käsusüsteemide tase. Üldistused andsidki võimaluse luua uue testigeneraatori DECIDERi keeruliste digitaalsüsteemide testimiseks, mis põhineb süsteemide uudsel hierarhilisel käsitlusel üheainsa universaalse graafiteooria baasil.

Kõige värskemaks tulemuseks instituudis testide sünteesi ja analüüsi vallas on hiljuti loodud *defekt-orienteeritud testigeneraator* DOT, mis andis märkimisväärse panuse teatavast kriisist ülesaamiseks digitaalskeemide testimisel maailmas üldse. Kriisi põhjuseks oli nn. konflikt skeemide keerukuse ja nõutava testimise kvaliteedi vahel. Skeemide suur keerukus nõudis lõivu maksmist täpsuse vähenemisega testimisel. Senised testigeneraatorid modelleerisid rikkeid loogiliste meetoditega, mis aga ei võimaldanud piisavalt täpselt käsitleda reaalseid füüsikalisi defekte. Koos Varssavi Tehnikaülikooli teadlastega, kel oli kogemusi defektide füüsikalisel käsitlemisel, töötasime välja uudse hierarhilise lähenemisviisi ja vastavad meetodid defektide loogiliseks modelleerimiseks ka keerulistes skeemides. Nimetatud meetodite baasil töötasimegi välja uudse testigeneraatori DOT. Parimaks reklaamiks uuele tööriistale oli eksperiment, kus näitasime, et nn. 100% kvaliteediga testid, mis genereeriti traditsioonilise loogikataseme generaatoriga, andsid üksnes 80%-lise füüsikaliste defektide katte. DOT võimaldas genereerida uued testid, mis andsid juba ka 100%-lise defektide katte. Uue defekt-orienteeritud lähenemisviisi teoreetiliseks aluseks sai instituudis väljatöötatud uus Boole'i diferentsiaalidel põhinev defektide funktsionaalne rikkemudel

Digitaalsüsteemide veakindlus, usaldusväärsus ja diagnostika



Kiipsüsteem (System-on-Chip)

Nagu eelpool mainitud on üha rohkem loomisel *kiipsüsteeme* (*SoC – System on Chip*), kus üheleainsale kiibile on integreeritud mitu erinevat süsteemi (näiteks terve arvuti, koos vajalike sisendite ja väljunditega). Selline kiipsüsteemidel põhinev disainiprotsess on väga efektiivne disaineri vaatenurgast, kuna tal on võimalik kasutada juba eelnevalt projekteeritud standardseid komponente, kuid testimine on väga keeruline ning aeganõudev ülesanne, eeskätt süsteemide keerukuse ja elementide tiheduse tõttu. On vaja lahendada mitmeid ülesandeid, nagu testide genereerimine, testimistulemuste analüüs, testide transport kiibini ja kiibi sees, testitavuse analüüs. Mitmeid neid probleeme saab kergemini lahendada kasutades *isetestimise* (*BIST – Built-In Self-Test*) meetodeid. Isetestimise korral ei ole vaja kasutada ülikalleid testreid, millede hind küündib mitme miljoni USA dollarini

ja võib piirduda odavamatega või nendest üldse loobuda. BIST-i korral ehitatakse kiibi sisse spetsiaalsed teststruktuurid, kuid seoses kiibi sisemise pindala piiratusega peavad need struktuurid olema suhteliselt lihtsad. Klassikaliselt kasutatakse selleks *lineaarse tagasisidega nihkeregistreid*, mis toodavad *pseudojuhuslikke vektoreid* ning mis on võimelised pika vastuste jada kokku pakkima lihtsasse *signatuuri*. Kuigi BIST on väga lootustandev tehnoloogia, on sellelgi oma puudused, nagu näiteks pikad testjadad ja võimetus avastada juhuslike vektorite poolt raskesti testitavaid rikkeid. Seetõttu on arendatud mitmeid meetodeid, kus pseudojuhuslikku testjada täiendatakse mälus hoitavate *deterministlike testvektoritega* „raskesti testitavate" rikete avastamiseks. Niisugust kombineeritud lähenemisviisi nimetatakse *hübriidseks isetestimiseks* ja selles valdkonnas on arvutitehnika instituut koostöös Linköpingi Ülikooli teadlastega välja pakkunud mitmeid uudseid lähenemisi. Kuna kiipsüsteemid koosnevad aga väga erinevatest tuumadest, kus iga tuuma puhul on võimalikud erinevad testimise lahendused: igal tuumal võivad olla oma BIST struktuurid, aga need võivad olla ka jaotatud mitme tuuma vahel; *tuumade testimine võib toimuda paralleelselt*, *järjestikku, või paralleel-järjestikulisel viisil*. Pseudojuhuslik ja deterministlik testimine võidakse tuumades läbi viia ühtsel moel (kasutades jaotatud ressursse, testides tuumasid paralleelselt või järjestikku) või igas tuumas eri viisil. Valitud strateegia võib mõjutada erinevalt nii testi pikkust, selle kvaliteeti (rikete katet), testimise aega, energiatarvet või mälukulu. Sõltuvalt objekti kasutusvaldkonnast esineb siin mitmeid optimeerimisülesandeid, mis kõik on väga keerukad, ega oma lihtsaid lahendusi. Kirjandusest on teada mõningaid lahendusi kombinatsiooniskeemide klassi jaoks, järjestiktuumade (e. mäluga skeemide) jaoks nimetatud probleeme pole uuritud. Viimase aja uurimistöö ATIs ongi põhitähelepanu pööranud just *komplekssе optimeerimismetoodika* väljatöötamisele, kus mitmeid eesmärke saaks käsitleda samaaegselt.

Eelpool nimetatud probleemide uurimiseks ja potentsiaalsete lahenduste hindamiseks on vajalikud võimsad testide genereerimise ja rikete simuleerimise tööriistad. Olemasolev kommertstarkvara oma keerukuse, liigse universaalsuse ja vähese paindlikkuse tõttu on tihti vähesobilik kasutamiseks iteratiivsetes optimiseerimisprotseduurides. Hoopis sobivamaks on osutunud aga TTÜ-s rajatud diagnostika multifunktsionaalne tarkvaratööriistade keskkond, kus tööriistu on kerge kombineerida ja ühendada eri uurimisstsenaariumide läbiviimiseks. Keskkond on osutunud äärmiselt töövõimeliseks ja produktiivseks seniste ühisuuringute läbiviimisel Linköpingi Ülikooliga Rootsis ja Fraunhoferi Instituudiga Saksamaal. Tarkvara produktiivsus võrreldes parimate kommerts-tööriistadega, efektiivsus ja kasutamislihtsus on teinud ta väga atraktiivseks keerukate iteratiivsete eksperimentide korraldamisel koostöös välisteadlastega. Töö iseloomust tingitud uute funktsioonide lisamine töökeskkonda on uurimistöö positiivseks kõrvalefektiks, millest saab otsesene panus järgnevate aastate uurimistöö edukusele.

Lähiaastate teadustöö põhilised eesmärgid

Nagu ITRS ja mitmed teised autorid on kirjeldanud, ei saa *nanomeetriliste kiipsüsteemide* tootmisprotsess olla majanduslikult tasuv, kui nõuda, et toodetud süsteemi kõik transistorid oleksid töökorras. Lisaks sellele on submikron tehnoloogiad ka väga vastuvõtlikud dünaamilistele ühekordsetele riketele, mis on põhjustatud elektromagneetilisest kiirgusest ning kosmiliste osakeste poolt põhjustatud ebapüsivatele riketele. Seoses voolutiheduse

ja välja kasvuga esineb ka rohkem *materjalide stressist tulenevaid kulumisrikkeid*. Seetõttu võib öelda, et tulevikus on esmatähtis disaini- ja testimistehnoloogiate arendamine, mis tagaksid loodavate süsteemide *veakindluse ja korrektsuse* isegi siis, kui selle süsteemi loomiseks kasutatav riistvara ei ole veakindel.

Vaade doktorantide laborisse

Ülisuurte kiipsüsteemide juures on probleemiks kujunemas ka tuumasid ühendava kommunikatsiooni infrastruktuuri väljatöötamine. Et vältida sellest tulenevaid probleeme peab tuleviku kiipsüsteemide kommunikatsiooni arhitektuur olema samuti modulaarne ja skaleeritav. Seetõttu on tuumadevaheliste ühenduste realiseerimisel üha sagedamini kasutatud uut nn. *kiipvõrkude ideoloogiat* (*NoC – Network-on-Chip*). Taoliste süsteemide testimisel esinevad kõik samad probleemid, mis esinevad moodsate nanomeetriliste kiipsüsteemide juures, kuid lisanduvad uued probleemid, nagu näiteks pikenenud juhtmestik, mis on eriti tundlik häiretele ja ajalistele vigadele. Suurte kiipvõrkude puhul peab seetõttu kasutama täiendavaid testimise meetodeid. Seetõttu võib välja tuua järgnevad lähiaastate teadustöö põhilised eesmärgid: uudsete meetodite ja algoritmide loomine kiipvõrkude testimiseks ning uudsete kiipvõrkude arhitektuuride loomine, mida saaks edukalt kasutada nii testimiseks, kui ka veakindluse tagamiseks. TTÜ ja Linköpingi Ülikooli vaheline koostöö on juba andnud mitmeid huvitavaid tulemusi hübriidse isetestitavuse valdkonnas ning avanud uusi huvitavaid potentsiaalseid edasiarendusvõimalusi. Näiteks tuleks välja arendada keskkond, kus süsteemi optimeerimisel saaks arvestada rohkem, kui ühe piiranguga. Probleemide hulka võib siin vaadelda mitmedimensionaalsena, kus koordinaatideks on erinevad isetestimise arhitektuurid, hulk erinevaid disainikriteeriume nagu kvaliteet, testi pikkus, testimise aeg, mälu maksumus, võimsustarve, aparatuurikulu jne. Kirjeldamaks potentsiaalset uurimisvaldkonda võimalikult üldiselt, oleme seadnud ülesandeks optimeerida erinevaid hübriid-isetestimise arhitektuure erinevate kriteeriumide järgi erinevate kitsenduste juures, vastavalt sellele millised rakenduseesmärgid on olulisemad projekteeritava süsteemi juures: odavus, mobiilsus (madal energiakulu), töökindlus, töökiirus jne. Formuleeritud ülesanded selles mitmedimensionaalses ruumis on täielikult uued, kuna hübriid-isetestimise probleemiasetus ise on uus: *üldine teooria puudub*. Probleemid on keerulised, kuid kogu tööplaan ise kujutab endast rikkalikku uuritavate probleemide ja rohkete võimaluste portfelli.

Kiipvõrkude valdkonnas on plaanis sama kommunikatsioonivõrgustiku kasutamine nii töö- kui ka testirežiimis. Moodsad kiipsüsteemid põhinevad tavaliselt siinilaadsele (nagu AMBA või põhiplaat) struktuurile, kus testvektorite transpordiks on täiendav juhtmestik. Sellised arhitektuurid ei suuda aga tagada moodsate kiipsüsteemide jaoks vajalikku ribalaiust ja latentsust. Meie töö eesmärgiks oleks olemasolevate kiipvõrkude sellised edasiarendused, mis lubaksid kasutada olemasolevat juhtmestikku ka testvektorite transpordiks. See eeldab aga disaini (sünteesi) ja testimise ülesannete kompleksset käsitlemist ja mitmete keerukate ülesannete, nagu vajaliku infrastruktuuri sünteesi, optimeerimise ja

testigeneraatorite loomise süsteemset lahendamist. Loodav infrastruktuur luuakse selline, et süsteemi testimisel oleks võimalik kasutada hübriid-isetestimise meetodeid.

Iseparandamine (*BISR – Built-In Self-Repair*) on levinud nii mälukiipide kui ka väliprogrammeeritava loogika (FPGA) juures. Kuna kiipvõrgud on oma olemuselt mitmeti sarnased FPGA-dega, siis meie plaanides on uurida ka BISR-meetodite rakendamist kiipvõrkudele. Kuna mitmetuumalised süsteemid saavad sisaldada dubleerivat riistvara, siis võimaldab see ka teostada jooksvat iseparandust. Olulisteks ülesanneteks on siinkohal vigade avastamise ja jooksvate paranduste strateegiate väljatöötamine, sest hetkel ei ole veel võimalik luua veakindlaid süsteeme, mis põhineksid mitte-veakindlal riistvaral.

Lähiaastate ülesandeks on ka uudsete *verifitseerimismeetodite* väljatöötamine sardsüsteemidele hiljuti käivitunud VI Raamprogrammi projekti VERTIGO raames. VERTIGO projekt käivitus koostöös kolme väljapaistva uurimisgrupiga Southamptoni, Verona ja Linköpingi ülikoolidest ning kahe mikroelektroonika tööstuse tippfirma, Euroopa suurima kiibitootja, ST Microelectronics ja Transeda/Valiosys'ga. ATI roll projektis seisneb otsustusdiagrammidel põhinevate verifitseerimismeetodite loomisel ja uurimisel.

Kokkuvõte

ATIs läbi viidud uurimuste teaduslik tähtsus seisneb uute kontseptsioonide, meetodite, algoritmide ja tarkvara välja-töötamises digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika automatiseerimiseks. Välja töötatud meetodite suuremat efektiivsust senituntud meetoditega võrreldes on demonstreeritud eksperimentide abil, kasutades rahvusvaheliselt tunnustatud näidisobjekte ehk benchmark-skeeme.

Euroopa Testisümpoosion 2005. aastal Tallinnas

ATI teadustulemusi on konverentsidel hinnatud *Best Paper Award* tunnustusega, meie teadlasi on kutsutud esinema plenaarettekannetega ning pidama loengutsükleid paqljudel konverentsidel, seminaridel ja tutorialidel. ATI õppejõud ja teadurid on pidanud regulaarselt loenguid ja kursusi paljudes Euroopa ülikoolides.

Rahvusvaheliseks tunnustuseks uurimisgrupile oli konkursi võitmine 7 riigi hulgas maailma tippkonverentsi *„European Test Symposium"* korraldamiseks 2005. aastal Tallinnas. Lisaks sellele korraldati samal aastal Tallinnas veel teinegi ülemaailmne üritus *„European Board Test Workshop"*. Uurimisgrupi initsiatiivil käivitati uus rahvusvaheliste konverentside seeria *„East-West Design and Test Workshop"*, mis sai kiiresti kõrge rahvusvahelise tunnustuse. Samuti on uurimisgrupp organiseerinud Tallinnas Põhjamaade mikroelektroonika valdkonna tippkonverentsi NORCHIP ning on kandideerimas selle toomiseks uuesti Eestisse.

Üheks oluliseks uurimistöö väljundiks on olnud teadustulemuste juurutamine õppeprotsessi vastavate innovaatiliste õppevahendite või laboris kasutatavate uurimistöö vahendite väljatöötamise näol. Oma laboritöödes, kursuse- ja lõputööprojektides õpivad tudengid projekteerima keerulisi süsteeme ja kasutama selleks vajalikku professionaalset eritarkvara. Samuti õpivad nad omaenda loodud süsteeme ka testima ja diagnoosima. Niisuguste oskustega diplomeeritud insener on tänapäeval otsitud tööjõud suvalises elektroonikat projekteerivas firmas kas Eestis või mujal maailmas.

Europrojektid ATI noorteadlaste koordineerimisel

Europrojektides võib osaleda kahel viisil – lihtpartnerina või üldkoordinaatorina. Lihtpartneri puhul tuleb tavaliselt vastutada 1-2 projektiülesande täitmise eest ja kuna on tegemist ikkagi koostööprojektiga, siis tuleb nende ülesannete osas koordineerida ka nende partnerite tegevust, kes osalevad sama ülesande täitmisel. Üldkoordinaator vastutab kogu projekti eest ja peab seetõttu korraldama ning jälgima kõikide projektiülesannete täitmist ning kõigi partnerite koostööd selle juures.

Alljärgnev on seitsmel viimasel 10 aastal (2006-2016) saadud europrojekti lühikirjeldused, millistest tervelt kuues projektis on üldkoordinaatoriteks ATI teadlased (**Jaan Raik**, **Gert Jervan**, **Artur Jutman** ja **Maksim Jenihhin**):

- FP6 VERTIGO, TTÜ (ATI) oli partner, Jaan Raik oli uurimistöö juht;
- FP7 CREDES, TTÜ (ATI) oli koordinaator, projekti üldjuht oli Gert Jervan;
- FP7 DIAMOND, TTÜ (ATI) oli koordinaator, projekti üldjuht oli Jaan Raik, kusjuures projekti partnerite hulka kuulus ka veel TTÜ *spin-off* firma Testonica Lab (Artur Jutman);
- FP7 BASTION, koordinaator on TTÜ *spin-off* firma Testonica Lab, partneriks on ATI, kusjuures projekti juhib ATI vanemteadur (Testonica Lab direktor) Artur Jutman;
- HORIZON 2020 projekt IMMORTAL, üldkoordinaator TTÜ (ATI) ja üldjuht Jaan Raik;
- HORIZON 2020 Twinning projekt TUTORIAL, üldkoordinaator TTÜ (ATI), üldjuht Jaan Raik;
- HORIZON 2020 MSCA-ITN projekt RESCUE, üldkoordinaator TTÜ (ATI), üldjuht Maksim Jenihhin.

VERTIGO (2006-08)

Teema nimetus: EL FP6 IST STREP projekt VERTIGO – „Sardsüsteemide projekteerimise platvormi verifitseerimine ja valideerimine“.

Projekti üldkoordinaator: Prof. **Franko Fummi**, University of Verona (Itaalia).

Partnerid: Tallinna Tehnikaülikool (projektijuht: Dr. **Jaan Raik**), STMicroelectronics (Itaalia), Aerielogic (Prantsusmaa), TransEDA (Inglismaa), University of Linköping (Rootsi), University of Southampton (Inglismaa), University of Verona (Itaalia).

Põhitulemused: Tänapäeva sardsüsteemide projekteerimine nõuab verifitseerimise ja disaini integreerimist ühtsesse voogu, valutut üleminekut verifitseerimiskeeltelt (n. SystemC, System Verilog) registersiirde e. arhitektuurse taseme keeltele ning erinevate dünaamiliste ja staatiliste verifitseerimismeetodite (nt. kehtestatavus, otsustusdiagrammid, Petri võrgud, laiendatud olekuautomaadid jne.) kombineerimist.VERTIGO oli suunatud uue põlvkonna sardsüsteemide platvormide modelleerimise ja testi tehnoloogiatele ja vahenditele, võimaldamaks tark- ja riistvara süsteemide efektiivset sünteesi intelligentsete seadmete tarvis.

Projekt lõppes 2008. a. novembris. ATI uurimisgrupi peamisteks tulemusteks olid kõrgtaseme otsustusdiagrammidel põhinevad meetodid sardsüsteemide dünaamiliseks verifitseerimiseks. Töötati välja uudne omadustekontrolli meetod, mis võimaldab tõsta verifitseerimise kiirust 50 % võrreldes kommertslahendustega. Loodi uus koodikatte analüüsi metodoloogia[12], mis lubab kuni 15 % täpsuse võitu traditsiooniliste meetodite suhtes.

Tulemuste rakendamine: VERTIGO projekti tulemused on rakendatavad sardsüsteemide tootjate poolt, kes saavad kasutada pakutavaid verifitseerimismeetodeid uute riistvara-platvormide väljatöötamisel. Samuti on tulemusi plaanis rakendada sardsüsteemide projekteerimistarkvara loojate (TEDA, Aerielogic) programmbaasi täiustamise näol. Lisaks eelnevale on VERTIGO resultaat vajalik sardsüsteemide projekteerijaile, kelle töö jõudlus kasvab tänu võimsamate verifitseerimismeetodite juurutamisele.

[12] J. Raik, U. Reinsalu, R. Ubar, M. Jenihhin, P. Ellervee. Fast Code Coverage Analysis using High-Level Decision Diagrams. Proceedings of the 11th IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Systems (DDECS), IEEE Computer Society, April, 2008.

CREDES (2009-2012)

Teema nimetus: EL FP7 projekt CREDES – „Usaldusväärsete süsteemide kompetentsikeskus".

Projekti üldkoordinaator: Prof. **Gert Jervan**, Tallinna Tehnikaülikool (Eesti).

Partnerid: University of Verona (Itaalia), TU Darmstadt, Brandenburg TU Cottbus (Saksamaa), University of York (Inglismaa), Göpel Electronic GmbH (Saksamaa) and University of Aveiro (Portugal).

Projekti CREDES meeskond. Vasakult Artur Jutman (Tallinn), Jan Heiber (Verona), Leandro Indrusiak (York), Theo Vierhaus (Cottbus), Thomas Wenzel (Jena, Göpel), Manfred Glesner (Darmstadt). Puudub projektijuht Gert Jervan

Põhitulemused: Projekti eesmärgiks on töökindlate sardsüsteemide alase kompetentsuskeskuse loomine TTÜ arvutitehnika ja arvutiteaduse instituutide baasil, toetudes arvutisüsteemide sünteesi ja analüüsi tuumiklabori infrastruktuurile. Keskuse eesmärgiks on kujuneda Euroopa üheks juhtivaks institutsiooniks sardsüsteemide arendamise, verifitseerimise, testi ja diagnoosi valdkondades. Keskus põhineb TTÜs tehtaval teadustööl ning tihedal koostööl pojekti partneritega.

Projekti aktivasse kuulub teadusuuringute alustamine instituudis 3D-arhitektuuride veakindluse teemal, projektis VERTIGO alustatud verifitseerimise alaste uuringute jätkamine ja intensiivistamine ning uudse lähenemisviisi kasutuselevõtt rikete diagnoosimisel süsteemides ilma veamudelite kasutamiseta.

DIAMOND (2010-2012)

Teema nimetus: EL FP7 IST STREP projekt DIAMOND, veakindlate süsteemide diagnostika, modelleerimine ja projekteerimine.

Projekti üldkoordinaator: Prof. **Jaan Raik**, Tallinna Tehnikaülikool (Eesti).

Partnerid: Testonica Lab (Eesti), IBM (Iisrael), Ericsson AB (Rootsi), TransEDA Systems (Ungari), Universität Bremen (Saksamaa), Graz University of Technology (Austria), Linköping University (Rootsi).

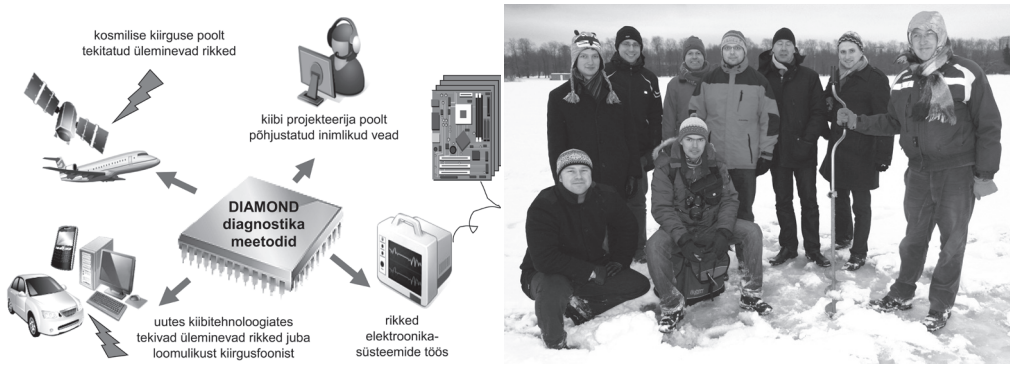
Pressiteade: 22. veebruaril 2010 kirjutab kolumnist Timothy Prickett Morgan arvutiportaalis IT Jungle, et on saabunud aeg, kus kõik IT-firmad on sunnitud koostööle. Ta lisab, et vaid Intel üksi suudab iseseisvalt hakkama saada, tänu oma liidripositsioonile personaalarvutite protsessorite turul. Artikkel räägib suurkorporatsioonidest IBM, Microsoft, Sony, Samsung, Toshiba, NEC, AMD jt., mis on moodustanud ühise konsortsiumi uue põlvkonna kiipide väljatöötamiseks. Lisaks teatab Morgan, et IBM-l on olemas ka „salarelv" DIAMOND, mis aitaks tulevikus tootmiskuludelt oluliselt kokku hoida.

Ning DIAMOND on aktsioon, mille algatajaks ja juhiks on ... Tallinna Tehnikaülikool! Järgnevas on esitatud lühiülevaade projektist, mis TTÜ maailma arvutitööstuse päästerõnga rolli asetas.

2009. a. juulis otsustab Euroopa Komisjon rahastada TTÜ arvutitehnika instituudi poolt juhitavat 7. Raamprogrammi uurimisprojekti DIAMOND. Projektis osaleb kaheksa partnerit kuuest eri riigist, nende hulgas on teadusasutusi, teadusmahukaid ettevõtteid ning kaks suurkorporatsiooni – IBM ja Ericsson. Projekti eelarve on 3,8 miljonit Eurot ehk 60 miljonit Eesti krooni ning kestus kolm aastat.

Mikrokiipide mõõtmed on muutumas üha miniatuursemateks. Nad on nii pisikesed ja märkamatud, et tavainimene neid ei hooma. Ometi on kiipide kiire areng oluliselt tõstnud meie elukvaliteeti peaaegu igas tegevusvaldkonnas. Kiipkaardid, kodutehnika, kellad, sõidukid ja kogu meid ümbritsev infrastruktuur sisaldab arvutustehnikat. Käesoleval hetkel töötab maailmas rohkem mikroprotsessoreid kui on kokku inimesi sellel planeedil!

Tänapäeva kiibid koosnevad miljarditest loogikalülitustest, mille suurus muutub iga uue põlvkonnaga üha väiksemaks. Sellise lüliti mõõtmed hakkavad lähenema aatomi



Projekti DIAMOND meeskond. Projekti juht Jaan Raik istub paremal. Eesmärgiks on ühtse meetodiga võidelda eri tüüpi rikete vastu.

omale. Ühest küljest muutub nii keeruka kiibi vigadeta projekteerimine ülejõu käivaks lülituste tohutu arvukuse tõttu. Teiselt poolt on iga järjekordse põlvkonna lüliti aina tundlikum väliskeskkonna kiirgusest tingitud mõjudele.

Järgmises artiklis kirjeldab Maksim Jenihhin projekti DIAMOND panust Euroopale.

Eestilt Euroopale[13]

Münchenis, Isere'i jõe kaldal asub Euroopa suurim IT aglomeraat ehk siis Euroopa Silicon Valley, kuhu on end ankrusse heitnud maailma elektroonikafirmade ladvik. Neil päevil toimus seal Euroopa Nanoelektroonika Foorum, kuhu olid kokku kutsutud Euroopa väljapaistvamate projektide juhid ja esindajad. Eestit esindas seal üksikute Skandinaavia ja Ida-Euroopa projektide hulgas Raamprogrammi FP7 projekt DIAMOND, mida juhib TTÜ arvutitehnika instituudi professor **Jaan Raik**, kes on ka Eesti teadustippkeskuse CEBE üks väljapaistvamaid uurijaid. Märkimist väärib fakt, et selle projekti kaudu koordineerime ka kahe maailma tippfirma IBM ja Ericsson uurimistööd mikrokiipide usaldatavuse valdkonnas, kes samuti selles projektis osalevad ja plaanivad projekti tulemusena oma toodete töökindlust ja usaldatavust märgatavalt parandada. Koostöös firmadega Ericsson ja Göpel Saksamaal arendab selle sama projekti raames uut tüüpi instrumentaariumeid elektroonikasüsteemide testimiseks TTÜ *spin-off* firma Testonica Lab, mida juhib arvutitehnika instituudi vanemteadur Artur Jutman. Firma looming on mitme uue toote näol jõudnud juba maailmaturule, kusjuures üheks firma kliendiks testimisaparatuuri tellimisel on CERN. Ettekande sellel foorumil tegi arvutitehnika instituudi vanemteadur **Maksim Jenihhin**, keda möödunud aastal oli autasustatud tähelepanuväärse auhinnaga „IBM Faculty Award". Maksim Jenihhini juhtimisel arendatakse TTÜ-s koostöös saksa firmadega uut projekteerimissüsteemi ZamiaCAD, mis äratas foorumil osalejate hulgas suurt huvi oma laiemate võimaluste poolest võrreldes analoogidega disainivigade üles leidmisel.

TTÜ arvutitehnika instituut on astunud jõulise sammu Euroopa nanoelektroonika teadus- ja tööstuskaardile ning pälvinud oma uute ideede ja lahendustega rahvusvahelise tunnustuse.

Praegu kavandatakse Euroopa uut teaduse ja innovatsiooni raamprogrammi Horizon 2020, milles nähakse olulist osa elektroonikatööstust mõjutavatele nanotehnoloogia ja

[13] M. Jenihhin, R. Ubar. Eestilt Euroopale. Mente et Manu, Detsember 2012.

Meie kolleegid – Euroopa tippteadlased – Tallinnas konverentsil. Vasakult: Paolo Prinetto (Itaalia), Hans Manhaeve (Belgia), Hans-Joachim Wunderlich ja Sybille Hellebrand (Saksamaa), Yervant Zorian (USA).

süsteemitehnika uuringutele. Praegune Euroopa elektroonikatööstuse toodang oma 224 miljardi euroga aastas moodustab umbes kuuendiku kogu maailma toodangust. Seda loetakse aga Euroopa Komisjoni Digitaalagenda eest vastutava asepresidendi Neelie Kroesi sõnul ebapiisavaks maailmakonkurentsis, mistõttu töötatakse välja uut strateegiat ja finantsinstrumente Euroopa positsioonide parandamiseks selles teaduse ja innovatsiooni valdkonnas. Plaanitakse ühitada programme ENIAC, ARTEMIS ja Raamprogramm ühtseks initsiatiiviks *Joint Technology Initiative* (JTI) näol, miks aitaks suurendada sünergiat nende programmide vahel ja viiks ühelt poolt kokku niisugused valdkonnad nagu nanoelektroonika, sard- ja mikrosüsteemid ning teiselt poolt ühendaks tööstuse, rahvuslike liikmesriikide ja EL finantspanused.

Suund on võetud suurtele projektidele, kus koonduksid Euroopa tippteadus ja tipptööstus. Taunitakse väikesemastaabilisi hajali tegutsevaid ja üksnes rahvuslikke huvisid silmas pidavaid pisiprojekte. Väljapääsu Euroopa konkurentsivõime tõstmisel nähakse üksnes suure kriitilise massi loomises suurprojektide näol, kus rõhutatakse väga tähtsat osa EL liikmesriikide kaasamisel sellesse aktsiooni nii finantspanusega kui ka tippteadlaste mobiliseerimisel.

Eesti teadlaste koordineeritava projekti DIAMOND kutsumine Euroopa Nanoelektroonika Foorumile on üks märk sellest, et ka Eestil on anda oma panus Euroopa konkurentsivõime parandamiseks kõrgtehnoloogia vallas, hoolimata sellest, et meil puudub endal elektroonika tipptööstus. Aga see ei peakski olema Eesti eesmärk globaalses maailmas, kus võtmepositsioonid on niikuinii suurfirmade käes. Oluline on see, kui Eesti suudaks panustada oma kompetentsi ja osalusega tippteaduses ning innovatsioonis nendes valdkondades, mis maailma majanduse mootoriteks on.

33% Euroopa elektroonikatoodangust luuakse tööstus- ja meditsiinitehnika valdkonnas. Siin peaks ka Eesti leidma oma niši. Just selles suunas töötavad tippkeskuse CEBE teadlased, ühendades TTÜ arvutitehnika ja elektroonika instituutide ning Tehnomeedikumi kompetentse, töötades välja meetodeid ja platformi kõrgtehnoloogilise usaldatava biomeditsiinitehnika aparatuuri projekteerimiseks. (**M. Jenihhin**, **R. Ubar**. TTÜ arvutitehnika instituut.)

BASTION (2014-2016)

Teema nimetus: EL FP7 projekt BASTION – *Elektroonikasüsteemide testinstrumendid tehnoloogia vananemise vältimiseks ja diagnoosimatute rikete avastamiseks*

Projekti üldkoordinaator: dr. **Artur Jutman**, Testonica Lab, TTÜ (Eesti).

Partnerid: Testonica Lab OÜ, Tallinna Tehnikaülikool (prof. **Jaan Raik**) Infineon Technologies (Saksamaa), Aster Technologies, Politecnico di Torino (Itaalia), University of Twente (Holland), University of Lund (Rootsi), High School Hamm-Lippstadt (Saksamaa).

Projekti tegevusest: Projekti eesmärgiks on tehnoloogia vananemise ja diagnoositamatute vigade uurimine uutes nanoelektroonilistes protsessides. Projekti oodatavateks tulemusteks on defektide klassifitseerimine ning vananemisprotsessi uurimine uutes tehnoloogiates. Väljatöötatavate sard-testinstrumentide lahendused tuginevad IEEE P1687 standardile.

Projekti BASTION üldjuht dr. Artur Jutman

Projekt käivitus 2014. a. jaanuaris. Projekti koordinaatoriks on CEBE teadur **Artur Jutman** ja tema juhitav Testonica Lab. Viimasest on tänaseks kujunenud tehnoloogia liider maailmas sünteetiliste instrumentide väljatöötamisel elektroonikaplaatide testimiseks. Projekti üheks eesmärgiks on luua meetodeid võitluseks elektronskeemide vananemise vastu. Teema on äärmiselt aktuaalseks muutunud ja projekti rahastamine saavutati ülitihedas konkurentsis. Elektroonika vananemine tuleneb füüsikalistest põhjustest, mis on seotud nanoelektroonika dimensioonide vähenemisega. Uute tehnoloogiatega kaasnev kiire vananemine on kujunemas homsete elektroonikarakenduste töökindluse ühes põhilisemaks probleemiks. Teiseks tsentraalseks probleemiks, mille uurimiseks ja lahenduste otsimiseks projekt on ellu kutsutud, on nn. *No Failure Found (NFF)* probleem, mis seisneb niisuguste rikete mehanismide tuvastamises, milliseid tänased testimise meetodid pole võimelised avastama. On hinnatud, et keskmisele perekonnale läheb täna umbes 50 eurot aastas maksma tüli, mille varjatult kutsuvad esile nn. *NFF-rikked* kodu- või autoelektroonikas, transpordi või meditsiini-elektroonikas.

Projekti BASTION partnerid ühendavad oma jõud ründamaks elektroonika vananemise ja NFF-rikete müsteeriume. Uuritakse tundmatuid defektide tüüpe, testide kvaliteedi mõõtmise ebatäpsuse põhjuseid ja eesmärgiks on luua uusi paremaid rikete mudeleid ning vähendada elektroonika vananemise negatiivset efekti. Projekti ambitsioonikaks eesmärgiks on tõsta värskeimate elektroonikatehnoloogiate eluiga 2-3 aastalt 6-7 aastani ning vähendada NFF-rikete negatiivset mõju kuni 2 korda.

IMMORTAL (2015-2018)

Teema nimetus: EL HORIZON 2020 projekt IMMORTAL – *Integrated Modelling, Fault Management, Verification and Reliable Design Environment for Cyber-Physical Systems*

Projekti üldkoordinaator: prof. **Jaan Raik**, TTÜ (Eesti).

Partnerid: Tallinna Tehnikaülikool, IBM, Testonica Lab OÜ (Dr. **Artur Jutman**), ReCoRe Systems, German Aerospace Center DLR (Saksamaa), TU Graz (Austria), Twente University) (Holland).

Projekti eesmärkidest: See on esimene IT suunaline europrojekt programmi HORIZON 2020 raames, mis toodi Eestisse koordineerida eesti teadlaste poolt. Projekti IMMORTAL (ingl. k. surematu) teemaks on küber-füüsikalised süsteemid. Need on arvutisüsteemid, mis koosnevad küber-osast, ehk omavahel tihedalt koos töötavatest riist- ja tarkvara komponentidest ning sensoritest, mida vaadeldakse füüsikalises keskkonnas. Näitena sellistest süsteemidest võib tuua lennukid, autod, kosmoselaevad, elektrijaamad, kuid ka erinevad nutikate seadmete võrgud.

Koostöös IBM-i, TTÜ *spin-off* ettevõtte Testonica Lab OÜ, Hollandi firmaga Recore ja mitmete välisülikoolidega on plaanis luua uudseid lahendusi rikete ärahoidmiseks tuleviku küber-füüsikalistes süsteemides. Projekti tulemusi on kavas rakendada Saksa kosmosekeskuse DLR poolt välja töötatavas uues satelliidis.

Projektis IMMORTAL on plaanis kiireks rikete halduseks luua uudsed arvutiarhitektuurid, mis võimaldavad satelliidil rikked koheselt lokaliseerida ning nendega iseseisvalt toime tulla. Seega kaob vajadus operaatori sekkumiseks ning satelliit saab oma normaalse tööga ilma viivitusteta jätkata.

TUTORIAL (2016-2018)

Teema nimetus: EL HORIZON 2020 projekt TUTORIAL – *Twinning to Strengthen TTU's Research and Innovation Capacity in Nanoelectronics Based Dependable Cyber-Physical Systems*

Projekti üldkoordinaator: prof. **Jaan Raik**, TTÜ (Eesti).

Partnerid: Tallinna Tehnikaülikool, Delft University of Technology (Holland), Politecnico di Torino (Itaalia), German Aerospace Center DLR (Saksamaa).

Projekti eesmärk: TTÜ võimekuse tõstmine interdistsiplinaarses nanoelektroonikal põhinevate usaldusväärsete küberfüüsikaliste süsteemide valdkonnas koostöös partneritega Delfti Tehnikaülikoolist, Torino Polütehnilisest Instituudist ja Saksa kosmosekeskusest DLR. Projekti esimeseks väljapaistvaks tulemuseks on doktorantide ja magistrantide tihedas koostöös ja osalusel valminud digitaalne kiip, mille pikem kirjeldus järgneb.

Projektide IMMORTAL ja TUTORIAL üldkoordinaator Jaan Raik (paremal) ja projekti RESCUE üldjuht Maksim Jenihhin

RESCUE (2017-2021)

Teema nimetus: EL HORIZON 2020 programmi *Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks projekt RESCUE – Interdependent Challenges of Reliability, Quality and Security in Nanoelectronic Systems Design*.

Projekti üldkoordinaator: Dr. **Maksim Jenihhin**, TTÜ (Eesti).

Partnerid: Tallinna Tehnikaülikool, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Technische Universiteit Delft, Politecnico di Torino, Cadence Design Systems GmbH, Iroc Technologies SA, Intrinsic ID B.B., IHP GmbH – Innovations for High Performance Microelectronics/ Leibniz-Institut für Innovative Mikroelektronik, Robert Bosch GmbH.

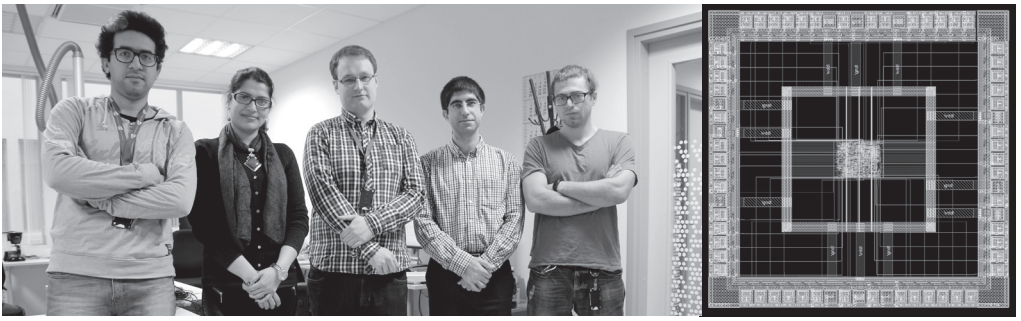
Projekti eesmärk: The objective is, first, to address the demanding and mutually dependent aspects of nanoelectronic systems design, i.e. reliability, security and quality, as well as corresponding electronic design automation tools. This will rescue and enhance design of complex systems at the next generation nanoelectronics technologies. Second, it is to provide early-stage researchers with innovative training in the involved disciplines and beyond, such that they will not only be able to face today and future challenges in nanoelectronics design but also be innovative, creative, and more importantly - have an entrepreneurial mentality. The latter will help to compile ideas into products and services for EU economic and social benefits.

RESCUE addresses boosting Europe's capabilities and leadership in nanoelectronics design and creation of qualified workforce and knowledge for industry. The consortium consists of leading European research groups competent to tackle the interdependent challenges in a holistic manner and to train new top-notch interdisciplinary professionals. The ITN is excellently balanced in terms of academic and industrial training and research facilities.

TTÜs valmis teadlaste ja tudengite koostööna uus digitaalne arvutikiip[14]

TTÜ arvutitehnika instituudi usaldusväärsete arvutisüsteemide projekteerimise uurimisgrupp on välja töötanud uudse digitaalse arvutikiibi, mis suudab kõik oma rikked ise lokaliseerida ja nendest väliskeskkonda (ehk teda kasutavat süsteemi) teavitada.

[14] Teksti koostas Kersti Vähi TTÜ teadusosakonnast.



Arvutikiip ja selle loomise tudengiprojektis osalejad. Vasakult doktorandid Siavoosh Payandeh Azad, Apneet Kaur, Karl Janson, Behrad Niazmand ja Tsotne Putkaradze. Pildilt puuduvad grupijuht ja idee generaator prof. Jaan Raik ja magistrant Hardi Selg. Magistritöö kaitsesid selle projekti raames: Apneet, Karl ja Tsotne.

Uurimisgrupi juhi, ATI professori **Jaan Raiki** sõnul muudab teema hetkel eriti aktuaalseks kiipide üha vähenevatest mõõtmetest tingitud plahvatuslik rikete arvu kasv. Digitaalne kiip valmis koostöös magistritööde teemadena, millede juhendajateks olid omakorda mitmed TTÜ doktorandid ja teadlased. Tööga alustati 2015. aasta oktoobris ja selle raames valmis neli magistritööd. Tudengiprojekti vedajaks oli Iraanist pärit, Stockholmi KTH-s magistrikraadi kaitsnud TTÜ doktorant **Siavoosh Payandeh Azad**.

Sel päeval, mil tuli teade kiibi valmimisest, saatis Jaan instituudi kolleegidele e-maili:

Date: Fri, 19 Aug 2016 16:55:43 +0300

Dear Colleagues, Some news.

Our lab has successfully taped out a new chip:a network-on-chip router control part with online checkers and fault injection mechanisms. Today, we received finally the confirmation that the chip layout implementation is according to the rules and that it is going to be manufacturedin the next AMS 180 nm multi-project wafer run. ***This is already the second chip in 20+ years...***

Special thanks to Siavoosh, Behrad, Hardi, Marek, Karl, Ranganathan, Vineeth and the master students who did projects on the design: Apneet, Tsotne, Martin, Nevin. Isn't it beautiful! Cheers, Jaan

Arvutikiibis realiseeritud tehnoloogia on välja töötatud tehnikaülikooli juhitavas Euroopa Liidu Horisont 2020 uurimisprojektis IMMORTAL (www.h2020-immortal.eu), kus koostöös suurfirmaga IBM, Saksa kosmosekeskusega DLR, Eesti ettevõttega Testonica Lab OÜ ja mitmete välisülikoolidega uuritakse lahendusi riketega toimetulekuks keerukates arvutisüsteemides.

Kiibi tootmise finantseerijaks on organisatsioon Europractice, mis eraldas konkursil raha kümnele Euroopa ülikoolile. Sõelale jäi ka TTÜ uurimisgrupp.

Kiibi valmistamiseks kasutatakse 180 nm tehnoloogiat ning selle pindalaks on 2.5 mm^2. Esimesed 40 eksperimentaalkiipi toodetakse Fraunhoferi tehases Erlangenis Saksamaal.

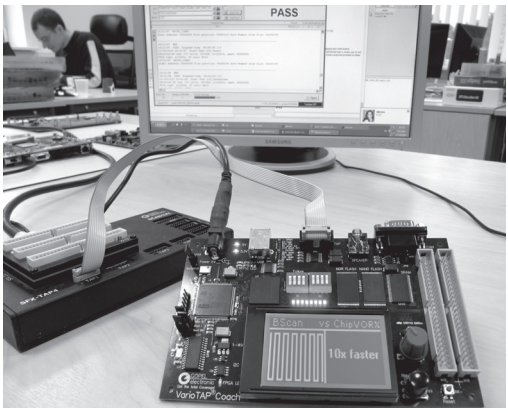
„Järjepidevuse märgina peab lisama, et eelmine (ning ühtlasi ka esimene) Eesti ülikooli poolt toodetud digitaalkiip valmis täpselt 20 aastat tagasi samas instituudis ning selleks oli ***Jüri Põldre*** *loodud krüptoprotsessor",* ütleb prof. Jaan Raik. *„Kiipide tehnoloogia miniaturiseerimine on viimasel paaril aastakümnel aga peadpööritava kiirusega edasi liikunud. Tollal kasutusel olnud tehnoloogia oli tänasega võrreldes 30-40 korda algelisem ja kohmakam"*, sõnab professor Raik.

Edukalt läbi viidud projekt on kinnituseks Tallinna Tehnikaülikooli võimekusest digitaaltehnoloogia vallas ja ühtlasi ka aluseks uurimisgrupi edasiseks teadustööks värskelt loodud Eesti teaduse tippkeskuses EXCITE.

ATI *spin-off* firma Testonica Lab

Millega tegeleb Testonica

Testonica Lab (TL) asutati 2005. aastal TTÜ *spin-off* ettevõttena ATI teaduride ja doktorantide initsiatiivina. Tänaseks on firmast saanud maailmas tunnustatud pioneer ja liider automaatsete sardinstrumentide loomisel elektroonikasüsteemide testimiseks. TL arendab eesrindlikke tehnoloogiaid ja tööriistu JTAG-standardil põhinevate ning FPGA tehnoloogiat kasutatavate elektroonikaplaatide testimiseks kõrgkiirusel. TL-i klientideks on maailma tööstusliidrid auto- ja lennukitööstuses, kaitse- ning töötlevas tööstuses, telekommunikatsiooni, tarbe- ja meelelahutuselektroonika valdkondades, aga ka fundamentaaluuringute valdkonnas. Testonica Lab on *esimene ettevõte Eestis, mis on saanud CERN'ilt konkreetse teadustöö tellimuse* – BERT (*Bit Error Rate Tester*) lahenduse ning aparatuuri väljatöötamiseks ning CERN'ile tarnimiseks. TL on toodetele orienteeritud firma, kes müüb litsentse oma instrumentidele (nt. ChipVORX®, VarioTAP®, mitmesugused JTAG-rakendused jt.) üle terve maailma. Tänu teadusuuringutel põhinevale intellektuaalsele omandile kuulub firma käibest üle 70% kõrg-teadusmahukatele toodetele. TL partneriteks on Ericsson, IBM, Göpel Electronic, ASTER Technologies jt.



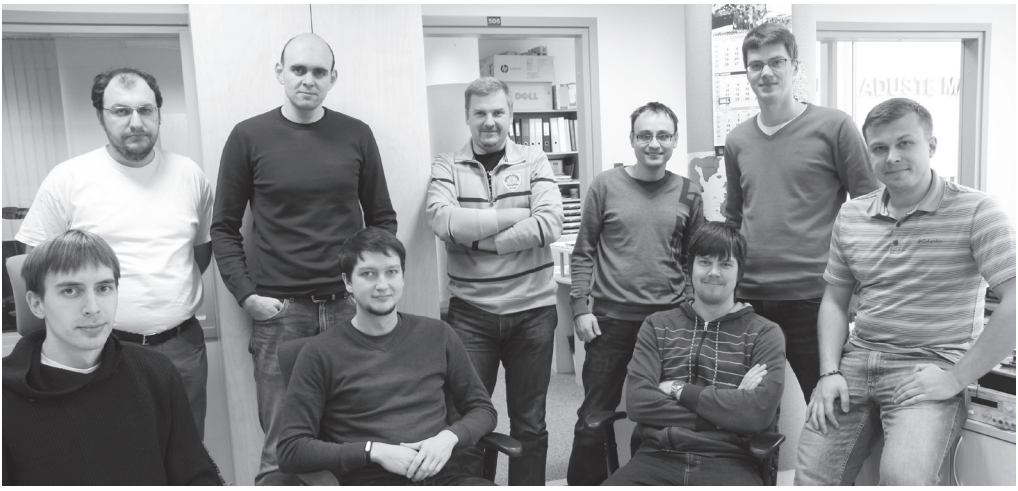
Testonicas valmistatud ennast ise testiv elektroonikaplaat

Koostöö akadeemilise maailmaga. Firmal on tugevad sidemed akadeemilise maailmaga, tänu oma ajaloolisele tekkele TTÜ arvutitehnika instituudi keskkonnas ja asukohale TTÜ juures olevas teaduspargis. 70% firma teadus- ja arendustöö meeskonnast on doktorikraadiga. Osalemine terves reas teadusprojektides on soodustanud firmal uute tehnoloogiate väljatöötamist, mis omakorda on aidanud TL toodetel edu saavutada globaalsel turul väga tugevas konkurentsis. Firma koostööpartneriteks ühisprojektide raames on hetkel: Linköpingi ja Lundi ülikoolid Rootsis, Torino Tehnikaülikool Itaalias, Twente Ülikool Hollandis, Ilmenau Tehnikaülikool Saksamaal jt.

Koostöö Eestis. Testonica Lab on osalenud IKT programmi raames Archimedese poolt koordineeritavas projektis FUSETEST (*Functional Self-Test, Self-Diagnosis and Failure Analysis for Integrated Electronics Systems*) koos ATI ja Teadustippkeskusega CEBE. Koostöös Tehnoloogia Arenduskeskusega ELIKO realiseerub project *„Test Verification and Diagnosis of Distributed and Embedded Systems."* TL-i ja ATI vahel toimub tihe koostöö ka doktoriõppes, kus väitekirja teemad formuleeritakse TL poolt ning firma pakub doktorantidele ka töökohti.

Euroopa projektid. Aastatel 2011-2013 koordineeris Testonica Lab FP7 programmi EUROSTARS raames projekti COMBOARD (*FPGA-Based Test Acceleration Methodology for Complex Electronic Boards*), mille tulemusena õnnestus firmal oma unikaalne sardinstrumentaariumi tehnoloogia viia uuele kvalitatiivsele tasandile nii efektiivsuse kui ka paindlikkuse mõttes. Aastatel 2010-2012 osales firma partnerina FP7 projektis DIAMOND (*Diagnosis, Error Modelling and Correction for Reliable Systems Design*), kus anti märkimisväärne panus uue standardi IJTAG väljatöötamisel ja selle toetamiseks uute diagnostikalahenduste ja -tööriistade näol.

Väike-ettevõte europrojekti koordinaatorina. Käesoleval hetkel koordineerib firma FP7 projekti BASTION (*Board and SoC Test Instrumentation for Ageing and No Failure Found*), mille eesmärgiks on luua meetodeid võitluseks elektronskeemide vananemise vastu. Uute tehnoloogiatega kaasnevad va-



Testonica Lab. Vasakult Sergei Odintsov, Dmitri Mihhailov, Anton Tšertov, Konstantin Šibin, Artur Jutman (direktor), Sergei Devadze, Artjom Jasnetski, Igor Aleksejev, Sergei Kostin.

nanemisprotsessid on homsete elektroonikarakenduste üheks põhilisemaks probleemiks, mille juured on riistvara füüsikas, aga vananemist pidurdavate lahenduste võtit võib otsida nii riist- kui ka tarkvara appi võttes.

Oma väljatöötatud sünteetilise testimisinstrumentaariumil põhineva platvormiga kuulub Testonica Lab maailma tipptasemele ning on konkurentidest ees, sest sellise paindlikkuse ning automatiseerimisvõimekusega analoogid maailmaturul puuduvad.

Testonica Lab ja Eesti

Tehnoloogilistest tendentsidest maailmas. Igapäevases elus me ei märkagi enam, millises sõltuvuses oleme arvutitest. Teadlikuks saame sellest siis, kui ootamatult midagi ei toimi enam meid ümbritsevates vidinates või veel hullem, kui arvutitõrke tagajärjel toimub mingi katastroof. Õnneks juhtub seda harva. Kuid mida keerulisemaks muutub arvutustehnikal põhinev digitaalne maailm, seda raskem on garanteerida tehnoloogia usaldatavust, avastada ja likvideerida häireid.

Eestis ei ole mikroelektroonikatööstust, millel põhineb arvutustehnika, küll aga luuakse meil üha rohkem tehnilisi süsteeme mujal toodetavate elektroonikakomponentide baasil. Seni on Eesti infotehnoloogia tööstuses olnud prevaleeriv tarkvarasuund, aga ka riistvara ise on muutumas üha „tarkvaralisemaks" (programmeeritavad maatriksid) ja tarkvara, vastupidi, muutumas „riistvaralisemaks".

Kuna ühelt poolt on traditsiooniline Internet laienemas Asjade Internetiks ja teiselt poolt kasvavad tendentsid, kus arvutusprobleeme on otstarbekam realiseerida mitte tark- vaid riistvaras, siis on ilmne, et soovides infotehnoloogia arenevatel aladel – sensorvõrgud, sard- ja kübertehnilised süsteemid – kaasa lüüa maailmakonkurentsis, tuleks Eestis märksa enam tähelepanu pöörata elektroonika riistvaralistele aspektidele. Pealegi, riistvara muutub üha odavamaks ning kättesaadavamaks ja selle „komplekteerimisoskus" süsteemide loomisel muutub peagi sama tähtsaks kui tarkvaraline kompetents.

Testonica Lab ja Tehnikaülikool. Dimensioonide vähenemine mikro- ja nanoelektroonikas ongi olnud peapõhjus arvutite võimsuse eksponentsiaalsele kasvule, paraku on sel ka üks varjukülg, elektroonikakomponentide töökindluse vähenemine. Just selle paradoksi tõttu on tehnikamaailma edasi arendamisel üles kerkinud täiesti uut tüüpi probleem: kuidas luua töökindlaid ja usaldatavaid süsteeme ebatöökindlatest (!) komponentidest.

Teisest küljest, Eesti lokaalset majandust silmas pidades, on nii Eesti enda tööstuse poolt toodetavate kui ka imporditud süsteemide töökorras hoidmiseks vaja ka oskusteavet väga keerulise elektroonika testimiseks, rikete diagnostikaks ja parandamiseks.

Testonica Lab on täna Eestis ainus firma, kes tegeleb infotehnoloogia riistvara – trükkplaatide ja süsteemide – testimiseks vajaliku instrumentaariumi ja tehnoloogia väljatöötamisega ning on oma toodetega jõudnud välja maailmaturule. Arvestades äärmiselt kõrget konkurentsi maailmas selles valdkonnas ja seda, et põhiliselt määravad tehnoloogia arengutrende ning -poliitikat suurfirmad, on Testonica Lab läbimurre ja omaenda niši leidmine märkimisväärne saavutus. Eelduseks on siin olnud pikaaegne teadusuuringute kogemus TTÜ arvutitehnika instituudis (ATI), mille rüpes Testonica Lab ongi sündinud, aga ka see, et tihe koostöö ATI teadlaste ja Testonica Lab inseneride vahel toimub tänapäevani. Pooled Testonica Lab inseneridest on ühtaegu ATI doktorandid, mistõttu teadusuuringud mõlemas asutuses toimuvad praktiliselt ühiselt. Sünergial on kahepoolne effect: ATI teadusuuringud leiavad kohese rakenduse ja Testonica Lab rakendustöös esile kerkivad uued probleemid stimuleerivad uurimistöö arengut ATI ja Testonica Lab koostöös.

Eesti ja rakendusteadused. Edukas koostöö ATI ja Testonica Lab vahel on pälvinud rahvusvahelist tähelepanu ja tunnustust seni juba kolme FP7 STREP europrojekti (COMBOARD, DIAMOND, BASTION) näol, millistest ühte – BASTION – praegu koordineeribki Testonica Lab ise ja kus ATI on partneriks. Üheks Raamprogrammi FP7 koordineeritavate projektide omapäraks on olnud alati kõrge interdistsiplinaarsuse tase, mis omakorda soosib innovatiivsust ja laia rakenduste diapasooni tekkimist.

Ka Eestis võiks luua paremaid võimalusi interdistsiplinaarsete ja rakendustele suunatud teadusuuringute toetamiseks, kus eesmärgiks oleks arendada innovatiivset teadusmahukat ettevõtlust. Kui ETAG-i finantsinstrumendid on mõeldud üksnes tippteaduse toetamiseks, aga innovatsioon ja rakendused jäävad teisejärguliseks, siis EAS, vastupidi, toetades küll ettevõtlust üldiselt, peab aga tippteadust teisejärguliseks. Esimesel juhul võime saada häid publikatsioone, teisel juhul kiiret majanduslikku edu, aga teadusmahukat ja kõrge lisandväärtusega tootmist ei motiveeri kumbki toetussüsteem

Testonica Lab ja ATI koostöö on näidanud, et tudengite varajane kaasamine reaalse elu inseneriprobleemidesse tuleb kasuks nii tudengite hariduse parandamisele kui ka ettevõtluse enda edendamisele. Ja arvutustehnika testimine, diagnostika ning usaldatavuse tõstmine on alad, mis on eriti praktilised ning insenerlikku mõtlemist arendavad. Süsteemide diagnostika tähendab ju projekteerimise pöördülesannet ja arvestades süsteemide üha keerukamaks muutumist peaks seega olema tänapäeva inseneri üks tähtsamaid oskusi.

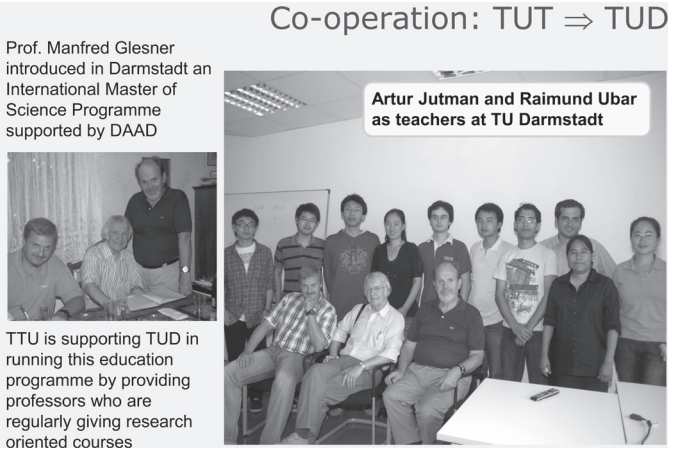
Euroopa teekaaslastest

Teeradadel Euroopasse

Rahvusvaheline koostöö ja sõprus teadlastega välismaal algas meie kateedril/instituudil ju tegelikult päris algusest peale, siis veel, kui piirid olid kinni, kui meenutada dots. **Ustus Aguri** tihedaid kontakte Saksa DV-s 70-ndate algul, aga samuti **Harri Mägi** ja **Raimund Ubari** õpinguid Venemaal 60-ndatel ning sealt välja kasvanud kontakte. Seega tuleks rääkida koguni poole sajandi pikkusest rahvusvahelisest koostööst, sõprusest ja koguni ATI fännklubist. Aga koostööga teaduses on ikka nii, et sõbrad, kontaktid ja tuttavad tulevad ning lähevad, sedamoodi kuidas vahelduvad koostööprojektid.

Suhtlemine vene teadlastega vaibus 90-ndate algul ja asendus uute Läände suunatud kontaktide loomisega. Eelkõige käivitus ikkagi otsinguprotsess ühiste huvide kindlaks tegemiseks, eesmärgil käivitada võimalikult efektiivset koostööd. Selline otsing toimus, nagu ikka teaduses, projektipõhiselt, kus partnerid hakkasid üldjuhul vahelduma projektist projekti. Ja ehkki tutvused jäid püsima pikaks ajaks ja aeg-ajalt taas elustusid, on püsivate sidemete ja koostöö kujunemine ikkagi haruldus.

Ajaliselt kõige pikem koostöökontakt on olnud meie instituudil Ilmenau Tehnikaülikooliga, mis algas 1974. aastal Wartburgi lossis ühe saksa teadlaste konverentsi kohvipausi ajal dr. **Harald Killenbergiga**, jätkus hiljem tema mentori prof. **Werner Liebichiga** ja



Artur Jutman ja Raimund Ubar loengutel Darmstadti Tehnikaülikooli rahvusvahelises suvekoolis

veel hiljem, pärast Liebichi surma viimase õpilase **Dieter Wuttkega** kuni tänase päevani. Lisaks ühistele projektidele, mida on finantseerinud nii Thüringi maakonna ministeerium, Saksamaa üleriigiline teadusministeerium kui ka Euroopa Komisjon, on ka me ülikoolid oma vahenditest toetanud vastastikku nii üliõpilaste kui õppejõudude vahetust. 70-ndatel ja 80-ndatel muutusid regulaarseks **Raimund Ubari** nädalased loengukursused Ilmenau Tehnikaülikoolis, viimasel 10-l aastal on selle traditsiooni aga uuesti üles võtnud Raimundi õpilane **Artur Jutman**. Artur, juhtides ATI *spin-off* firmat Testonica Lab, on käima pannud koguni neljapoolse koostöö, kus kahe ülikooli ja Testonica Lab kõrval on kaasatud ka väga edukas saksa firma Göpel Electronic ja kus koostöö on viinud terve rea elektroonika testimisega seotud toodete turustamisele üle maailma.

Koos Arturiga oleme juba alates käesoleva sajandi algusest läbi viinud iga-aastast ühe nädala pikkust diagnostikakursust prof. **Manfred Glesneri** kutsel Darmstadti Tehnikaülikoolis sealses rahvusvahelises suvekoolis. Kursus on väga edukaks kujunenud, kus osavõtjate arv on ulatunud 50 tudengini. Seejuures on kursus olnud „täismõõduline", koosnedes loengutest, laboritest, iseseisvast tööst, tudengite töötoast-seminarist, kus kõigil on tulnud esineda ettekandega, ja lõpuks ka eksamist.

Teadusalane koostöö Saksa DV teadlastega laienes peagi Ilmenaust Dresdenisse, kus Raimund Ubaril avanes võimalus töötada 4 kuud sealses tehnikaülikoolis Barkhauseni õppetooli professorina ja arendada samal ajal ka koostööd Saksa Teaduste Akadeemia Küberneetika Instituudiga. Selle koostööga liitus ka sakslaste sõsarettevõte Küberneetika Instituut Tallinnas. Kahe Saksamaa ühinedes sai Dresdeni Küberneetika Instituudist Lääne-Saksamaa Fraunhofer ühendusega liitudes Fraunhoferi Instituut, kellega meil töised kontaktid üksnes süvenesid. Järgneva 20 aasta jooksul on palju ühisprojekte läbi viidud, küll mitmeid europrojekte, aga ka bilateraalseid ja trilateraalseid ettevõtmisi, kaasates ka Stuttgarti Ülikooli. Meie juhtivamateks partneriteks olid siin professorid **Günter Elst**, **Bernd Straube**, **Karl-Heinz Diener** Dresdenist ja **Hans-Joachim Wunderlich** Stuttgartist.

Värava Lääne-Euroopasse avas aga tegelikult meie kõige esimene europrojekt TEMPUS (1993-1995), kust alates algaski järgnevate europrojektide sadu, mis on kestnud tänaseni, olles partneritega katnud peaaegu kogu Euroopa mandri.

Selle projekti saamise eest võlgneme tänu eeskätt **Manfred Glesnerile** Darmstadtist ja **Bernard Courtois**'le Grenoble'ist, kes algatasid taotluse kokkukirjutamise. Hilisema projekti täitmise tegeliku juhtimise ja koordineerimise võttis üle **Thomas Hollstein** Darmstadtist, kes täna on Tallinna Tehnikaülikooli professor. See on ehk kõige parem näide,

kuidas kahe ülikooli koostöö rüpes sünnivad mitte üksnes teadusideed vaid muutuvad ja vahetuvad vastastikku ka tööandjad.

Väärib märkimist, et Darmstadti Tehnikaülikooli panus TTÜ teadus- ja õppetöö arendamisse on leidnud väärikat tähelepanu nii prof. Manfred Glesneri valimisega TTÜ audoktoriks 1996. aastal kui ka riikliku autasu – IV klassi Maarjamaa Risti omistamisega 2014. aastal.

Mitte kuidagi ei saa jätta märkimata selles loetelus prof. **Heinrich Theodor Vierhausi** (GMD, Sankt Augustin, Bonn), kes võttis meie uurimisgrupi partneriks oma europrojekti ATSEC 1994. aastal, kui Eesti riigil polnud veel mingit legitiimsust Euroopa Raamprogrammi suhtes. Prof. Vierhausiga on jätkunud meil koostöö tänini. Theo on ainult vahepeal siirdunud professoriks Brandenburgi Tehnikaülikooli Cottbuses. Viimasel 5-6 aastal on meie koostöö toimunud kahe Theo poolt algatatud multilateraalse projekti raames (ZUSYS ja DCPS) ning on olnud suunatud ülikoolide võrgu loomisele Euroopas doktoritöö juhendamise kvaliteedi tõstmise eesmärgil, ühendades korraga mitme ülikooli kompetentse. Projektid on olnud suunatud õppe- ja uurimistööle *töökindlate arvutisüsteemide projekteerimise* valdkonnas.

Tänaseks on TTÜ arvutitehnika instituut muutunud autoriteediks digitaaltesti teadusvaldkonnas terves Euroopas, meid kutsutakse pidevalt projektipartneriks ja me ise paneme samuti kokku ning koordineerime europrojekte, kutsudes partneriteks teisi väljapaistvamaid Lääne-Euroopa ülikoole ning uurimisasutusi ja ka tippettevõtteid tööstusest. Selliste projektide koordinaatoriteks on olnud meil **Maksim Jenihhin**, **Gert Jervan**, **Artur Jutman** ja **Jaan Raik**. Jaani ja Arturit kutsutakse pidevalt konverentsidele plenaarettekandeid tegema või tippkonverentsidel tavaks muutunud tutooriale läbi viima. Erilise populaarsuse maailma tähtsaimatel konverentsidel (ITC, DATE, ATS jt) on saavutanud Arturi tutoorial trükkplaatide testimise uutest meetoditest, mida ta peab koos maailma tippteadlaste **Hans-Joachim Wunderlichiga** Saksamaalt ja **Matteo Reorda Sonzaga** Itaaliast.

Jaan Raik võõrustab konverentsikülalisi Itaaliast

Meie instituudi teaduslik koostöö teiste ülikoolide teadlastega on jäädvustunud ka publitseerimises. Rääkimata rohketest ühisartiklitest, kus koopereerumine välisteadlastega on nüüd juba peaaegu reegliks kujunenud, oleme avaldanud üksnes viimase 10 aasta jooksul ühistööna neli raamatut:

1. **I. Skljarova**, **V. Skljarov**, **A. Sudnitsõn**. Riist- ja tarkvara kaasdisain kiipsüsteemidele. TTÜ kirjastus, 2014, 226 lk. (ingl. k.).
2. R. Ubar, **J. Raik**, H. T. Vierhaus. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip. Veakindlate kiipsüsteemide projekteerimine.Kirjastus Information Science Reference. Hershey, IGI Global, New York, 2011, 550 lk
3. **O. Novak**, **E. Gramatova**, R. Ubar. Handbook of Electronic Testing. Elektroonikasüsteemide testimine. Kirjastus CTU Printhouse, Prague, 2005, 403 lk.
4. I. Skljarova, V. Skljarov, A. Sudnitsõn. FPGA-põhiste skeemide projekteerimine. TTÜ kirjastus, 2005, 226 lk. (ingl. k.).

Eriti väärib siin märkimist koostöö Aleksander Sudnitsõni ja Aveiro professorite, isa ja tütre, Valeri ja Iouliia Skljarovitega. Lisaks nimetatud kahe raamatu avaldamisele, on

mõlemad professorid osalenud korduvalt ATI-s läbiviidavas õppetöös ja doktoritööde juhendamisel. Prof. Valeri Skljarov valiti 2015. aastal TTÜ audoktoriks.

Doktoritöö kaitsmine Tampere Tehnikaülikoolis. Paremalt oponendid Valeri Skljarov (Portugal) ja Raimund Ubar, doktorant Stanislav Stankovic (Serbia) ja doktorandi juhendaja Jaakko Astola (Soome). Aveiro Ülikooli professor Valeri Skljarov on TTÜ audoktor aastast 2015.

Ajalooliseks paradoksiks sai see, et kontaktid diagnostika valdkonnas arenesid Lääne-Euroopaga kiiremini kui kontaktid naabritega Skandinaavias. Põhjuseks oli, et piir Soome ja Rootsiga oli tihedamini suletud kui piir „rahvademokraatliku" Saksa DV-ga. Pärast piiride avanemist 1989 oli SDV kontaktide kaudu edasi lääne suunas liikuda juba hõlpsam kui neid täiesti tühjast kohast hakata looma Skandinaavias. Samas on huvitav märkida ka seda, et instituudis viljeldav teadusvaldkond – digitaalsüsteemide diagnostika – oli Skandinaavias 90-ndate algul üsnagi vähe arenenud. Seetõttu olid meie teadmised Rootsis väga teretulnud, need võeti kiiresti üle ja rajati seejärel ka omaenda koolkonnad. Kahjuks projektideni, mis oleksid meie ülikoolile raha sisse toonud, me Skandinaavias siiski ei jõudnud (v.a. eeskätt tööstusele orienteeritud projekt ESTPID). 90-ndate esimene pool oli aeg, kus Rootsis pingutati püksirihma ja ülikoolides loeti hoolsalt raha. Paradoksaalselt näiteks **Raimund Ubari** jaoks, kes oli konkursi õppetooli saamiseks Stockholmi Tehnikaülikoolis võitnud, jäeti õppetool raha puudusel siiski avamata.

Väikeseks edulooks võib aga näiteks lugeda meie „bartertehingut" rootsi firmaga DIGSIM, kus Rootsi pool sai endale meie Turbo Testri tarkvara ja firma DIGSIM hakkas seda kasutama inseneride väljaõpetamiseks, meie aga saime nende disainitarkvara DIXIcad litsentsi ja hakkasime selle abil õpetama elektroonika masinprojekteerimist nii TTÜ-s kui IT kolledžis. Tänu meie korduvatele *knowledge transfer* aktsioonidele Linköpingi Ülikoolis, põhiliselt Rootsi Instituudi toetusel, õnnestus meil panna disaini haridusega prof. **Zebo Peng** huvituma testivaldkonnast ja meie aastaid kestnud koostöö päädis sellega, et Zebo uurimisgrupp tõusis uueks tipptegijaks maailmas. Eks omapoolse panuse andis sellele ka meie praeguse dekaani **Gert Jervani** doktorantuur Linköpingi Ülikoolis. Pisut hiljem tegi veelgi edukama hüppe maailma areenile Zebo üks teine õpilane **Erik Larsson**, saavutades oma õpetajast sõltumatuse ja iseseisvuse Lundi Ülikoolis.

Andres Keevallik stažeeris 70-ndate keskel 10 kuud Rootsis ja sealt algasid tema teaduskontaktid Skandinaaviaga, mis aktiviseerusid samuti 90-ndatel pärast piiride avanemist. Eriti tihedad sidemed kujunesid Keevallikul prof. **Hannu Tenhuneniga** Stokholmi Kuninglikust Tehnoloogia ülikoolist ja tema uurimisgrupiga, kuhu kuulusid **Ahmed Hemani**, **Shashi Kumar**, **Axel Jantsch**, **Mattias O'Nils**, kelle kõigiga on mitmed ATI inimesed koostööd teinud ja ühiseid publikatsioone kirjutanud. Eestist sõitsid Tenhuneni juurde õppima Keevalliku uurimisgrupist **Boris Berkman**, kes hiljem siirdus küll USA-sse, **Peeter Ellervee**, kes kaitseski oma doktoritöö Hemani juhendamisel Rootsis, **Kalle Tammemäe**, kes alustas Rootsis oma doktoritöö tegemist, aga kaitses Tallinnas.

Hannu Tenhunen – TTÜ audoktor aastast 2003

Hannu Tenhunen on Põhja-Euroopa mikroelektroonika ja ASIC alase temaatilise koostöövõrgustiku üks põhiloojaid, sh. kauaaegne IEEE Norchip konverentsi peaorganiseerija. Alates 1990-ndatest aastatest on ta aktiivselt osalenud Eesti ja TTÜ integreerimisel täismõõdulise partnerina Põhjala vastavasuunalistesse tegemistesse (näitena sellest olgu toodud fakt, et 1997. a. toimus IEEE Norchip konverents Tallinnas, kus peakorraldajaks oli **Raimund Ubar**). Praegu on **Peeter Ellervee** IEEE Norchip konverentsi orgkomitee alaline liige. Tenhuneni teeneks võibki lugeda kahepoolsete kontaktide intensiivistamist KTH ja TTÜ vahel alates 1990. aastate algusest, samuti elektroonikaalaste ettevõtmiste toetamine Eestis. Tenhunen oli väga aktiivne eelpool kirjeldatud ESTPID projekti käivitamisel. Tema eestvedamisel toimus KTH avanemine ka TTÜ tudengitele nii kraadiõppeks (magistri- ja doktoriõpe) kui ka kursuste külastamiseks. Samuti osutas ta pidevat aktiivset abi TTÜ-le uute kursuste ja programmide loomisel, mille näiteks oli *SoC curricula*, samuti IT Kolledži õppekavade arendamine. 2003. aastal valiti Hannu Tenhunen TTÜ audoktoriks.

Ka Jonköpingi Ülikooli võib lugeda teadusasutuseks, kus Raimund Ubari pikemaid loengukursusi on loetud korduvalt, koguni terve semestri vältel.

Kui professorite külalisvisiite teistesse ülikoolidesse loengute pidamiseks võis ehk varem pidada rohkem nende eralõbuks, siis nüüd seoses Tallinna Tehnikaülikooli üha intensiivsema rahvusvahelistumisega, üliõpilaskontingenti silmas pidades, tuleb niisuguseid külalisloenguid või -kursusi lugeda kõige paremaks ülikooli reklaamiks uute välistudengite ja -doktorantide saamise eesmärgil. Nii mitmedki välispäritoluga doktorandid ATI-s ongi meile sattunud just tänu meie õppejõudude üha levivale tuntusele maailmas. Käesoleval hetkel on ATI-s näiteks 8 välismaist doktoranti: **Apneet Kaur Sandhu** ja **Ranganathan Hariharan** Indiast, **Vakhtang Mosidze** ja **Tsotne Putkaradze** Gruusiast, **Behrad Niazmand** ja **Siavoosh Payandeh Azad** Iraanist, **Muhammad Tjammul** Pakistanist ning **Adeboye Stephen Oyeniran** Nigeeriast.

Eesti iseseisvuse saabudes nägid meie poliitikud ja majandusmehed esimestel aastatel üheks oluliseks edu saavutamise šansiks meie geograafilist positsiooni piiririigina, mis pakkus suurepäraseid võimalusi saada vahendajaks Ida ja Lääne vahel. Paraku on kontaktid majanduses ja teaduses arenenud siin vastasfaasis. Kui majanduses oli idasuunaline aktiivsus algul suur, aga seejärel vaibus poliitilistel põhjustel, siis teaduses juhtus vastupidine: algul seati pilgud üksnes lääne suunda. Üheks põhjuseks ainult Läände vaatamisel oli keelebarjääri tekkimine Idaga – soov vene keelt õppida oli jäänud eesti noorte seas marginaalseks. Teiseks põhjuseks oli tippteadlaste massiline emigreerumine Venemaalt, mistõttu kadus ka motivatsioon Idas koostööd otsida. Kuid sedavõrd, kuidas hakkas ka Idas teadusmeediumiks kujunema inglise keel, avanesid uued perspektiivid koostöö taastamiseks ka Ida suunas.

Piiririigi „vahendusfunktsiooni“ potentsiaal realiseeruski nüüd näiteks uut laadi rahvusvahelise iga-aastase konverentsi East-West Design & Test Symposium – EWDTS asutamisega 2003. aastal, mille initsiaatoriks ja võtmeisikute (**Yervant Zorian** USA-st, **Paolo**

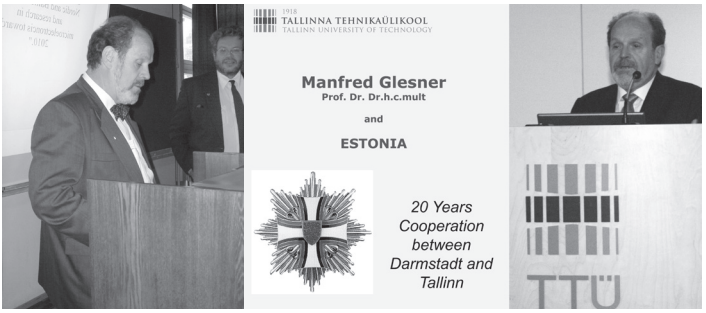
Prinetto Itaaliast ja **Vladimir Hahanov** Ukrainast) kokkuviijaks oli **Raimund Ubar**. See konverents on nüüd toimunud järjest juba 14 korda, seni küll vaid mööda Ida riike – mööda Ukrainat, Venemaad ja Armeeniat – kulgedes, küll aga on ühendanud tihedalt teadlasi nii Ukrainast, Venemaalt ja Armeeniast kui ka USA-st ja Lääne-Euroopast, samuti Eestist. Eriti atraktiivseks teeb konverentsi see, et sinna kutsutakse regulaarselt esinema maailma kõige tuntumaid teadlasi.

Ülalkirjeldatud lugu teekaaslastest ATI Euroopa teadusrännakul katab vaid väikese osa neist, kes on meid raja tagant toetanud meie uurimistöös nii nõu kui jõuga. Peaaegu üldse pole puudutatud uusi kontakte, milliseid on loonud ATI noorem teadlaste põlvkond **Jaan Raiki**, **Artur Jutmani**, **Gert Jervani** ja **Maksim Jenihhiniga** eesotsas nende poolt juhitud viimaste europrojektide DIAMOND, BASTION, CREDES, MEDIAN, IMMORTAL, TUTORIAL jt. raames. Nende projektidega seotud tegemistest on siiski juttu raamatu teistes peatükkides.

Manfred Glesner – TTÜ audoktor ja Maarjamaa risti kavaler

Väga suure panuse andis nii projekti TEMPUS Eestisse toomisel, selle läbiviimisel kui ka hiljem paljude aastate jooksul toimunud koostöö vältel Darmstadti Tehnikaülikooliga professor **Manfred Glesner**.

1996. aastal valiti prof. Glesner TTÜ audoktoriks ja 2013. aastal pälvis ta Eesti Presidendilt Maarjamaa Risti ordeni. Alljärgnev on tekst, mis kirjeldab professori saavutusi ja panust Eestile, ja mis saadeti TTÜ-st Presidendi büroole ordeni taotlemiseks.



Vasakul: Kaks TTÜ audoktorit. Manfred Glesner esiplaanil ja Hannu Tenhunen. Paremal: Manfred Glesner saab Maarjamaa risti ordeni.

„Glesner on väga suure rahvusvahelise renomeega. Tema käe all on õppinud mitu tuhat inseneri ja ligemale 60 doktoranti, kellest umbes pooled on jõudnud juba professori positsioonile nii Saksamaal kui ka teistes Euroopa riikides. Glesner on olnud Saksamaa Infotehnoloogia Ühingu asepresident, üle-Euroopalise tehnikaülikoole ja mikroelektroonika tööstust vahendava organisatsiooni Eurochip üks rajajaid, paljude tippkonverentside orgkomitee liige või esimees. Ta oli üks esimesi professoreid Saksamaa doktorikoolide rajajate hulgas ja on juhendanud õpilasi selle raames sellistes strateegilistes valdkondades nagu tarkade süsteemide disain, signaalitöötlus, närvivõrgud ja hägusloogika. Oma suurte kogemuste tõttu on ta prominentse teadlasena olnud konsultandiks nii Saksamaa Haridus- ja Teadusministeeriumis, Euroopa Ühenduses kui ka ÜRO liinis.

Professori rikkalikust kogemuste pagasist on jagunud märkimisväärselt palju Eesti teadusele ja kõrgharidusele. Tema sidemed Tallinna Tehnikaülikooliga said alguse 90-ndate murdelisel ajajärgul, kui Eesti eriti vajas abi ning toetust tehnikateaduste ja hariduse rahvusvahelistumisel ja taseme viimisel võrdväärseks Euroopa ülikoolidega. Professor oli koordinaatoriks ühele esimesele europrojektile Eestis programmi TEMPUS raames, mille tulemusena rajati uut tüüpi mikroelektroonika tehnoloogiat viljelev programmeritavate loogikakiipide disaini labor ning elektroonika kompetentsuskeskus vastava ala õppe- ja teadustöö taseme tõstmiseks Eestis. Projekti raames sai väljaõppe Euroopas umbes 50 Eesti magistranti, doktoranti ja õppejõudu kas professor Glesneri enda, tema õpilaste ja kolleegide

või ka teiste ülikoolide professorite käe all. Väga suureks panuseks Eesti tehnikateaduse arengule oli M. Glesneri toetus TTÜ vastuvõtmisel ühe esimese Ida-Euroopa ülikoolina rahvusvahelisse Euroopa tippülikoolide assotsiatsiooni EUROCHIP (praegune EUROPRACTICE), mille tulemuseks oli nimetatud labori ja keskuse varustamine professionaalse projekteerimistarkvaraga litsentside koguväärtuses umbes 50 miljonit krooni. Osalemine selles assotsiatsioonis andis Eesti elektroonika- ja arvutiteadlastele vahetu ligipääsu arenenud pooljuhttehnoloogiatele. Nii näiteks projekteeriti uues rajatud keskkonnas Eesti esimene ülisuur spetsiaalne mikrokiip kasutamiseks krüptograafias. Hiljem jätkus M. Glesneri koostöö Eesti tehnikateadlastega mitmete uute euro- või bilateraalsete projektide raames, kus näiteks projekti VILAB tulemusena loodi rahvusvaheline virtuaalne digitaalseadmete disainikeskkond, mille tarkvara võimaldas Eesti teadlastel veebipõhiseid ühiseid teaduseksperimente paljude maailma ülikoolidega.

Professor Glesneri haare Eesti teaduse ja kõrghariduse toetamisel on olnud väga lai ning väga paljuski tuleb tänada teda mitmete tänaste edulugude eest TTÜ-s ja Eestis laiemalt. Kõige esimene M. Glesneri juhitud projekt TEMPUS „viis TTÜ teadlased Euroopasse", edasi järgnesid tema laboris väljaõppe saanute initsiatiivil uued ja uued europroje ktid. M.Glesneri toetusel on olnud osa ka selles, et viimastel aastatel on Tallinnast saanud tervelt 8 korral maailma tippkonverentside korraldaja linn, mis on kaasa aidanud rahvusvaheliste kontaktide tugevdamisele. Erakordseks saavutuseks Eestis, kus paljuski on olnud suur teene prof. Glesneril, on tervelt kolme 7-nda Raamprogrammi projekti CREDES, DIAMOND ja BASTION üldkoordineerimine Eesti teadlaste poolt, kus partneriteks on niisugused tippfirmad nagu IBM, Ericsson, Infineon jt. Prof. Glesneri panus ja osalus TTÜ teadustööle on toimunud väga laias diapasoonis. Tema toetus on mõjutanud positiivselt TTÜ arvutitehnika, elektroonika ja elektroenergeetika instituutide, ning Tehnomeedikumi ja Biorobootikakeskuse arengut, aga ka Infotehnoloogia Kolledzhi töö käivitamist, mille asutaja ja esimene rektor Kalle Tammemäe on korduvalt oma kvalifikatsiooni tõstnud Glesneri juhitavas kollektiivis.

Ühest prof. Glesneri õpilasest Thomas Hollsteinist on tänaseks saanud TTÜ korraline professor ning M. Glesneri innustamisest ja nõuannetest on abi olnud nii Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia doktorikooli, Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskuse (mille rahvusvahelise nõuandva kogu juhiks on Glesner) kui ka näiteks TTÜ spin-off firma Testonica Lab rajamisel, mis asub järgmisest aastast koordineerima eelpool mainitud uut europroje ktid BASTION, olles üheks vähestest Eesti väikefirmadest, kel on õnnestunud saavutada niivõrd kõrge positsioon Euroopa tipptööstuses. Professor Glesneri algatus ja toetus on andnud Eesti elektroonika- ja arvutiteadlastele võimaluse aktiivse ja viljaka koostöö arendamiseks parimate tehnoloogiakoolidega ja eesrindliku tipptööstusega maailmas. Tema esmaklassiline töö Eesti inseneriteaduse ja -hariduse edendamisel väärib kindlasti riiklikku tunnustust".

Välisprofessuur ATI-s – Thomas Hollstein

2010. a. sügisel käivitus veel üks projekt, mille initsiaatoriks oli prof. **Gert Jervan** ja mille „katuseks" oli DoRa programm: projekt AR9063IA „Sardsüsteemide professor **Thomas Hollstein** (1.09.2010 – 31.05.2015)". Otsesõnu tähendas see projekt seda, et ATI sai rahastuse välisprofessuuri jaoks, kuhu me kutsusime prof. Thomas Hollsteini Darmstadti Tehnikaülikoolist. Selle ülikooliga olime olnud ju sinasõbrad juba ligi 20 aastat, alates meie esimese europroje ktiTEMPUS käivitumisest, mille üheks juhiks oligi toona Thomas Hollstein. Nüüd saime ta viieks aastaks oma kolleegiks.

CV – Prof. Dr.-Ing Thomas Hollstein
Lõpetas Darmstadti Tehnikaülikooli 1991. aastal elektri- ja arvutiteaduse insenerina. 2000. aastal kaitses ta samas ülikoolis doktoritöö teemal „Design and Interactive HW/SW Partitioning of Complex Heterogeneous Systems". 2000-2010 töötas Thomas Hollstein Darmstadti Tehnikaülikoolis vanemteadurina, juhtides muuhulgas kiipsüsteemide kommunikatsiooniarhitektuuride ning kiipsüsteemide testimis- ja silumismeetodite uuriisele pühendunud uurimisrühma. Alates aastast 2010 töötab Thomas Hollstein Tallinna Tehnikaülikooli arvutitehnika instituudis sardsüsteemide professorina. Tema uurimisvaldkondadeks on kiipsüsteemide disain, kiipvõrgud, süsteemide silumine ja test. Sardsüsteemide professuuri rahastab SA Archimedes DoRa programmi raames Euroopa sotsiaalfondi vahenditest.

Nende aastatega on Thomas kasvanud meie pere liikmeks, ta on juhtinud mitmetes meie projektides konkreetseid teemalõike, juhendab kahte doktoranti (**Siavoosh Payandeh Azad** ja **Radomir Šebek**), on olnud väga aktiivne oma teadustulemuste publitseerimisel, on osalenud mitmete meie rahvusvaheliste konverentside ja seminaride juhtimisel. Just äsja lõppes Tallinnas ühe maailma tippkonverentsi juubeliüritus – 35. IFIP/IEEE VLSI SoC Conference, mille programmikomitee juhiks oli **Thomas Hollstein**. Väga suur oli Thomase panus ATI juhitava tippkeskuse CEBE edukal lõpule viimisel. Thomas Hollsteini peamisteks koostööpartneriteks ATI-s on olnud **Gert Jervan**, **Jaan Raik**, **Peeter Ellervee**, **Vineeth Govind**, **Priit Ruberg** jt.

Tippkeskuses CEBE juhtis Thomas Hollstein ühte keskuse koostööprojektidest – „Sardsüsteemide projekteerimise platvorm," olles selle projekti raames ATI ja Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituudi teaduride tugevaks ühendajaks. Koostöö oli koordineeritud elektroonikute ühe teise projektiga „Riist- ja tarkvaralised lahendused kognitiivsetele sardvõrksüsteemidele", mille juhiks oli **Yannick Le Moullec**. Koostöös osalesid elektroonika instituudi teadurid: **Paul Annus** ja **Marko Reidla.**

Thomas Hollsteini teadustöö oli kontsentreerunud eeskätt järgmistele temaatikatele: uus kontseptsioon usaldusväärsete süsteemide projekteerimiseks, mis põhines uutel ruutimisalgoritmidel kommunikatsiooniahelate tõrgetest ülesaamiseks, ressursside optimaalne tükeldamine erineva kriitilisuse astmega rakenduste realiseerimiseks multiprotsessor-kiipsüsteemides, universaalse ummikuvaba (*deadlock free*) NoC-ruutimismudeli väljatöötamine ja samuti uue simulaatori loomine NoC-struktuuride analüüsiks. Thomas on juhendanud ka mitmeid külalisdoktorante ja teadlasi meie instituudis, nagu **Thilo Kogge**, **Ying Haoyuan** ja prof. **Klaus Hofmann** (TU Darmstadt), sidumaks taas tihedamalt kokku ATI ja Darmstadti Tehnikaülikooli teadushuvisid. Thomas Hollstein on olnud aastate vältel ka aktiivseks digitaalsüsteemide diagnostika augustikursuse korraldajaks rahvusvahelises suvekoolis Darmstadtis, milliste läbiviijateks on olnud ATI teadlased **Artur Jutman** ja **Raimund Ubar.**

Professor Thomas Hollstein. Paremal arutelu pärast Thomas Hollsteini venia legendi ettekannet. Vasakult Gert Jervan, Thomas Hollstein, Ülo Jaaksoo, Margus Kruus.

Järgnev kirjutis[15] räägib Thomase kui võõramaalase esmastest muljetest Eestisse tööle asumisel.

Th.Hollstein: Infotehnoloogia e-Eestis – uustulnuka vaade

„Praegu teeb suur hulk alustavaid IT-ettevõtteid Eestis head äri. Kuid ka fakt, et Skype'i peakorter asub Tallinnas, üsna lähedal TTÜ IT-hoonele, toob tihti üllatunud ilme minu saksa vestluskaaslaste näole. Teise riiki kolimine on alati natuke seikluslik ning maagiline, nagu on öelnud **Hermann Hesse**. Kõigepealt tuleb hakkama saada väga praktiliste ülesannetega: ilma pangaarveta pole töölepingut, töö-

[15] Th. Hollstein. Infotehnoloogia e-Eestis – uustulnuka vaade. Arvutimaailm Nr. 9 (184) September 2011.

lepinguta elamisluba/ID-kaarti ja ilma ID-kaardita pole pangaarvet. Klassikaline nõiaring. Sõbralikud ja paindlikud pangatöötajad lahendasid aga probleemi ja elu e-Eestis võib alata: Eesti ID-kaart osutus võtmeks, mis avab kõik uksed. ID-kaardiga saab bussipileti, siseneda internetipanka, suhelda eesti ametiasutustega – kõik elulised esmavajadused on lahendatud.

Enne Eesti Panga deebetkaardi kättesaamist aga ilmnes, et Euroopa standardset Maestro Cardi ei saa Eestis ülepea kasutada. Pärast esialgset kahtlust, kas see riik ikka käib ajaga kaasas, tuli välja, et siin on juba täielikult üle mindud uuele turvalisele V-PAY kiipkaardistandardile, mida nüüd tasahilju ka Saksamaal juurutatakse. Eesti krüptokiibiga varustatud ID-kaardiga internetipangandus on turvaline maksemeetod, mida minu Saksa pank mulle siiani pakkuda ei suuda. Kui Eesti kodanikud kasutaksid integreeritud PIN-koodi klahvistikuga kaardilugejaid lihtsate USB-kaardilugejate asemel, oleks see tõeliselt turvaline (niisiis on veel natuke arenguruumi).

Kui internetiühendus minu korteris aktiveeriti, olin ma meeldivalt üllatunud selle üle, mida peitis endas meie maja keldri tehnikaruum: seal oli fiiberühendusega tipptehnoloogiline ruuter. Uue ühenduse loomine tähendas vaid Etherneti ühenduskaabli kontakti pistmist ning ostetud teenuste veidikest kaugkonfigureerimist ruuteri pordil. Saksamaal hakkavad inimesed alles praegu aru saama, et fiiberoptikal on nii mõnedki eelised võrreldes vanade heade vaskkaablitega. Külaskäik sõbra maakohta ääremaale avaldab muljet: 14 megabitine WiMAXi internetiühendus! Mõni saksa küla näeb siiani und internetist, mis oleks kiirem kui 700 kBit/s. Niisiis veendun üha enam, et Eesti on elamiseks hea paik.

IT Eestis – mis toimub? 20 aasta jooksul pärast Eesti taasiseseisvumist on siin üles ehitatud tõhus väikese ja keskmise suurusega ettevõtteid toetav taristu, mida edendavad järjekindlad ja pidevad poliitilised meetmed ning tegevused. Kuigi praegu töötab enamik IT-firmadest tarkvara valdkonnas, siis edaspidi võib pilt hakata muutuma. Rahvusvahelise tööjõuturu konkurentsi ning intellektuaalomandiga seotud proovikivide tõttu võivad nii mõnedki ettevõtted astuda sammu edasi integreeritud riistvara/tarkvara projekteerimise suunas.

Miks on IT õpe paljulubav? Praegu teeb kogu arvutimaailm läbi muutumisprotsessi. Klassikalised personaalarvutil põhinevad töökohad asenduvad üha enam mobiilseadmetega, mis tarbivad vähem energiat. Nutitelefonid on siin hea näide, mis tõestab, et isegi selliseid näiliselt võitmatuid operatsioonisüsteeme nagu Microsoft Windows on lihtne asendada lühikese aja jooksul tõhusamate ja paindlikumate Unixi-põhiste operatsioonisüsteemidega. Rakendused muutuvad *app*'ideks ja neid saab lihtsalt alla laadida ning installeerida ilma mistahes oskusteabeta operatsioonisüsteemi ja selle installimise kohta. Sardandmetöötlusplatvorme integreeritakse kõikvõimalikesse koduelektroonika ja -automaatika seadmetesse ning tööstusseadmetesse. Hea IT-alane ülikooliharidus, mis pakub oskusteavet uusimate riist- ja tarkvara disainikontseptsioonide kohta, võimaldab noortel spetsialistidel kavandada uusi tehnoloogilisi kontseptsioone, mida tuleviku konkurentsivõimelise IT-tööstuse tarbeks vajatakse. Hea haridustase (bakalaureus ja magister – ning tulevaste ettevõtte tehnoloogiajuhtide jaoks ka doktorikraad) annab rahvusvahelisel IT-turul konkurentsivõimelise väljavaate.

Kui keegi oleks ennustanud, et klassikalised PC-arvutid kaovad üha enam kasutuselt, ei oleks ükski inimene vaid mõni aasta tagasi seda uskunud. Personaalarvutitel põhinevad töökohad kaovad ja seadmetevahelisest pilvsidest kujuneb uus hajustöötluse paradigma. Ühe, kahe, nelja tuumaga protsessorid muutuvad paljutuumalisteks, kuhu operatiivmälu on juba integreeritud.

Kui vanas paradigmas oli terviklike kiipsüsteemide ja mikroprotsessorite kavandamine vaid suurte pooljuhttehnoloogiafirmade teha, siis nüüd arenevad asjad teises suunas ja igaüks võib osta vajalikud protsessori komponendid, integreerida need kiibile ja lasta tooted mõistliku hinnaga valmistada mõnes suures kiibitootmise teenust pakkuvas ettevõttes. See võimaldab väikestel riikidel ning väikese ja keskmise suurusega ettevõtetel oma keeruliste integreeritud ja võrgustatud riistvara-/tarkvaratoodetega kaasa mängida rahvusvahelisel kiibiturul. Eesti on väike riik ja tema eeliseks on paindlikkus, et hõivata äriatraktiivseid nišše.

Tagasi tulles Hermann Hesse väite juurde: igas alguses on midagi imelist, kuid pärast Eesti 20 taasiseseisvusaastat on vaja konsolideerumist ja pikaajalist strateegiat. See hõlmab keerukaid haridusalaseid jõupingutusi ja kõike seda, mida saab teha üksnes suurepärase hariduse saanud spetsialistidega."

ATI noorteadlaste saavutatud auhindu

Vasakul: Jaan Raik (keskel) selgitab kolleegidele oma uut ideed. Paremal: Jaan Raik ja IEEE CS president Yervant Zorian (USA).

2007, Jaan Raik (s. 1972)
Eesti Teaduste Akadeemia Bernhard Schmidti nimeline preemia[16]

13. detsembril 2007. aastal omistati Eesti Teaduste Akadeemia poolt **Bernhard Schmidti** nimeline preemia teadus- ja arendustöö rakenduste eest Tallinna Tehnikaülikooli tehnikateaduste doktorile Jaan Raikile. Sündmust vaatles teadusajakirjanik **Margus Maidla**.

Schmidti preemiat antakse välja konkursi korras iga kahe aasta tagant, et esile tõsta Eesti noorte teadlaste ja inseneride saavutusi arendustegevuses ja teaduslike uurimistulemuste evitamisel. Preemia antakse kuni 35 aastasele teadlasele. Preemia kandidaatide esitamise õigus on akadeemikutel, ülikoolide teaduskondadel, teadusasutuste nõukogudel, teadusseltside juhatustel ja Eesti Inseneride Liidu juhatusel.'

Natuke Schmidtist. Väljapaistev optik ja astronoom Bernhard Schmidt sündis 11. aprillil 1879 Naissaarel, õppis sealses vallakoolis, seejärel töötas Tallinna päästeteenistuses ja Volta tehases. Juba Tallinnas alustas ta tähevaatlusi ja saatis oma tähelepanekuid rahvusvahelistele astronoomia ajakirjadele. Õppides Rootsis ja Saksamaal omandas ta erakorralise oskuse ja saavutas laialdase tunnustuse erineva kuju ja mõõtmetega läätsede ning peeglite täppislihvimises paljude observatooriumide teleskoopide jaoks. Ta töötas välja ka erilised aberratsioone (kõrvalekaldeid) korrigeerivad läätsed. Vaatlustehnikas oli murrangulise tähtsusega 1930. a. Schmidti poolt leiutatud nn koomavaba teleskoop ehk Schmidti kaamera. Ta uuris ka tuulerootorite konstruktsiooni, valmistas sõjalaevadele täppispeegleid, sai patendi täiustatud periskoobile. Tema nime kannab ka üks väikeplaneet. Schmidti teleskoopide võidukäik jätkus ka pärast tema surma 1935. Kaua aega oli neist suurimaks 1948 USA Mount Palomari Observatooriumis monteeritud nn Big Schmidt läbimõõduga 120 cm. Veel suurem Schmidti teleskoop on nüüdseks ehitatud Hiinas. Hispaanias aga on kolm Schmidti teleskoopidega varustatud observatooriumit ühendatud ühtsesse automatiseeritud sünkroonselt töötavasse süsteemi.

Preemiavääriline tarkvara on esirinnas. Jaan Raik on arendanud välja kiibitööstuses kasutatava testiprogrammi, mis avastab defektiga kiipe. Eestis kasutavad antud tarkvara mitmed ettevõtted eesotsas Eliko, Artec ja Elqoteq MPI-ga. Konkursitöös on edasi arendatud digitaalsüsteemide diagnostika teooriat ja meetodeid ning loodud selleks kompleks-

[16] Forte. Dec 20, 2007. Maidla tekst. http://forte.delfi.ee/news/teadus/noore-teadlase-preemia-palvis-jaan-raik?id=17760578

ne uurimiskeskkond uute tarkvarasüsteemide ja andmebaaside näol. See on võimaldanud tõsta nii digitaalsüsteemide simuleerimise kui ka testide sünteesi kiirust ja kvaliteeti ning minimiseerida testimise aega.

Jaan Raik on olnud kaasautoriks rohkem kui sajale publikatsioonile eelretsenseeritavates teadusväljaannetes. Neist 34 on esindatud IEEE digitaalses raamatukogus. J. Raiki produktiivsuse aluseks on tihe rahvusvaheline koostöö.

Töö hindamisel tugines konkursikomisjon (esimees **Hillar Aben**, liikmed **Ilmar Koppel**, **Rein Küttner** ja **Peeter Saari**) akad. **R.-J. Ubari** esildisele, akad. **E. Tõugu** retsensioonile ja ELIKO OÜ direktori **Indrek Ruiso** hinnangule.

Juhendaja meenutab: Olen olnud Jaan Raiki õpetajaks ja juhendajaks alates 1993. aastast, kui Jaan oli III kursuse üliõpilane. Juba siis innustus ta väga teaduslikust uurimistööst ning paistis silma initsiatiivikusega ja visadusega. Pühendumus kandis vilja ja kiiresti hakkasid tulema tulemused. Juba järgmisel kursusel ilmus noore tudengi esimene publikatsioon väga hinnatavas üle-euroopalises kogumikus. See oli aeg, kus Eesti teaduselus tuli aktiivselt „uksi lahti murda" Euroopasse. Uste avanedes algas ajude äravool, mistõttu 90-ndate keskel oli Eestis üsna raske noori uurimisgruppe koos hoida. Jaan Raiki teadustöö ja publikatsioonid tegid ta üsna ruttu tuntuks raja taga, tuli tööpakkumisi ka Silicon Valley'st Ameerikas. Õppimise ja enesearenduse seadis Jaan siiski kõrgemale kui kiire rahateenimise võimalused. Uurimisgrupi ühe liidrina andis Jaan Raik eesti teadusele panuse mitte üksnes oma isiklike uurimistulemuste näol, vaid ka seeläbi, et oma eeskuju, koostöövalmiduse ning juhendamisoskusega suutis ta innustada tervet kollektiivi, teisi magistrante ja doktorante (R. Ubar, 2007).

Jaan Raik kaitses oma doktoritöö 2001. aasta detsembris, kusjuures tema oponendid – maailmakuulsad teadlased prof. **Paolo Prinetto** Itaaliast (TTTC president) ja prof. **Einar Aas** Norrast andsid tööle väga kõrge hinnangu. Tema doktoritöö käsitles infotehnoloogia seadmete diagnostika automatiseerimise probleeme.

Kõige olulisemaks panuseks Jaan Raiki uurimis- ja arendustöös on olnud diagnostika teooria ja meetodite edasiarendus uute efektiivsete testisünteesi ja -analüüsi algoritmide näol ning tipptasemel uurimiskeskkonna loomine uute tarkvaratööriistade, andme- ja mudelteekide näol TTÜ arvutitehnika instituudi laboris. Oma uurimistöös on Jaan saavutanud rida väljapaistvaid tulemusi, mis on võimaldanud tõsta nii süsteemide simuleerimise kui ka testide sünteesi kiirust ja kvaliteeti, aga ka minimeerida testimise aega.

Jaan Raiki väljatöötatud algoritmid ületavad mitmete omaduste poolest seni tuntud sama klassi algoritme. Tema hierarhilise testigeneraatori DECIDER ekvivalent maailma kommertsturul puudub.

Jaan Raiki poolt väljatöötatud diagnostikatarkvara Turbo Tester on tänaseks litsenseeritud enam kui 300-s laboris kokku 47-s riigis üle maailma. Tuntumatest välisettevõtetest on paketi omandanud IBM, printeritootja Lexmark, Austrian Microsystems (AMS), mis on Euroopa juhtiv ränitehnoloogia projekteerimisfirma jt.

Jaani teadustulemusi ja rakendusi kasutatakse ka Eesti tööstuses. Aastail 2001-2003 juhtis ta koostööprojekti noore ning eduka Eesti firmaga Artec Design Group, kes on saavutanud märkimisväärseid tulemusi USA infotehnoloogia turul. Jaan Raik on ka teadusarenduskeskuse ELIKO Missioonikriitilised sardsüsteemid *strateegilise suuna juht ning projektijuht. Lisaks eel*nevale, on Jaan TTÜ *spin-off* firma Testonica Lab OÜ kaasasutajaks ning veab 6. Raamprogrammi europrojekti VERTIGO, kus TTÜ testi- ja verifitseerimislahenduste juurutamisest on huvitatud Euroopa suurim mikrokiipide tootja STMicroelectronics.

Jaan Raik on olnud kaasautoriks juba rohkem kui sajale publikatsioonile eelretsenseeritavates teadusväljaannetes. Tervelt 34 neist on esindatud IEEE digiraamatukogus. Jaani teadustöö produktiivsuse saladuseks on tihe rahvusvaheline koostöö (suur osa artikleid on kirjutatud koostöös paljude laborite teadlastega üle Euroopa).

Eriti hinnaliseks tuleb pidada Jaan Raiki artikleid antud valdkonna tähtsaimas ajakirjas *Kluwer Academic Publisher Journal of Electronic Testing* ning maailma tähtsaimatel teaduskonverentsidel *Design Automation and Test in Europe (DATE)*, *European Test Workshop/ Symposium (ETS)*, *International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* ja *IEEE International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)* Kalifornias. Esile tuleb tõsta tema publikatsioone ka foorumitel nagu *IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems*, *International Conference on Field-Programmable Logic and its Applications (FPL)* ja mujal. Jaan Raiki küpsusest räägib tellitud kaastöö suure populaarsuse omandanud Kluweri poolt aastal 2003 avaldatud raamatus „Networks on Chip".

Jaan Raik on Valgetähe IV klassi teenetemärgi kavaler (2013), Tallinna Tehnikaülikooli aasta noorteadlane (2006), Vabariigi presidendi kultuurirahastu noore teadlase preemia laureaat (2004), on saanud **Boris Tamme** nimelise järeldoktori stipendiumi (2004) ja Gebert-Rüf'i Fondi stipendium (Šveitsi teaduspreemia, 2001), mitmeid preemiaid Haridusministeeriumi üliõpilastööde teaduskonkurssidel tehnikateaduste alal (1994-1999), III preemia ajakirja „Baltic Electronics" ja Motorola Balti riikide üliõpilastööde teaduskonkursil (1996) ja terve rea parima artikli auhindu rahvusvahelistel konverentsidel (LATW, DDECS, WRTLT, MIXDES jt).

2008, Gert Jervan (s. 1974), TTÜ aasta noorteadlane

Juhendaja meenutab: Olin **Gert Jervani** juhendajaks aastatel 1995 – 1998, kuni hetkeni, kui ta pärast magistrikraadi kaitsmist siirdus edasi Linköpingi Ülikooli prof. **Zebo Pengi** juurde doktorantuuri. Järgnevatel aastatel arenes välja viljakas rahvusvaheline koostöö kahe labori vahel TTÜ-s ja Linköpingis, milles väga suur roll oli Gert Jervanil. Koostöö tulemuslikkust ilmestab 8 ühispublikatsiooni mainekates kogumikes, kus peaaegu kõigi nende artiklite põhikirjutaja oli Gert Jervan. Rootsis kaitses Gert nii oma litsensiaaditöö (2002) kui ka doktoritöö (2005). Möödunud aasta algusest on Gert Jervan järeldoktorina tagasi Tallinna Tehnikaülikooli juures, kus ta on end näidanud äärmiselt aktiivsena ja produktiivsena. (**R. Ubar**, 2008).

Gert Jervan

Gert Jervani teadustöö kuulub infotehnoloogia valdkonda: Tema uuringute põhieesmärgiks on IT süsteemide diagnostika ja veakindlus. Arvestades IT suurt osatähtsust tänapäeval kõige laiemas mõttes ja sellest tulenevaid üha suurenevaid nõudmisi IT süsteemide kvaliteedile ja tõrgeteta tööle, kuulub digitaalsüsteemide veakindlus tähtsaimate selle valdkonna uurimisprobleemide hulka. Oma originaalsete teadustulemustega on Gert Jervan saanud lühikese aja jooksul tuntuks mitte üksnes Euroopas vaid ka USA-s. Väga suurt huvi on pakkunud tema tulemused just kiipsüsteemide ja kiipvõrkude isetestimisel – need on uued paradigmad digitaalsüsteemide projekteerimisel (veel 10-15 aastat tagasi ei eksisteerinud isegi terminit „kiipvõrk" ühteainsasse mikrokiipi realiseeritud arvutivõrgu tähistamiseks). Uurides ja lahendades kiipsüsteemide ja kiipvõrkude diagnostika probleeme on Gert

Jervan saavutanud rea väljapaistvaid tulemusi, mis võimaldavad tõsta isetestivate digitaalsüsteemide usaldatavust. Oma naasmisega Tehnikaülikooli on ta märkimisväärselt tugevdanud arvutitehnika instituudi teaduspotentsiaali ja avardanud siinse teadustöö ampluaad.

Gert Jervan on oma noorusele vaatamata saavutanud kõrge tunnustuse oma ala teadlaste hulgas. Tal on rohkem kui 100 teaduspublikatsiooni, rahvusvahelise tuntuse saamisel on olnud olulised ka tema korduvad esinemised maailma tippkonverentsidel ETS, DFT, ISQED, HLDVT, EUROMICRO, NORCHIP. Ta on rahvusvaheliselt nõutud ekspert ja retsensent. Nii näiteks retsenseerib ta pidevalt artikleid maailma kõige mainekamatele konverentsidele digitaalsüsteemide disaini valdkonnas nagu DATE, ITC, ETS, ATS, DSD, ISQED jt. Seejuures on Gert Jervan kuulunud ka ise kahe ülemaailmse foorumi European Test Symposium aastatel 2001 ja 2005 peakorraldajate hulka, kusjuures viimane neist toimus Tallinnas, aga ka veel mitmete teiste rahvusvaheliste konverentside üldkorraldajana, nt. EAEEIE (2008), EWME (2014).

Oma teadustöö ning teadus-organisatoorse töö kogemused on Gert omandanud põhitäitjana kolmes EL projektis, kolmes Rootsi uurimisprojektis ning omades ka mitmeid Eesti Teadusfondi grante. Kõigi kolme europrojekti puhul oli ta seotud nendega alates taotluste kirjutamisest, olles ka kõigi administratiivne koordinaator Linköpingi ülikooli juures ning SYDIC-Training projekti üks juhtidest. Gert oli FP7 REGPOT projekti CREDES üldkoordinaator aastatel (2009-2012).

Olles pärast doktoritöö kaitsmist (2005) järeldoktoriks TTÜ arvutitehnika instituudi juures, andis Gert märkimisväärse panuse instituudi arengule. Ta juhtis edukalt EAS-i teadus- ja arendusasutuste infrastruktuuri arendamise programmi projekti „Sardsüsteemid ja komponendid“ (EU21717), on Euroopa võrgustiku „EIE-SURVEYOR: Reference Point for Electrical and Information Engineering in Europe“ juhtkomitee liikmeks. Gert Jervan on IKT doktorikooli vabariikliku juhtkomitee liige ja oli IKTDK esimese aastakonverentsi peaorganisaator.

Gerdi hiljuti kaitsnud doktorant Mairo Leier

Oma Rootsi perioodil kogus Gert Jervan märkimisväärse kogemuspagasi ka õppetöös. Ta läbis seal pedagoogikaalase erikoolituse õppeprogrammide väljatöötamise, organiseerimise ja hindamise alal (Linköpingi Ülikool, 2004), viis läbi õppetööd Linköpingi Ülikoolis tervelt kuues aines nii bakalauruse- kui ka magistriõppes, oli kolme magistritöö juhendajaks ning viis läbi eriseminare nii doktorantidele kui ka inseneridele tööstuses (Ericsson, SAAB). Gert Jervani juhendamisel on kaitstud kolm doktoritööd (**M. Tagel** – 2012, **E. Moorits** ja **M. Leier** – 2016).

Artur Jutman (s. 1976). Akadeemik Boris Tamme nimeline stipendium

Artur Jutman alustas teadustööd TTÜ Arvutitehnika instituudis aastal 1999 ja kaitstes oma doktoritöö R.Ubari juhendamisel aastal 2004. Tema teadusliku uurimistöö produktiivsust viimase kümne aasta jooksul iseloomustab ligi 100 teaduspublikatsiooni, mis katavad laia uurimisprobleemide valdkonda. Niisuguse produktiivsuse üheks oluliseks põhjuseks on eri valdkondades saadud tulemuste kaudu tekkinud sünergia. Arturi artik-

litest tervelt 33 on indekseeritud IEEE andmebaasis (www.ieeexplore.ieee.org), mis on Eesti tehnikateadlaste hulgas silmapaistev näitaja. Tänu mitmekülgsusele ja teaduslikule aktiivsusele on ta asendamatu liige mitmes uurimisgrupis nii arvutitehnika instituudis kui ka üle selle piiride, juhtides samal ajal edukalt ka omaenda uurimisgruppi.

Artur Jutman

Artur Jutman on saavutanud lühikese ajaga rahvusvahelisel teadusareenil märkimisväärse tunnustuse ja tuntuse. Ta kuulub paljude rahvusvaheliste konverentside juhtkomiteedesse ning nõukogudesse. 2008. a. novembris oli Artur Põhjamaade suurima testikonverentsi Nordic Test Forum peakorraldaja (*General Chair*). Artur on osalenud arvukates teadusprojektides, tal on Eesti Teadusfondi grant ning tema juhendada on kaks arvutitehnika instituudi doktoranti.

Artur Jutman on oma teadusuuringute kõrvalproduktina aastate jooksul arendanud mitmesugust tehnoloogiatarkvara. Europrojekti REASON raames osales ta ränitehnoloogia defektide esitamiseks mõeldud eriotstarbelise kiibi DefSim projekteerimises. DefSim on mikrokiip, millesse on „sisse ehitatud" 512 valikuliselt aktiveeritavat defekti eesmärgiga jälgida füüsikaliste defektide käitumist reaalsuses, mitte üksnes abstraktsel moel matemaatiliselt modelleerides. Arturi juhendamisel on loodud õppesüsteemid Trainer 1149 ning BIST Analyzer, mida kasutavad õppe- ja uurimistöös erinevate riikide ülikoolid ja firmad. Artur pole olnud aktiivne üksnes teadusrindel. Artur oli üks TTÜ *spin-off* firma Testonica Lab OÜ asutajatest. Testonica Lab on innovatiivne mikroelektroonika testilahendusi pakkuv väikefirma, üks kaheteistkümnest TTÜ *spin-off* ettevõtte staatust omavast firmast. Artur on Testonica loomisest alates töötanud tema tegevdirektorina. Tänaseks on firmast saanud tuntud tegija terves maailmas. Testonica on teadusmahukas ja avatud ettevõte, osaleb tehnoloogia-arenduskeskuse ELIKO programmis ja on osalenud tervelt kolmes Euroopa Liidu 7. raamprogrammi projektis, olles seejuures käesoleval ajal ühes nendest, projektis BASTION (2014-2016), konsortsiumi üldkoordinaatoriks.
Artur Jutmanile omistati 2009. aastal Boris Tamme nimeline autasu. Ta on saanud ka terve rida parima artikli auhindu konverentsidelt: 2011 – MIXDES Poolas, 2010 – EWDTS Sankt-Peterburis, Venemaal, 2005 – EAEEIE, Lappeenrantas, Soomes, 2003 – Poolas. Aastal 2000 omistati Artur Jutmanile Eesti üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi esimene preemia.

2013, Maksim Jenihhin (s. 1981), Akadeemik Boris Tamme nimeline stipendium

Maksim Jenihhin alustas oma teadustööd digitaalsüsteemide diagnostika valdkonnas TTÜ-s bakalaureuse- ja magistritöö raames prof. R. Ubari juhendamisel, töötas aastal 2003 Rootsis, Linköpingi Ülikooli juures ja kaitstes 2008. a. doktoritöö digitaalsüsteemide verifitseerimise teemal prof. J. Raiki põhijuhendamisel. Maksim töötab inseneri-valdkonnas, kus eesmärgiks on tagada üha keerulisemaks muutuva digitaalse maailma usaldatavust ja töökindlust, mistõttu siin saavutatud teadustulemused on äärmiselt aktuaalsed ja omavad ülisuurt teaduslikku ning rakenduslikku tähtsust. Samas on see väga konkurentsitihe valdkond, kus rahvusvahelist läbilööki saavutada on raske.

Maksim Jenihhin oma pisitütre Alisaga

Maksimi teadustöö produktiivsust iseloomustab tema rohkem kui 80 publikatsiooni, millest enamik on arvatud IEEE digiraamatukokku, kuhu kuulumist loetakse elektriinseneride valdkonna teadlaste põhiliseks kvaliteedinäitajaks.

Maksimi tähtsamad teadustulemused on saavutatud niisugustes valdkondades nagu riist- ja tarkvarast koosnevate süsteemide verifitseerimine ja projekteerimisvigade diagnoos, elektroonikaskeemide testimine, süsteemide isetestimine, testprogrammide sünteesi automatiseerimine, rikete lokaliseerimine ja füüsikaliste defektide modelleerimine.

Saavutatud praktiliste tulemuste aluseks on olnud uued matemaatilised mudelid. Näiteks töötas Maksim Jenihhin välja uut tüüpi kõrgtaseme otsustusdiagrammidel põhineva mudelite klassi, mis täpsemalt ja efektiivsemalt võimaldab arvestada ajafaktorit süsteemide diagnostilisel modelleerimisel. Uute meetodite ja algoritmide efektiivsuse hindamiseks rajas ta verifitseerimiskeskkonna APRICOT, mis on saavutanud rahvusvahelise tunnustuse. Oma doktoritöö kaitses ta 2008. aastal.

Maksim on osalenud mitmetes Raamprogrammi europrojektides nagu VERTIGO, CREDES ja DIAMOND. Suur teene oli Maksimil Raamprogrammi projekti BASTION saamisel, kus jõuti väga kõrges tippülikoolide ja –tööstuse konkurentsis mõne vähese väljavalitu hulka. Maksimi osa selles projektis on seotud uute ideedega täna ootamatult kuumaks muutunud probleemi lahendamisel – nanotehnoloogia vananemise avastamine ja pidurdamine (ja koguni *skeemide noorendamine*, millise mõiste Maksim ise kasutusele võttis). Uute tehnoloogiatega kaasaskäiv kiire vananemine on homsete elektroonikarakenduste üks põhilisemaid probleeme, mille juured on riistvaras, aga lahenduste võtit saab leida ka tarkvaras, milles just eesti inseneriteadusel on suured võimalused panustada.

Rahvusvaheline tunnustus ja osalemine europrojektides on viinud Maksimi tihedasse koostöösse maailma tippfirmadega nagu IBM ja Ericsson. Üheks niisuguseks projektiks, mis on suunatud reaalsete suurte tööstuslike süsteemide arendusele ja kus Maksimi kaasosalusel saavutatud tulemused skaleeruvuse seisukohast ületavad tavavahendite võimekust, oli ZAMIACAD. Sellest projektist oli eriliselt huvitatud IBM, mida iseloomustab Maksim Jenihhini autasustamine senise tehtud töö eest IBM „Faculty Award“ preemiaga, mida loetakse eriliselt väljapaistvaks rahvusvaheliseks tunnustuseks. Maksimi rahvusvahelist renomeed iseloomustab ka välisdoktorandi **Saif Abrar Syed**'i juhendamine[17], kes samuti töötab IBM-s ja kes hiljuti kaitses oma väitekirja TTÜ-s.

Maksim Jenihhin oli Tippkeskuse CEBE „Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika“ teaduslikuks sekretäriks, juhtis keskuse ühte alamprojekti ning on väljatöötanud uut tüüpi mobiilse ajusignaalide analüsaatori, millega on võimalik avastada inimese depressiooni väljaspool laborit. Seade on mõeldud eeskätt arstide jaoks, kuid seda saaksid edukalt kasutada ka politseinikud ja sõjaväelased. Oma ETF granti ja CEBE alamprojekti raames juhendas Maksim kolme doktoranti, kusjuures kaks tema õpilastest on juba ka oma doktoritöö edukalt ära kaitsnud.

Maksim Jenihhin on mitmete tunnustatud rahvusvaheliste konverentside ja ajakirjade programmikomiteedes, teda on juba kahel korral kutsutud esinema konverentsidele

[17] Käesoleval aastal kaitses Saif Abrar Syed oma doktoritöö Tallinna Tehnikaülikoolis.

plenaar-ettekannetega, ta oli rahvusvahelise projekti ZUSYS Eesti-poolne koordinaator, Euroopa Liidu COST projekti juhtkomitee liige, mitmete väliskursuste ja suvekoolide korraldaja. Nii näiteks asutas ta uue rahvusvahelise doktoriõppe suvekooli BELAS „Biannual European – Latin American Summer School on Design, Test and Reliability", olles ühtlasi selle juhtkomitee esimeheks. Pärast tema edukat esimese suvekooli korraldamist Tallinnas 2013. aastal, on seda jätkuvalt korraldatud Maksim Jenihhini üldjuhtimisel vaheldumisi Euroopas ja Lõuna-Ameerikas: Frankfurtis (Saksamaa) – 2014, Fortalezas (Brasiilia) – 2014, Guadalajaras (Mehhiko) 2015, Torinos (Itaalia) – 2016. Väljapaistva tulemuslikkusega on Maksim Jenihhin ilmekalt demonstreerinud oma töö suurt aktuaalsust ja teoreetilist ning rakenduslikku tähtsust nii rahvusvahelises plaanis kui ka Eesti jaoks. Tema oluliseks panuseks on TTÜ juurde loodud kaasaegne digitaalsüsteemide projekteerimise, testimise ja diagnostika labor, milles kasutatav keskkond on aidanud käivitada intensiivset rahvusvahelist koostööd nii ülikooliõppes kui ka teaduslike eksperimentide läbiviimisel paljude maailma ülikoolidega.

Maksim Jenihhinile omistati 2013. aastal **Boris Tamme** nimeline autasu. Tema senist tööd on lisaks IBM preemiale (IBM Faculty Award, 2011) pärjatud veel mitmete teiste kodumaiste auhindadega nagu I preemia Üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil (HTM, 2009), ITL Ustus Aguri, TTÜ Arengufondi, EITSA ja mitmed Tallinna Linnavalitsuse auhinnad. Kõige viimaseks uhkeks Maksimi saavutuseks on europrojekti RESCUE toomine instituuti.

Professorid-seeniorid ja mentorid, kelleta ATI oleks teistsugune

Kirjeldasime noore põlvkonna poolt toime pandud hiljutisi edulugusid instituudis, milliste oluliseks ühisosaks on olnud jätkuv europrojektide toomine instituuti ja mis on loonud sellega meil soodsa pinna ja rahastuse rahvusvahelise doktorantuuri tekkimiseks. Nüüd tuleks nende edulugude kõrval heita pilk ka nendele professoritele ja seenioridele, kellelt noored on teatepulka üle võtmas ja kelle juhtimiseta ning panuseta teadusse ja õppetöösse oleks ATI kindlasti teistsugune, kui ta praegu on.

Andres Keevallik – kahekordne TTÜ rektor

Andres Keevallik

Andres Keevallik on juhtinud kateedrit aastatel 1977-1987 ja pärast seda instituuti 1992-2000. Seejärel valiti ta rektoriks ja järgmised 15 aastat andiski ta oma energia ülikoolile selle kõrgtasandil, olles rektoriks aastatel 2000-2005 ja seejärel 2010-2015. Tudengina lõpetas ta automaatika kateedri juures ja seal kirjutas ta ka oma kandidaadiväitekirja.

Pärast seda, kui Andresest oli aspirantuuri päevil Hartmanise automaatide teooria maaletooja saanud ja seejärel tema tööd automaatide dekompositsiooniteooria valdkonnas kogu selles suletud regioonis, mis ulatus Läänemerest kuni Vaikse ookeanini, tuntust koguma oli hakanud, kasvas Andresest

välja ka edukas teadusorganisaator, kelle korraldatud üleliidulisi konverentse ja suvekoole Eestis paljud tippteadlased üle maailma mäletavad (sest pool vene teaduseliiti oligi ju kohe pärast piiride avanemist Läände valgunud).

Oli seaduspärane, et nii aktiivne organisaator ja edukas teadlane pärast **Ustus Agurit** elektronarvutite kateedri juhatajaks sai ja sellest kateedrist õige pea endises NL-is ühe tuntuima arvutite riistvara teaduskeskuse kujundas.

Üks põhiline kaart, mida Andres kasutas ja mis kateedrile ka edu tõi, oli seista akadeemilise vabaduse eest. Paraku on vabadusega nii, et seda on alati ainult lõplik hulk, nii nagu energiatki maailmaruumis, kui ühele poole lased minna, siis teiselt poolt tuleb võtta. Ja nii jäidki Andresel kolleegidele akadeemilist vabadust võimaldades nii mitmedki talle endale suunatud kutsed N Liidu teaduskeskustest oma *topeltdoktoritööd*[18] kaitsma minna kasutamata, sest administratiivne töö võttis rohkem kui ainult oma osa.

Kuid eks siingi oli näha Andrese kaugelenägemise võimet. Sest „topeltdoktoripaber" ei maksnud varsti enam midagi ja hulk tühja tööd jäi olemata. Täna ei teatagi enam, mis asjad need „topeltdoktoripaberid" on. Pealegi andis sellise dokumendi puudumine talle „võimaluse"[19] pärast 10-aastast kateedrijuhatamist mõneks ajaks teadusse jälle tagasi tulla. Selle tagajärjeks sai see, et Andres asutas Raja tänavale teaduslabori, andis uue hoo oma digitaalsüsteemide teaduskoolkonna arenemisele ja jõudis isegi ajada Eesti asja ehk siis organiseerida ettevõtlust, mis andis võimaluse tuua instituuti Läänest uusimaid arvuteid... Mis edasi sai, teavad kõik – õige pea sai **Andres Keevallikust** mitmekordne Tehnikaülikooli rektor.

Hämmastav on Andrese mitmekülgne andekus. Jõuda „püramiidi tippu" nii spordimehena, aktiivse teadlasena kui ka tippjuhina kõrgharidusmaailmas on ühtaegu imetlusväärne, aga teisalt on ta võtnud oma õlgadele raskeid valikukoormaid. Vähesed teavad tema dekompositsiooniteoreemi, mis oli omal ajal üks tsiteeritumaid tulemusi arvutiteaduses, ja mis õpetas, kuidas hakkama saada keerukusega tehismaailmas. Kahju vaid, et Keevalliku dekompositsiooniteoreem puudub tänaseni „vaba Eesti püramiiditippude" andmebaasis ETIS-es. Selle kompensatsiooniks aga tsiteeritakse Andres Keevallikut mehena, kes on kolmandiku aja oma töömehe elust juhtinud edukalt veelgi keerukamat dekompositsiooniobjekti – ülikoolimaailma.

Niisugust CV-d saavad omada üksnes valitud: TTÜ – 1966-2016; automaatika ja telemehaanika kateedri insener, assistent, vanemõpetaja 1967-1971; automaatika kateedri vanemõpetaja 1974-1975; elektronarvutite kateedri vanemõpetaja 1975, dotsent 1976, juhataja 1976-1987; digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika labori juhataja 1987-1992; arvutitehnika instituudi digitaaltehnika professor 1992-2000; direktor 1992-1995; infotehnoloogia teaduskonna dekaan 1995-1997; Eesti Ühispanga (EÜP) infotehnoloogia valdkonna juhataja, asepresident 1997-1999, samal ajal 0,25 koormusega digitaaltehnika professor; rektor 2000-2005, arendusprorektor 2005-2010, rektor 2010-2015, digitaaltehnika professor 2015-2016, rektor-emeeritus 2016-.

Andres Keevallik on Valgetähe III klassi teenetemärgi kavaler (2003).

---

[18] Kuna nõukogude aegne kandidaadikraad tähendas tänast doktorikraadi, eks siis ka nõukogude aegset doktorikraadi tuleks lugeda täna topeltdoktorikraadiks. Aga ega see halb ei olnud: eks inglasedki ütlevad „double check", kui tahavad milleski kindlad olla.

[19] N Liidu ajal oli doktorikraadita lubatud kateedrit juhatada mitte rohkem kui 10 aastat, mis järel „tuli administratiivne töö vahetada jälle teadustöö vastu".

Andrese teise rektoriperioodi inauguratsioonikõnes (2010) on rõhutatud riigimeheliku kohustusena *„…vastutust Alma Materi ees, mis tähendab vastutust oma rahva ees“*, millele järgnes kinnitus, et *„eks Eesti Vabariigi eakaaslane, meie ainuke tehnikaülikool Eestis, ongi seda vastutust kandnud läbi aastakümnete väärikalt ja ausalt. Meie majandus vajab uut hingamist, struktuurseid muutusi teadmistemahukama tootmise suunas, innovatiivsust ja pealehakkamist. Meilt oodatakse paremaid insenere. Meilt oodatakse, et meie teadus toetaks tugevamalt meie majandusarengut,“* ütles rektor ja seejärel lisas: *„On tekkinud suured disproportsioonid eri teadusvaldkondade rahastamisel, paigast on ära alus- ja rakendusuuringute suhe. Ei saa leppida olukorraga, kus riigi majandusarengu suhtes olulised teadusvaldkonnad on „näljapajukil“. Tahaks loota, et TAN võtab endale ülesande kujundada mõistlikud proportsioonid erinevate teadusvaldkondade vahel. Hiljuti lõppenud nn. teaduse teekaardi konkursil, kus sisuliselt valiti teadusprioriteete pikemaks perioodiks, jäid tehnikateadused kaardilt hoopiski välja. Vaevalt saab seda pidada kaugelenägelikuks teaduspoliitikaks. Huvitav, millele hakkab baseeruma meie tulevane majanduskasv…?“*

See viimane küsimus jääb nüüd vastamiseks rektor **Andres Keevalliku** järglastele.

Kalle Tammemäe IT Kolledži rektorina 2009. a. avaaktusel (Foto: Johan Viirok). Kalle Tammemäe tagasi Tehnikaülikoolis.

Kalle Tammemäe – IT Kolledži rektor

Kalle Tammemäe alustas oma teadlaseteed Andres Keevalliku õpilasena, aga tema õpetajate ring laienes peagi, kui avanesid võimalused pääseda avaramasse rahvusvahelisse keskkonda. Tema mentoriteks ja juhendajateks said ka **Hannu Tenhunen** Rootsist ja **Manfred Glesner** Saksamaalt, kes mõlemad on TTÜ audoktorid. Kalle kaitses oma doktorikraadi aastal 1997 väitekirjaga *Kontrolli-intensiivsete digitaalsüsteemide süntees*. Tee doktoriks saamiseni oli pikk, sest aeg oli niisugune. See tee kulges algul läbi aspirantuuri (1984-1987) ja seejärel ka doktorantuuri (1992-1994). Aktiivse teadusliku tegevuse kõrval jõudis Kalle olla väga aktiivne ka teadus-organisatsioonilises liinis, korraldades rahvusvahelisi seminare, kuuludes ajakirja A&A toimetuskolleegiumisse ja võttes südameasjaks infotehnoloogia ja süsteemiinseneeria valdkondade eestikeelse populariseerimise. Koos Andres Keevallikuga õnnestus neil tuua 1998. aastal Tallinna maailma tähtsaim konverents „FPL – Programmable Logic and Applications“[20] kiiresti arenevas väliprogrammeeritava loogika FPGA[21] tehnoloogia valdkonnas. Olgu märgitud, et selle tehnoloogia tõi

[20] Programmeeritav loogika ja selle rakendused.
[21] FPGA – *Field Programmable Gate Arrays.*

Eestisse meie esimene europrojekt TEMPUS JEP 4772 „PLD Lab“ (1993-1995).Kalle uurimisteemadeks on olnud töökindlate sardsüsteemide disain, süsteemitehnoloogia, paralleelarhitektuurid, riist- ja tarkvara koosdisain, kontrollintensiivsete (kiip)süsteemide disain ning kõrgtaseme süntees. Eks Kallegi paistis välja mitte üksnes oma teaduslike võimete vaid ka organisaatori omaduste poolest, mis viiski ta õige pea pärast oma doktoritöö kaitsmist 2000. aastal kesklinna Rävala puiesteele Eesti Vabariigi (esindaja Haridus- ja Teadusministeerium), Tartu Ülikooli, Tallinna Tehnikaülikooli, Eesti Telekomi ja Eesti Infotehnoloogia ja Telekommunikatsiooni Liit (ITL) ühistöös asutatud Eesti Infotehnoloogia Kolledži rektoriks. 2007. aastal kolis Eesti Infotehnoloogia kolledži koos oma haldaja Eesti Infotehnoloogia Sihtasutusega (EITSA) Mustamäe servale, Tallinna tehnoloogiapargi Tehnopol ja TTÜ linnakusse just selleks otstarbeks ehitatud majja.

Täna on kolledž administratiivselt ühinemas TTÜ-ga, aga tihe koostöö on ATI ja kolledži vahel käinud kohe selle asutamisest peale. Eks pidevalt on seal loenguid pidanud ATI õppejõud (**P. Ellervee**, **T. Evartson** jt.), aga samuti oleme me vennalikult jaganud ka oma eritarkvaralitsentse arvutiõpetuse kaasajastamiseks. Nii näiteks viis Teet Evartson aastaid arvuti riistvara laboreid läbi kolledžis, kasutades DIXIcad tarkvara, mis oli eelnevalt juurutatud ATI-s õppetöösse TTÜ-s.

Kolledži rektorina laienes Kalle Tammemäe ühiskondlik tegevus veelgi: ta kuulus EITSA[22] juhatusse (2000-2010), EITS[23] volikokku (2004-2008), oli Rakenduskõrgkoolide Rektorite Nõukogu esimees (2005-2006) ja arendas aktiivselt IEEE Eesti sektsiooni tegevust, olles selle aseesimees (2009-2012) ja esimees (2013-1016). Pärast enam kui kümmet aastat IT Kolledžis vahetas Kalle kolledži rektori ameti TTÜ õppeprorektori ametikoha vastu, tulles oma kunagisele mentorile Andres Keevallikule appi Tehnikaülikooli juhtima (2011-2013). Side oma koduülikooliga ja ATI-ga ei kadunud tal aga kolledži rektorina kunagi, lugedes ATI juures loenguid ja töötades siin erakorralise professorina.

Kalle Tammemäe rektori töö tulemusena on IT kolledžist saanud kvaliteetse IT-hariduse mõõdupuu, mis on sundinud ka kõiki teisi kõrgkoole oma IT-bakalaureuseõppe tasemega tublisti vaeva nägema. Kalle ise, vaadates tagasi oma rektoriametile, on öelnud: *„Meie eesmärk oli juba kümne aasta eest saada pinnuks teistele kõrgkoolidele ja see pind on tänagi terav ja püsti“.* 26. sept. 2010 toimunud Kõrgharidusfoorumil rõhutas Kalle: *„Kõrghariduse konkurentsivõimet tuleks hinnata kui olulist faktorit riigi püsimajäämiseks“.* Öeldule lisas ta: *„Eestlaste eeliseks on arusaam, et väikestena peame olema valmis muutusteks ja adapteeruma, seetõttu on sageli nii, et Eestis kõrghariduse saanud noor lööb maailmas paremini läbi kui mujal hariduse saanud inimene, kes on tulnud tööle Eestisse.“* Mõtlema peaks jääma ka nende Kalle Tammemäe sõnade peale: *„Akadeemiliste ülikoolide üheks võimalikuks nõrkuseks on liiga suur keskendumine iseenese taastootmisele. Kui kõrgkool hakkab primaarsena looma süsteemi, et leida endale tublisid õppejõude ja teadlasi ning panustada teadussaavutustele, siis jääb ülikool õppeasutusena ajale paratamatult jalgu ja ei suuda sageli ka oma püstitatud põhieesmärki täita.“*

Kalle Tammemäe ettepanek on: *„Eestis võiks luua stažeerimissüsteemi, mis võimaldaks ülikoolide õppejõududel eluga kaasas olla ehk käia firmades uusi kogemusi omandamas.“*

Kalle Tammemäe on Valgetähe IV klassi teenetemärgi kavaler (2008).

[22] EITSA – Eesti Infotehnoloogia Sihtasutus.
[23] EITS – Eesti Infotehnoloogia Selts.

Peeter Ellervee vestlushoos elektroonika kateedri juhataja Toomas Rangiga. Peeter Ellervee välja trükitud uue õppekavaga.

Peeter Ellervee – ATI õppetöö guru

Peeter Ellervee oli samuti **Andres Keevalliku** õpilane. Oma doktoritöö *High-Level Synthesis of Control and Memory Intensive Applications* kaitses ta aga 2000. a. Rootsis Stockholmi Kuningliku Tehnikaülikooli juures **Ahmed Hemani** juhendamisel. Peetri enda juhendamisel on saanud doktoriteks kolm tema õpilast **Sergei Devadze** (2009), **Uljana Reinsalu** (2013) ja **Maksim Gorev** (2016). Nagu ATI-s kombeks, tehakse meil teadustööd kollektiivselt, otsides intersistsiplinaarsusest sünergiat, nii oli nende väitekirjade kaante vahele jõudmisel suur panus ka Peetri kolleegidel **Jaan Raikil**, **Aleksander Sudnitsõnil** ja **Raimund Ubaril**. Magistritöid on Peetri juures kaitsnud tervelt 30 magistranti, mille juures on oluline see, et väga paljud tema magistritest on jäänud hiljem instituuti tööle kas lühemaks või pikemaks ajaks, nagu **Priit Ruberg**, **Valentin Tihhomirov**, Maksim Gorev, **Vadim Pesonen**, **Mihkel Tagel**, **Anton Arhipov**, Uljana Reinsalu jt. Seetõttu võib Peetrile vaadata kui väga tugeva selektsioonivõimega digitaalsele filtrile ATI teadlaskaadri valikul.

Peetri rahvusvaheline pagas on väga suur. Lisaks seitsmele doktorandina veedetud aastale Rootsis Stockholmi Kuninglikus Tehnoloogiainstituudis, on ta töötanud külalisteadurina neli kuud nii USAs Georgia Tehnoloogiainstituudis (Atlantas, USA), kui IMEC-is (Leuven, Belgia). Oma erialast kompetentsust on ta aga kasvatanud paljudel täiendõppekursustel Belgias, Prantsusmaal, Rootsis, Soomes ja mujal. Konverentside korraldus- või programmikomiteed, kuhu ta aktiivse teadlasena kuulub, on väga mainekad: DATE, NORCAS, ReCoSoC, FPL, DDECS, FPGAworld, ESSCIRC, BEC, NORCHIP, SoC, SIES, EWME jt. Mitmeid neid konverentse on ta esimehena või kaasesimehena juhtinud. Ajakirju, mille toimetuskolleegiumitesse ta kuulub või panustab retsensendina on kümmekond.

Kogu selle aktiivsuse juures juhtub muidugi sageli, et labori igapäevases töös jäävad tihtipeale talle saadetud sisemeilid vastamata. Sellest pole muidugi lugu, sest tema kabineti uks on pidevalt lahti ka laupäevadel ja pühapäevadel ning 10-20 meetrise jalavaeva juures on ka silm-sidega vastused temalt alati saadavad. Ja kõik need vastused, mis puutuvad õppetööga seotud probleemidesse, on väga väärtuslikud.

Peeter Ellervee: digitaalsüsteemide disaini professuuri vajalikkusest

Digitaalsüsteemide disaini professoriks saamisel (2004) seadis Peeter paberile väärtusliku materjali põhjendamaks selle professuuri vajalikkust Eesti ainsas tehnikaülikoolis, millest on ka järgnev väljavõte.

> „Viimaste aastate arengud mikroelektroonika tehnoloogiates, eelkõige alla-mikronilised tehnoloogiad, annavad võimaluse luua üha suuremaid ja suuremaid süsteeme ühel kristallil/kiibil. Kõik see toimub

ikka veel kehtiva Gordon Moore seaduse järgi – iga poolteise aastaga mirkoskeemide omadused muutuvad kaks korda paremateks. Ühtlasi võiks välja tuua mõned iseloomulikud tendentsid, mis on kõik üksteisega rohkem või vähem seotud:

On tekkinud võimalused luua terviklikke süsteeme ühel kristallil, nn. kiipsüsteeme, kaasates nii digitaal- kui ka analoogosad. Vajadused eksisteerisid juba varem, sest vältides kiipide vahelisi ühendusi on võimalik saavutada olulist paranemist nii jõudluse kui ka energiasäästlikkuse alal.

- Üha enam mikroskeemides toimuvast infotöötlusest sooritatakse digitaalselt. Ka selleks on mitmeid põhjusi, millede hulgast ehk digitaaltöötluse paindlikkus ja täpsus võiks olulisematena välja tuua. Ei tohiks ignoreerida ka raskusi analoog- ja digitaalosade realiseerimisel ühel ja samal kristallil.
- Digitaaltöötluse paindlikkuse tagab (korduv)konfigureeritavus, mida annab realiseerida väga erinevatel tasemetel. Konfigureeritavus asemel võiks sama hästi kasutada ka terminit programmeeritavus, küsimus taanduks pigem sellel, mida lugeda programmiks. Kaheks enim tuntud konfigureeritavusena võiks ühest küljest esile tuua skeemi realiseerimise FPGAs (või selle analoogides) ja teisest küljest algoritmi realiseerimise masinkäskude jadana (assemblerkoodina).
- Algoritmide ja moodulite korduvkasutamine pole ei tark- ega riistvara projekteerimises ise-enesest midagi uut. Oluline on aga see, et selliste moodulite suurus aina kasvab. Samuti on üha levinum erinevate valmismoodulite sisse ostmine makrodena (IP macro). Eelkõige puudutab see just protsessoreid ja mälusid. Teine valmismoodulite kasutamisega seotud suund on see, et vajalike moodulite projekteerimine tellitakse allhankena. Eelkõige sobivad selleks just väiksemad firmad. Ka Eesti elektroonika-alastel projekteerimisfirmadel on vastavaid kogemusi (nt. Artec Design Group).
- Projekteerimise automatiseerimine tekkis eelkõige selleks, et saada hakkama nn. projekteerijate tootlikkuse puudujäägiga – tehnoloogiate võimalused kasvavad kiiremini kui inseneride suutlikkus. Viimase paarikümne aasta jooksul on toimunud mitmeid kvalitatiivseid hüppeid, mis on aidanud tootlikkuse puudujääki vähendada. Tuntuimaks võiks ehk nimetada loogikataseme sünteesi automatiseerimist.

Digitaalsete kiipsüsteemide projekteerimise automatiseerimine, seda eelkõige just süsteemi- ja algoritmitasemel, on just täna üks olulisemaid uurimissuundi. Soodustamaks uurimistöid antud suundadel ning süstematiseerimaks üliõpilastele ja loomulikult ka kraadiõppuritele edastavaid teadmisi, on mitmed ülikoolid täiendanud nii oma õppekavasid kui ka struktuure. Õppekavade täiendamiste kõige nähtavam osa on spetsiaalsete kiipsüsteemialaste magistriõppe programmide loomised. Lähimatest naabritest tuleks kindlasti esile tuua Tampere Tehnikaülikooli (Soome) ja Kuningliku Tehnikaülikooli (KTH, Stockholm, Rootsi) vastavad programmid.

Enamuse kiipsüsteemide ehk siis keeruliste digitaalsüsteemide loomiseks vajalikest teadmistest saaks kätte olemasolevatest õppeainetest. Seda loomulikult eeldusel, et neid aineid on jooksvalt kaasajastatud. On aga probleemistikke (vt. ülaltoodud tendentsid), mille katmiseks on vajalikud nii uued ained kui ka olulisemad muutused olemasolevates ainetes. Sünkroniseerimaks vajalikke muudatusi, kaasnevad õppeprogrammile tihtipeale ka struktuursed muudatused. Seda eelkõige just täiendava professuuri näol, mille peamisteks eesmärkideks ongi kiipsüsteemide alane uurimistöö ja õppeainete kaasajastamine. Näiteks KTH-s tegeleb vastava temaatikaga elektroonika süsteemide disaini (Electronic System Design) professuur (prof. **Axel Jantsch**). Tallinna Tehnikaülikoolis on astutud esimesed sammud – õppeprogrammid on kaasajastatud ja käivitusid 2002. aastal. Kuigi enamus kiipsüsteemide temaatikaga seotud õppeainetest toimuvad veel vana õppekava järgi, sest tegemist on vanemate kursustega, on neid loomulikult pidevalt kaasajastatud. Siiski on 2003. aasta sügisest ainete loetelus „Kiipsüsteemi disain“ (IAY0130, dots. **P. Ellervee**), milles osalesid nii diplomiõppe 4. kuruse tudengid kui ka magistrandid.“

Peeter Ellervee: õppekavade haldamise filosoofiast

Peetri professoriks saamisest on nüüd möödunud 10 aastat. Kõigi nende aastate jooksul on Peeter kogu südamega pühendunud mitte ainult sellele, kuidas omaenda õppeaineid paremini tudengiteni viia, vaid ka üldisematele küsimustele, mis puudutavad õppekavade

loomist ja eeskätt muidugi infotehnoloogia teaduskonda silmas pidades. Seetõttu pole üldsegi vaja imeks panna seda, et tänaseks on Peetrist saanud infotehnoloogia teaduskonna õppekavade juht. Sellelt positsioonilt on Peeter kirjutanud järgmise filosoofilise essee õppekavade haldamise teemal:

„Õppekavad haldamine, muutmine ja uute loomine on Eestis tänapäeval ülikoolide enda tegemisel ja vastutusel. See eeldab nii pidevat tagaside kogumist kui ka tööstuses ja ühiskonnas toimuva jälgimist. Loomulikult toimub aegajalt ka õppekavade rahvusvaheline hindamine. Seda tehakse aga mitme-aastaste vahedega ja on pigem hinnanguks, kui hästi ülikool on suutnud õppekava hoida mitte ainult kaasaegsena, vaid ka vajalikuna tööstusele ja atrkatiivsena tudengitele.

Kuidas siis toimub tänapäeval ühe õppekava arendamise protsess? Vajadus täiendusteks tuleneb juba arvustehnika ja mikroelektroonika pidevast ja kiirest arengust. Ühelt poolt tunnetavad nii õppejõud, et nii mõnigi kord ei piisa ainult muudatustest ühe õppeaine sees, vaid vaja oleks muuta ka teisi kursusi. Üksiku kursuse täiendamisel on õppejõul suhteliselt vabad käed, kuid ta peab arvestama, et vastaval kursusel õpetatu vastaks endiselt õppekava vajadustele. Bürokraatlikus stiilis tähendaks see seda, et õpetatu vastaks kursuse õpiväljunditele. Kursuste õpiväljundite muutmisel ehk sisu suuremal modifitseerimisel peab arvestama, et muutused jääksid nii õpimooduli kui ka õppekava väljundite raamidesse. Sarnaste väiksemate muudatuste allikaks võib olla ka tagasiside tudengitelt ja tööandjatelt, st. kohalikelt ettevõtetelt. Mõlemaid korraldatakse regulaarselt erinevate küsitluste abil, millgega kaasneb ka tulemuste analüüs ja võrdlus teiste IT-õppekavadega. Kõik see aitab kaasa, et kursusel õpetatav oleks kaasaegne ja rakendatav õpingutele järgnevas tööelus.

Ühel hetkel on aga vajalike muudatuste kogus selline, et õppekava vajab suuremat korrastamist. Tihtipeale lausa selliselt, et terve õppekava struktuur korraldatakse ümber. See toob kaasa ühelt poolt uute õppeainete loomise, teisalt aga osade kadumise. On selge, et sellise suurema muutmise käigus peab arvestama seoseid erinevate kursuste vahel. Ka uue õppekava loomisel, millele sisuliselt vastab ka olemasoleva kava suurem muutmine, on seostega arvestamine äärmiselt oluline. Paremaks analüüsiks on IT teaduskonna õppekavadel juba paar aastat olnud õppekava nõukogud, kuhu kuuluvad nii õppejõud, tudengid kui ka tööandjate esindajad. Need nõukogud annavadki esmase tagasiside, et kui hästi muudetav või uus kava vastab eesmärkidele. Lisaks on kaasaegsetel õppekavadel oluline, et õpetataks teadmisi ka teistest valdkondadest. Ühelt poolt reguleerib seda ülikooli õppekava statuut, mis kehtestab, kui suures mahus ja kui põhjalikult tuleks õpetada esmapilgul ebaolulisi teemasi, nt. loodushoid, seadusandlus, eetika. Samas on need teemad äärmiselt olulised spetsialisti ja inseneri koolitamisel, et tagada avar silmaring ja lai maailmavaade. Teisest küljest toimub õppekavade vahel koostöö ja sama õppekursus võib olla osaks mitmes õppekavas – ühes kohustuslikuna ja teises valikainena. Sellised ühised kursused ei eksisteeri mitte ainult ühe teaduskonna erivates õppekavades, vaid ka erinevate teaduskondade õppekavades. Heaks näiteks on arvutisüsteemide õppekava programmeerimise kursused, mida õpetatakse ka mehhaanika teaduskonnas. Seoses TTÜ ja õppekavade reformimisega on selliste interdistsiplinaarsete kursuste osatähtus kasvamas. Selle tulemusena on uutes energeetika ja mehhatroonika õppekavadesse ette nähtud paar arvutisüsteemide õppekava kursust ja ka vastupidi.

Samuti iseloomustab uuenevaid õppekavu kaasaegsete õpimeetodite laialdasem kasutamine. Elektrooniliste ja veebipõhiste materjalide ja abivahendite kasutamine on IT alal juba tavaline, kuid suurenemas on just õppemetoodikate muutimine. Neist esimesena võiks välja tuua praktiliste tööde suurem osakaal eesmärgiga tutvustada tudengitele kõigepealt probleemi ja siis selle teoreetilist lahendust - „õppimine tegutsedes“ (*learning by doing*) on üheks võimaluseks. Teine trend on iseseisva töö osakaalu kasv, sest kaasaegne õppematerjal on kergemini kättesaadav. Sellise muutuse heaks näiteks on „pööratud klassiruum“ (*flipped class room*), kus erinevalt traditsioonilisest „loeng pluss praktikum“ lähenemisest, tutvuvad tudengid kõigepealt materjaliga iseseisvalt ning siis toimub selle praktikas järele proovimine koos aruteludega. Kõik need uuendused peaksid kaasa aitama sellele, et tudengil püsiks huvi õppida huvitavaid, kuid siiski keerukaid IT valdkondi, ilma et nad hakkaksid tööle osalise haridusega. See on endiselt probleemiks, sest vajadus tööjõu järele IT-sektoris on endiselt väga suur. Samas on tööandjad hakanud tähtsustama süstemaatilist haridust ja kõigiti nõus osalema nii õppekavade uuendamise protsessis ja ka õppetöös just eelkõige praktilistel teemadel.“

Ahto Kalja – Eesti X-tee pioneer

Ahto Kalja

Ahto Kalja põhitöökohaks on olnud Küberneetika Instituut, aga poole oma energiast, alates 1997. a. on ta andnud ka arvutitehnika instituudile, olles professorina süsteemitarkvara õppetooli juhatajaks. Ahto Kalja õpetajaks ja kraadiväitekirja juhendajaks on olnud akadeemik **Enn Tõugu**.

Ahto on doktorikraadideni viinud 4 õpilast, kelle hulgast **Tarmo Robali** roll ATI igapäeva elus on asendamatu. Tarmo kaitses oma doktoritöö 2012. a. teemal *Veebikasutajate käitumise analüüs ja soovitused adaptiivse veebi loomiseks*. Juba sellest teemast on näha, et täiesti loomulikul moel on Tarmo Robalist kujunenud meie instituudis autoriteet kõiges, mis puutub veebimajandusse. Instituudi kodulehe haldamine on Tarmo tegu.

Ahto Kalja enda panus ületab aga suurelt mitte ainult ATI vaid ka Küberneetika Instituudi piirid ja ulatub läbi X-Tee üle terve Eesti Soomesse välja ja kaugemalegi, kui hakata lappama Ahto Kalja publikatsioone või jälgida geograafiat, mida katab tema teadusorganisatsiooniline tegevus ja rahvusvaheline tunnustus. Ahto Kalja on Läti Ülikooli audoktor (2014), ta on olnud 10 aastat Eesti-Soome Informaatikakomitee teadussekretär (1988-1998), juba alates 1989 on ta olnud paljude rahvusvaheliste teaduskonverentside korraldaja (EJC, BalticDB&IS, PICMET, ADBIS jt.), rääkimata varasemast aktiivsusest NL ajal, kus näiteks 1987. a. teda autasustati NSVL Riikliku Preemiaga teaduse ja tehnika alal.

2014. a. autasustati Ahto Kaljat Valgetähe IV klassi ordeniga e-riigi arendamise eest, kus Ahto panuseks on X-tee ehk Eesti riigi andmebaase ühendava andmevahetuskihi (riigi infosüsteemide peamagistraali) loomine. X-tee praktiliseks tähenduseks on võimaluse loomine kõigile riiklikele infosüsteemidele kasutada ühtset andmevahetuskeskkonda, kasutajaliideste kogumit ning autentimissüsteemi.

Postimehest[24]: „Helsingin Sanomat kirjutas paar nädalat tagasi: «Mõnikord tuleb eneseuhkus alla suruda ja tunnistada, et naaber on sinust parem.» Soome suurim päevaleht viitas Eestis kasutusel olevale riigi andmevahetuskihile X-tee. Sel teisipäeval kirjutasidki kahe riigi peaministrid alla lepingule, millega Eesti andis Soomele kasutada X-tee lahenduse. X-tee arendamise juures on aastate jooksul olnud sadu inimesi, kümneid asutusi ja erafirmasid. Kõiki ei jõua üles lugeda, kui aga püüda otsida ühte inimest, seda ühte nägu, keda X-teega siduda, siis viitavad asjaosalised ühele nimele – Ahto Kalja. Avalikkusele vähe tuntud Kalja ütleb enda kohta, et eelkõige on ta Tallinna Tehnikaülikooli professor, aga selle töö kõrvalt on ta tõepoolest juba 2001. aastast juhtinud X-tee arendamist. Aja jooksul on tal olnud mitmeid ametinimetusi ja mitmesuguseid töökohti, või nagu ta ise naljatades lisab, «miljon töölepingut» – asi ju selles, et teede- ja sideministeeriumist ametliku stardi saanud X-tee on oma ajaloo jooksul olnud eri asutuste alluvuses, aga Kalja on kogu aeg asja juures olnud.

Ta ise ütleb siiski: «Aga ärge mingil juhul kirjutage, et see on minu projekt, X-tee on kogu aeg olnud ikkagi kollektiivne töö.» Nii see muidugi ka on ja võib-olla olekski kõige targem kiiresti nimetada mõned X-tee arengu verstapostid.

Kõigepealt visioon. See oli 1999. aasta, kui **Tanel Tammet**, **Ain Järv** ja **Vello Kadarpik** (varsti lisandus neile ka **Hannu Krosing**) käisid välja idee. Tammet meenutab, et tollal hakkasid järsku väga paljud tegelema e-teenuste arendamisega, olid tekkinud andmebaasid ja mitu riigiasutust tormas õhinal asja

[24] Mikk Salu „Naabrist parem“, 14. dets. 2013.

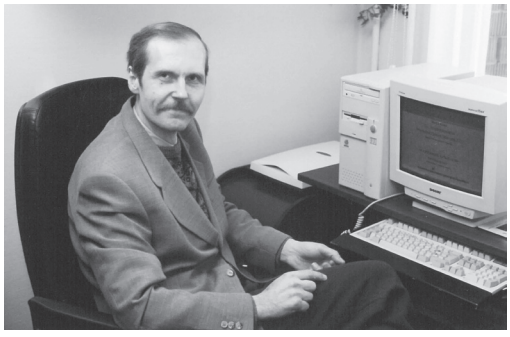
kallale. Kõik aga pusisid omas majas, lõid oma süsteeme, kuid info ei liikunud ja süsteemid omavahel ei klappinud. Siit ka mõte luu andmevahetuskiht, mis ühendaks kõik erinevate riigiasutuste tärkavad e-teenused ja andmebaasid. Kalja nägi samal ajal probleemi teisest vaatenurgast. Nimelt jagas tollal Eesti riigis IT-arenguteks raha rahandusministeeriumi alluvuses töötanud IT-spetsialistide komisjon, mille liige Kalja oli. Tekkinud IT-buumi ajal tuli projektitaotlusi igast nurgast, riigiametid tahtsid arendada ja luua. «Piltlikult öeldes tuli kakskümmend projekti ja igaüks tahtis kakskümmend miljonit, aga raha meil lihtsalt ei olnud,» räägib Kalja. Nii kohtusidki visioon ja vajadus ning asi läks konkreetseks.

Kaljale tehti ettepanek X-tee projekti vedama hakata.

Päris alguses ei olnud see X-tee ja kui **Uuno Vallner** majandusministeeriumist nime välja käis, siis tegelikult oli sellele ka tugev vastuseis. Meenutatakse ühte tippametnikku, kes ei tahtnud rahaeraldustele isegi oma allkirja anda, sest X-tee nimi talle ei meeldinud. Nimi aga jäi ja mingis mõttes viitab nimi ka asja sisule. Lihtsustatud kujul võibki riigi infosüsteemide ühendamist kujutada turvalise ristteena, mille ääres seisavad majad (andmekogud) ja üle tee saavad kõik ühiste reeglite najal infot vahetada. Kalja võrdleb seda postikandega. On vaja viia kirju ja pakke ühest kohast teise, tee peal ei tohi eksida, pakke ei tohi avada, miski ei tohi kaotsi minna, kirjade sisse piiluda ei saa. Kui postifirma tegeleb füüsiliste pakkidega, siis X-tee aitab andmepakke vahetada. «Päevas vahetame miljon pakki ja 12 aasta jooksul pole ükski pakk kaduma läinud,» ütleb Kalja lõpetuseks.

See ei tähenda, et X-tee valmis oleks. **Tanel Tammet** viitabki, et X-teed tuleks uuendada, mitte vana kõrvale visata, aga tuleks lisada üks lihtsam andmevahetuskiht. Tammet ütleb, et X-tee sobib riigile, aga erafirmad ei kiirusta ühinema, sest see ei tasu neile lihtsalt ära. Kalja nõustub uuendamisvajadustega. «Arengustrateegias on see juba sees,» ütleb ta. See aga jääb ju teiste teha, sest järgmine aasta jääb Kalja jaoks X-tee juures viimaseks".

Margus Kruus – ATI direktor



Margus Kruusi kabineti uks on alati lahti

Margus Kruus on samuti **Andres Keevalliku** õpilane, nii nagu eelpool mainitud **Kalle Tammemäe** ja **Peeter Ellervee**, kes kõik lõpetasid oma TTÜ õpingud nelja aastases vahemikus 1980-1984, neist Margus kõige varem. Oma väitekirja *Hästikontrollitavate juhtseadmete süstees* (juh. A. Keevallik) kaitses ta 1987. aastal Küberneetika Instituudis.

Varasemad tudengiaastad (1975-1980) veetis Margus LI õpperühmas, mida juhendas **Raimund Ubar**. Rühmajuhendaja mäletab Margust väga andekana, tema korralikkust ja piinlikku täpsust kursuseprojekti kaitsmisel ning põhjalikkust eksamil vastamisel. Andres Keevallik võis olla väga õnnelik, et ta niisuguse õpilase sai, keda oli kindlasti mitte väga raske teaduskraadini „viia". Need samad jooned – täpsus, korrektsus, äärmine nõudlikkus enese vastu (samas pisut vähem oma kolleegide suhtes) on temas säilinud ja on veelgi tugevnenud tema instituudi juhtimise perioodil.

Ametlikult sai Margus Kruus arvutitehnika instituudi direktoriks 1996. aastal, seoses Andres Keevalliku vahepealse siirdumisega TTÜ-st Eesti Ühispanga (EÜP) infotehnoloogia valdkonna juhatajaks ja hiljem asepresidendiks (1997-1999), jäädes küll samal ajal ka 0,25 koormusega digitaaltehnika professoriks ATI-s. Tõsi, juba paljudel eelnevatel aastatel oli ta olnud kateedri ja instituudi juhataja Andres Keevalliku paremaks käeks, nii et teatepulga edasiandmine kahe juhi vahel toimus sujuvalt.

Selle 20 aasta jooksul (nii kaua ei ole kateedrit juhatanud ükski tema eelkäija – **Ustus Agur**, **Andres Keevallik**, või **Raimund Ubar**), on Margus Kruusist kujunenud väljapaistev ja alluvate poolt armastatud juht. Tema mälu ja sõnapidamise oskus võiks olla paljudele eeskujuks. Vahel tasuks tal küll oma töid ja tegemisi rohkem kolleegidele delegeerida, siis tuleksid hallid juuksed talle aeglasemalt. Lisaks instituudi direktori koormusele on Margus suutnud edukalt juba aastast 1997 täita infotehnoloogia teaduskonna õppeprodekaani kohuseid, samuti juhib ta juba kuuendat aastat ülikooli nõukogu õppekomisjoni tööd.

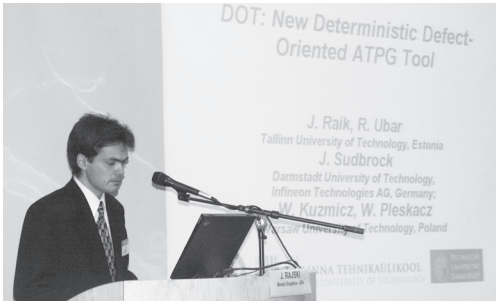
Direktori amet on loomulikult nõudnud Marguselt suurt ohvrit teadustöö arvelt, ent ikkagi on ta ka siin suutnud oma panuse anda, juhendades nii magistrante kui doktorante ja diskuteerides sageli kolleegidega diskreetse matemaatika, arvutiaritmeetika või digitaalsüsteemide projekteerimise teemadel. Marguse doktorantideks on olnud **Erika Matsak** ja **Madis Listak**, kes ka edukalt kaitsesid oma väitekirjad. Tema magistritööde juhendamise osaliseks on saanud meie õppejõudude raudvara: **Harri Lensen** (1995), **Toomas Kont** (2002), kes on kahjuks meie hulgast tänaseks lahkunud, **Ksenja Grigorjeva** (2002) ja **Arvo Toomsalu** (2002).

Siinkohal tahaks meenutada Margus Kruusi tütart **Helenat**, kes oli suurepärane ja tudengite poolt hinnatud õppejõud, väga andekas teadlane, kes jõudis oma lühikeseks jäänud uurija karjääri jooksul publitseerida rohkem kui 20 artiklit ja kes oli asendamatu meie instituudi igapäevase elu korraldamisel, ürituste läbiviimisel, konverentside organiseerimisel… Helena Kruus lahkus meie hulgast õnnetuse läbi 16. augustil 2014. aastal.

Arvutitehnika instituudi pere *anno* 2016

Kuidas sünteesida hägusast läbipaistvust?

Arvutitehnika instituudi ajalugu koosneb hetkedest – pikematest ja lühematest, raskematest ja kergematest. Mõnel hetkel on meid vähem, mõnel rohkem. Kui praegusel hetkel – *anno* 2016, november – pildistada meid kõiki koos, siis saaks meid pildile 45. Aga ühele ja samale pildile on meid saada raske, sest oleme vabad ja akadeemilised inimesed.



ATI professor Jaan Raik räägib süsteemide usaldusväärsusest

Meie vabadus on digitaalne – kodeeritud bittidega, nagu arvutite instituudile kohane: bitid tööks, bitid uneks ja bitid muuks. Kodeerimine toimub meil siiski eri viisidel, mõnedele määratakse koodid, mõnedel on valikuvabadus. Vabadus tekitab aga hägusust.

Bitid tööks jaotuvad meil omakorda eri skaaladele – õppetöö ja teadustöö. Nüüd selgub ka, milles on bürokraatia ja loovuse erinevus. Esimene nõuab läbipaistvust, teist iseloomustab hägusus. Meie instituut on osanud kokku panna hägusatest „komponentidest" läbipaistva ja hästitöötava süsteemi. Kuidas on selline ime juhtunud?

Oma teadustöös tegeleme töökindlate süsteemide loomisega elementidest, mis ei ole töökindlad. Töökindlus tähendab läbipaistvust, ebatöökindlus aga hägusust. Seega oma teadustöös olemegi õppinud seda, kuidas sünteesida hägusast läbipaistvust, ehk siis teame oma alateadvuses ka seda, kuidas organiseerida loovatest isiksustest hästitöötav kooslus.

Me viljeleme kahte teadusvaldkonda: üks neist selgitab, kuidas tükeldada keerukat ja hägusat süsteemi (milleks võib-olla ka üks inimkooslus) hägusateks tükkideks, teine aga seda, kuidas hägusatest tükkidest panna kokku läbipaistev süsteem (näiteks hästitoimiv ja edukas instituut). Tegelikult peaksid ka kõik riigijuhid tegema läbi meie instituudis arvutiarhitektuuride eksami, sest üks arvuti ei ole muud kui väike läbipaistev riik.

Need kaks teadusvaldkonda meie instituudis on andnud meile fantastilise võimaluse sünergiaks, sest meie teadus tähendab kahte poolt, mis kokku pannes annab terviku. Kui midagi ehitatakse, siis on loomulik, et tuleb ka järele kontrollida, kas on ehitatud õigesti. Meie „tegemise teadus" on süsteemide projekteerimine ja meie „järele kontrollimise teadus„ on süsteemide diagnostika. Ei saa arst diagnoosida patsienti, kui ta ei tunne inimese füsioloogiat. Seetõttu ka arvutite diagnostika teadlased peavad tundma arvutite ehitamise tehnoloogiat. Nii meie sünergia toimibki – kahe poole kokku panemises, üksteiselt õppides ja üksteist täiendades.

Aga meil on veel kaks palju üldisemat tegevusvaldkonda instituudis – õpetamine ja teadustöö. Õpetamisel tuleb seda, mida õpetad, vaadata kõikehaaravalt, teadus aga nõuab fokusseerimist. Ülikooli õppejõult nõutakse mõlemat oskust. Aga kahte jumalat teenida ei saa. Kumb on siis tähtsam ülikoolis, kas teadus- või õppetöö? Prantslased ei küsi seda, nad ütlevad: „*Laisser faire, laisser passer*".[25]

Seda peatükki kirjutades jõudsin ma siiski ootamatult vastusele ja seda meie enda teaduse – automaatide teooria – filosoofiast lähtudes. Nii riiki kui ka arvutit võib modelleerida *lõpliku automaadi* mudeliga. Ja selles teoorias ei saa ei üle ega ümber automaadi algolekust. Konkreetsemalt: et midagi tegema hakata, peab midagi olemas olema – et õpetama hakata, peab midagi teadma, aga teadmine tähendab teadust. Sellepärast heidamegi kõigepealt pilgu meie instituudi teadusköögi ja alles seejärel õppetööle.

Teaduse tegemisest meie peres

Nagu öeldud, oleme oma teadustöös kõik üsna kokku sulanud – meie ühisosa kirjeldab sõna *dependability* – süsteemide usaldatavus. Üheltpoolt, tuleb projekteerida süsteeme nii, et nad oleksid usaldatavad, teiselt poolt tuleb osata kindlaks teha, kas süsteemid ikka on usaldatavad. See ühisosa on meil nii tugeva mõjuga, et me ei saagi tegelikult oma inimesi instituudis jaotada kahte „lehte" – disaini pooleks ja diagnostika pooleks.

Siinkohal ma loobungi meie tegevuste täpsemast klassifitseerimisest, vaid püüan teha ühe läbilõike, püüdes haarata vähemalt osagi sellest, millega meil keegi tegeleb.

Meie teadustöö hingeks ja üldkoordinaatoriks on **Jaan Raik**, kes juhib Sihtasutuse Eesti Teadusagentuuri poolt institutsionaalse uurimistoetusega (IUT) finantseeritud ATI põhiteemat „Usaldusväärsed mitmetuumalised arvutisüsteemid". Jaanile annab hiiglasliku koormuse see, et lisaks IUT-i teemale juhib ta meie osalust Eesti uues Infotehnoloogia teadustippkeskuses EXCITE, mille üldkoordinaatoriks on **Maarja Kruusmaa**, ja meie tegevust mitmetes europrojektides programmide FP7 ja HORIZON 2020 raames, nagu BASTION, IMMORTAL, TUTORIAL, COST programmi projekt TRUDOVICE jt. See loetelu on vapustav, kui arvestada seda, et kahes nimetatud projektis on Jaan Raik ka üldkoordinaator. Nendest projektidest on juttu olnud juba eespool. Mõnevõrra leevendavad juhikoormust Jaani õlgadel teised professorid meie instituudis: **Peeter Ellervee**, **Gert Jer-**

[25] Tõlkes: „laske teha, laske minna".

van, **Thomas Hollstein** ja **Raimund Ubar** ning vanemteadurid **Maksim Jenihhin** ja **Artur Jutman**. Seejuures on kaks viimast samuti kahe europrojekti üldkoordinaatorid: Artur juhib BASTION-i ja Maksim juhib Marie Curie MSCA-ITN projekti RESCUE.[26] BASTION-i juhib institutsioonina ATI *spin-off* firma Testonica Lab, mille direktor on Artur.

Nimetatud projektide raames (tegelikult on projekte palju rohkem) toimuvas uurimistöös osaleb meil hetkel kokku 19 doktoranti, millistel enamikel on kaks juhendajat ja mis taaskord viitab sellele kui tihedasti me kõik koos töötame.

Jaan juhendab hetkel 6 doktoranti: **Ranganathan Hariharani**, koos Gerdiga **Behrad Niazmandi**, koos Maksimiga **Apneet Kauri**, koos Peetriga **Tsotne Putkaradzet**, koos Thomasega **Karl Jansoni** ja koos Raimundiga **Jaak Kõusaart**. Gert juhendab 3 doktoranti, lisaks Behradile ka **Vakhtang Mosidzet** ja koos Thomasega **Siavoosh Payandeh Azadi**. Thomas juhendab samuti 3 doktoranti, lisaks eelöeldule koos **Kalle Tammemäega** ka **Hannes Kinksi**. Ja ka Peeter juhendab 3 doktoranti, lisaks Tsotnele **Priit Rubergi** ja **Muhammad Adeel Tajammulit** Rootsis. Raimund juhendab 4 doktoranti, lisaks Jaagule **Adeboye Stephen Oyenirani**, koos **Anton Tšertoviga Artjom Jasnetskit** ja koos **Vladimir Viiesega Lembit Jürimäge**. Artur juhendab **Sergei Odintsovi** ja **Konstantin Šibinit**. **Aleksander Sudnitsõn** juhendab **Artjom Rjabovit** ja **Ahto Kalja** koos **Tarmo Robaliga** juhendavad **Deniss Ojastut** ning **Jevgeni Marenkovi**.

Jaan Raiki uurimisgrupp. Vasakult Stephen, Behrad, Karl, Nevin ja Siavoosh

Juhtidel ja juhendajatel on alati mingi kindel vaade ja kontseptsioon nende uurimisteemade ja tegevusplaanide kohta, mille eest nad vastutavad. Juhendamise ebaõnnestumised seisnevad harilikult selles, et juhendaja sõnum ja soov ei jõua täielikult (või jõuab moonutustega) juhendatavani. Seetõttu on väga oluline pidev tagasiside juhendajale „altpoolt" selle kohta, kuidas tema doktorandid üldpilti ette kujutavad. Oleks üks asi küsida juhendajalt, millega tema uurimisgrupp tegeleb, teine tähendus on aga sellel, kui küsida seda sama doktorantidelt endilt.

Jaani, Gerdi ja Thomase juhtimisel käivitunud ja hetkel kulgevat uurimistööd kirjeldavadki nüüd tagasisidena, oma silmaga nähtuna ja oma peaga mõelduna, väga elavalt doktorandid **Siavoosh** ja **Karl** järgnevalt.

„Meie uurimisrühma alguseks võib lugeda 2014. aastat, kui meie instituudis kujunesid välja kaks väiksemat mõnevõrra eraldi tegutsevat gruppi, üks prof. **Jaan Raiki** ja teine prof. **Thomas Hollsteini** juhatusel. Mõlema grupi eesmärgiks oli parandada kiipvõrgupõhiste kiipsüsteemide usaldusväärsust. Püstitatud ülesanne sai jaotatud mitmeks väiksemaks ülesandeks – rikete avastamine, klassifitseerimine, lokaliseerimine ja haldamine. Mõlemad grupid lähenesid probleemile erinevate nurkade alt.

Prof. Jaan Raiki grupp (**Ranganathan Hariharan** ja **Behrad Niazmand**) alustas kiibil paiknevate rikkemonitoride arendamist, mis jälgiksid arvutikiibi tööd ja annaksid märku, kui nad on tuvastanud vea

[26] MSCA-ITN – Marie Skłodowska – *Curie Innovative Training Networks*, RESCUE – *Interdependent Challenges of Reliability, Quality and Security in Nanoelectronic Systems Design.*

selle töös, võrreldes kiibis signaalide hetkeväärtusi eelnevalt spetsifikatsioonis määratletud väärtustega. Et antud rikkemonitore testida, arendati välja ka lihtne kiipvõrgu ruuter. Antud uurimistöö tulemusena sai loodud instituudis väga hea ülevaade rikete tuvastamise mehhanismidest antud tüüpi ruuterites.

Samal ajal, eraldiseisvalt eelmisest grupist, alustas teine, prof. Thomas Hollsteini grupp (Siavoosh Payandeh Azad ja Karl Janson) eelmainitud probleemi uurimist kõrgemal, rakenduskihi tasemel, segatud kriitilisusega rakenduste jaoks. Uuriti võimalusi rikete haldamiseks mitmetuumalistes kiipvõrgul põhinevates kiipsüsteemides, kasutades rakenduste jooksutamise ümberplaneerimist ja nende liigutamist rikete ilmnemisel teistele protsessorituumadele. Paraku selgus väga kiiresti, et teatud juhtudel, nagu näiteks võrgusõlmede vaheliste ühenduste edaspidiseks tagamiseks ka rikete korral ning võrgu jaotamisel sektsioonideks, ei piisa ülesande lahendamiseks ainult töötamisest rakenduskihi tasemel, vaid tuleb jätkata ka rikkehaldusmehhanismide uurimisega madalamate kihtide jaoks. Kuna oli selge, et reaalsetes kiipsüsteemides on rikete haldamiseks vajalik spetsiaalne komponent, alustati Süsteemi Tervise Haldamise Üksuse (System Health Monitoring Unit, SHMU), arendamisega, mille ülesandeks on tagada süsteemi rikkekindlust, rikkemonitoride kogutud informatsiooni põhjal kogu süsteemi rikete kaardistamist ja rikete ilmnemisel ka kiipvõrgu ümberseadistamist.

Peagi mõistsid mõlemad grupid, et nende uurimisvaldkonnad on tihedalt omavahel seotud ning nende välja töötatud lahendused põhinevad eeldustel, mis on lahendatud teise grupi poolt. Seega otsustasid mõlemad grupid 2015. aastal alustada ühist aktsiooni, et disainida rikkekindel demonstraatorkiip Horizon 2020 projekti IMMORTAL raames. Selle tegevuse käigus uuendati eelmainitud lihtsat kiipvõrgu ruuterit ja loodi selle jaoks ka uued rikkemonitorid. Ühtlasi arendati välja ka uus heuristika rikkemonitoride suuruse minimeerimiseks viisil, mis säilitaks esialgse riketekatvuse. 2016. aasta sügisel saadeti kiibi disain tehasesse valmistamiseks.

Selle tegevuse käigus töötasid mõlemad uurimisgrupid koos nii tihedalt, et otsustati koonduda ühisesse uurimisrühma, mis koosnes viiest doktorandist (**Siavoosh Payandeh Azad**, **Karl Janson**, **Behrad Niazmand**, **Tsotne Putkaradze** ja **Apneet Kaur**) ning ühest magistrandist (**Nevin George**). Ühtlasi koliti ühisesse laboriruumi. Pärast kiibiprojekti lõppemist said esialgsed eesmärgid palju käega katsutavamateks. Demonstraatorkiibiga püstitatud ideede katsetamisga võib alata töö esialgse plaani teiste osade kallal nagu rikete klassifitseerimine ja -lokaliseerimine – ise rikkeid testiva ning iseennast parandava arvutikiibi loomiseks.

Samal ajal, alates 2014. aastast, olid uurimisrühmade liikmed seotud ka erinevate uute ainete õpetamise ja edasiarendamisega („Kiipsüsteemide disain“, „Digitaalsüsteemide modelleerimine ja süntees“, „Sardsüsteemid“). 2014. aasta jooksul sai loodud kaugtöö labor „Digitaalsüsteemide modelleerimise ja sünteesi“ aine jaoks ning 2016. aastal said kõik „Kiipsüsteemide disaini“ kursuse laborimaterjalid ja suur osa „Sardsüsteemide aine“ laborimaterjale täielikult ümber tehtud, kasutades uusi materjale, tööriistu ja meetodeid, et oleks tagatud nende ajakohasus.“

Esitatud aruanne kirjeldab ilmekalt teadustöö enda sees tekkinud sünergiat, mis on viinud uurimisrühmade ühinemisele ja samal ajal ilmneb selles ka otsene teadustöö ja õppetöö teineteist vastastikku toetamise efekt: ühelt poolt doktorantide panus uute kursuste väljatöötamisel, teiselt poolt magistrantide rakendamine õppetöö raames uurimistöösse. Lisaks Nevinile olid ka ju Tsotne ja Apneet alles mõned kuud tagasi magistrandid.

Hardi Selg

Jaan Raik lisaks siia veel palju huvitavat dramaatikat ja põnevust, mis kaasnes uue kiibi loomisega, aga samuti rõhutaks ta kindlasti ka magistrant **Hardi Selja** väga olulist panust kiibi nn. *tape-out* faasi läbiviimisel, et kogu projekteeritud info tehasele kiibi tootmiseks üle sai anda.

Artur Jutmani teadustöö suund koostöös **Jaan Raiki** uurimisgrupiga on hetkel määratud eeskätt projektidega BASTION ja IMMORTAL, mille eesmärgiks on uute testimisinstrumentide tehnoloogiate väljatöötamine süsteemide isetestimiseks, -parandamiseks ja rikete haldamiseks süsteemide veakindluse ja töö usaldatavuse tõstmiseks, aga ka elektroonikaskeemide vananemise vältimiseks ning diagnoosimatute rikete avastamiseks.

Arturi paremaks käeks tema uurimisgrupi doktorantide juhendamisel ja Testonica projektidega seotud rakendustöös on **Sergei Devadze**. Sergei panust ülikiire rikete simulaatori loomisega oma doktoritöös 2009. aastal ei saa kuidagi üle hinnata, sest tema loodud ja implementeeritud meetodit koostöös juhendaja **Raimund Ubariga** on „ekspluateerinud" (loe: rakendanud) ning edasi arendanud meist paljud nii oma doktoritöödes (**Helena Kruus**, **Maksim Gorev**, **Sergei Kostin**) kui ka üha uute ja uute teadustulemuste saavutamisel ning artiklite kirjutamisel.

Arturi juhitavasse töösse on Sergei kõrval haaratud hiljuti doktoritöö kaitsnud **Igor Aleksejev**, **Anton Tšertov**, doktoritööga ametis olev Antoni ja Raimundi poolt juhendatav **Artjom Jasnetski** ning Arturi enda juhendatavad doktorandid Konstantin Šibin ning Sergei Odintsov. Konstantin on oma doktoriõpingutega juba lõpusirgele jõudmas, olles oma tulemusi rakendanud praktiliselt ka tööstuses – firmades Testonica Eestis ja Göpel Electronic Saksamaal – uute testitööriistade arendamisel, testprogrammide loomisel ja elektroonikaplaatide testitavuse analüüsil. Tema töö põhisisuks on vigade haldamine kiipsüsteemides (SoC) nende tööajal (*on-line*) ja töökeskkonnas (*in-field*), kasutades IEEE 1687 IJTAG instrumendivõrke. Sergei Odintsovi doktoritöö teemaks on „Kõrgjõudlusega testimise sardinstrumentaarium", kus eesmärgiks on välja töötada struktuurne testimise metodoloogia, mis võimaldaks ühtaegu nii kõrget rikete katet kui ka head diagnostilist resolutsiooni ning oleks rakendatav dünaamiliste rikete avastamiseks kiiretoimelistes süsteemides. Töö põhitulemus seisneb uudse tehnoloogia arendamises FPGA-põhiste sünteetiliste sardinstrumentide realiseerimiseks.

Anton Tšertov, tagaplaanil Konstantin Šibin

Artjom Jasnetski

Konstantini ja Sergei doktorantuur on suurepäraseks näiteks, kuidas Akadeemia ja tööstus võivad töötada käsikäes, sest kumbki doktorant ei kuulu instituudi koosseisu, töötades firmas Testonica, kuid samal ajal on nad eeskujulikud ATI doktorandid.

Veel teinegi edukas näide samalaadsest koostööst on meil Igor Aleksejevi ja Anton Tšertovi näol, kes töötavad poole kohaga Testonicas ja poole kohaga arvutitehnika instituudis. Igori temaatika ühtib suurel määral **Sergei Odintsovi** ülesannetega, millest kahtlemata sünnib taas sünergia. Igori eesmärgiks on dünaamikarikete (*TRF – timing related faults*) diagnostika elektroonikaplaatidel ja puuduva meetrika väljatöötamine sellise diagnostika kvaliteedi hindamiseks, mille aluseks on kõrgtaseme (PCOLA/SOQ/FAM) rikete katte sidumine madala taseme dünaamikariketega.

Anton juhendab koos Raimundiga **Artjom Jasnetski** doktoritööd, kus eesmärgiks on uute kõrgtaseme graafi-teoreetiliste mudelite väljatöötamine ja rakendamine mikroprotsessorsüsteemide testide automaatseks genereerimiseks. Sellesse töösse on haaratud ka Raimundi teine doktorant **Stephen Adeboye Oyeniran**, kelle artikkel[27] saavutas tänavu rahvusvahelise konverentsi parima artikli auhinna. Selle uurimisgrupi tööd ühilduvad suurepäraselt Jaani ja Gerdi juhitava *mitmetuumaliste arvutisüsteemide* veakindluse üldtemaatikaga, sest üheks põhiprobleemiks selles suunas on ka see, kuidas testida ja tagada veakindlust süsteemide tuumadele ehk siis protsessoritele.

Elektroonika vananemisprobleemide uurimist ja nn. *noorendamismeetodite* arendamise initsiatiiv on suuresti **Maksim Jenihhini** käes, kelle juhendamisel töötab **Sergei Kostin** ja kus aktiivselt osalevad ka **Jaan Raik** ning **Raimund Ubar**. Selles temaatikas toimub intensiivne koostöö prof. **Fabian Vargase** ja tema uurimisgrupiga Porto Alegre Katoliiklikust Ülikoolist Brasiilias, kasutades nende kogemusi analoogelektroonika simuleerimisel. Mingis mõttes kordub siin ajalugu, kui kümmekond aastat tagasi meie instituut koopereerus Varssavi Tehnikaülikooliga ja kui koos prof. **Witold Pleskaczi** uurimisgrupiga töötasime välja meetodid ja mudelid reaalsete füüsikaliste defektide teisendamiseks loogikatasandile, ühitades poolakate tugevust analoogelektroonikas meie tugevustega digitaalskeemide valdkonnas.

Maksim Jenihhin

Maksim Jenihhini energia on viimasel ajal kulunud suuresti uute europrojektide taotlemisele, mis viimasel kahel aastal näiteks programmi COST raames ei osutunud edukaks. Äsja lõppenud COST projekti MEDIAN partnerid on Maksimi koordineerimisel esitanud kahel korral uue rahastuse taotluse, kuid mõlemal korral on need taotlused väga suures konkurentsis tagasi lükatud. Väga küsitavaks on seejuures osutunud projekti hindajate kompetents, sest mõlemal korral on lausa vastupidisel moel ning vasturääkivalt välja toodud puudusi. Niisugune asjaolu on toonud kaasa teatava ebakindluse ning lootusetuse COST projektide võistlusel üldse edu saavutada. Seega oli täiesti arusaadav Maksimi reaktsioon kolmandat korda enam mitte uue taotluse esitamist koordineerida. Rõõmsad uudised toovad aga sageli kaduma kippuvat optimismi tagasi. Just neil päevil (november 2016) saabus teade Maksimi koordineeritud projektitaotluse RESCUE[28] heakskiidu kohta Marie Curie programmi raames. See positiivne teade tõstis taas toonust ja Maksim asus nüüd ikkagi ka kolmandat korda uuesti COST projekti taotlemist organiseerima. Niisugune on meie igapäev, kus vahelduvad nii mõõnad kui tõusud. Aga olla vägede juhiks Euroopa konkurentsitihedal projektitandril – kus **Jaan**, **Artur** ja Maksim on viimasel ajal andnud endast parima nii europrojektide üldjuhtimisel kui ka uute projektide taotlemise üldkoordineerimisel – tähendab seda, et oleme pidevalt nähtaval Euroopa teaduse kaptenisillal.

[27] R. Ubar, Stephen Adeboye Oyeniran. Multiple Control Fault Testing in Digital Systems with High-Level Decision Diagrams. Proc. of the International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics – AQTR 2016“, Cluj-Napoca, Romania, May 19-21, 2016.

[28] H2020 MSCA-ITN RESCUE – Interdependent Challenges of Reliability, Quality and Security in Nanoelectronic Systems Design.

Meie teadusuuringute põhisuund – süsteemide veakindlus – toetub terve rea probleemide lahendamisel rikete simuleerimisele digitaalsüsteemides, paraku on aga kõik teada olevad simulaatorid liiga aeglased keeruliste süsteemide veakindluse analüüsiks. Efektiivsemate simulaatorite loomine on kahe **Raimund Ubari** doktorandi **Jaak Kõusaare** ja **Lembit Jürimäe** uurimistemaatikaks. Edu korral simuleerimise valdkonnas järgneks kohe edu ka terve rea teiste veakindlusega seotud uurimisteemade lahendamisel, mis on instituudis hetkel käsil. Jaak ja Raimund on välja töötanud uudse ja senisest täpsema viiterikete mudeli, aga Lembit koostöös Raimundiga on välja arendamas uut rikete modelleerimise tehnoloogiat järjestikskeemide olemusliku analüüsikeerukuse vähendamiseks rikete simuleerimisel.

Kalle Tammemäe uurimisteemaks on riist- ja tarkvaralised lahendused kognitiivsetele sardvõrksüsteemidele, seda koostöös elektroonikainstituudiga, kus projekti juhiks on **Yannick Le Moullec**. Projekti eesmärgiks on töökindlatele ja ülikergetele hajus-sardvõrksüsteemidele energiaefektiivsete signaalitöötlus- ning järeldusmeetodite riist- ja tarkvaraliste lahenduste väljatöötamine, arendamine ja testimine. Projekti ajendiks on nii tele-meditsiin kui ka insenertehniliste rajatiste struktuurse tervise jälgimise rakendused. Ja kerge on märgata, et terminid „töökindlus“, „võrksüsteemid“ ja „testimine“ määravad selle teema ühisosa eelnevalt kirjeldatud projektidega. Kalle osaleb veel teiseski ESS (European Spallation Source ERIC) väga rakenduslikus projektis EtherCat „in-kind“, mille eesmärgiks on välja töötada alamkontroller EtherCAT liinile. Ka siin toimub koostöö elektroonikutega, kus projektijuhiks on **Ants Koel**.

Kalle juhendatav doktorant on **Hannes Kinks**, kes uurib tähelepanu kaudu juhitavaid arukaid ja usaldusväärseid küber-füüsikalisi süsteeme. Doktoritöö on seotud ühisuuringutega koos ELIKO Tehnoloogia Arenduskeskuse teadlastega (**Alar Kuusik**, **Enar Reilent**). Uuritakse inertsiaalsensorite kasutamist taastusravis füüsiliste harjutuste kvaliteedi hindamiseks ning reaalajaliseks tagasisideks. Eesmärgiks on välja töötada meetod, mis lubaks kiirendusandureid lihtsalt häälestada konkreetsele taastusravi harjutusele sõltumata isiku/patsiendi füüsilistest näitajatest. Ülesanne nõuab masinõppe meetodite rakendamist.

Aleksander Sudnitsõn

Aleksander Sudnitsõn jutustab oma uurimistööst pikema tagasivaatena. 80-ndatel ja 90-ndatel oli ta kateedris üheks põhiliseks lepinguliste tööde vastutavaks täitjaks digitaalsüsteemide sünteesi alal, täites tellimusi firmadelt „Algoritm“ Eestis ja kosmosetööstusega seotud „Kometa“ Moskvas. Nende projektide juhiks oli siis **Andres Keevallik**. 90-ndatel juhtis Aleksander rahvusvahelist teadus-tööstuslikku kooperatiivi VIRTEK. Kooperatiivi loomine võimaldas kateedris üles seada ja seal hoida kooperatiivile kuuluvat arvutustehnikat, millist oli võimalik kasutada ka kateedri teadustöö huvides. Kooperatiiv esines väljapanekutega ka rahvusvahelistel näitustel, nii Tallinnas kui ka Moskvas, kõrvuti firmadega Microsoft ja IBM. Viimasel kümnendil on Aleksander olnud TTÜ poolseks juhiks neljas europrojektis programmide *Thematic Network* ja *Lifelong Learning Programme* raames.

Käesoleval hetkel töötab instituudis viis kolleegi, kellele Aleksander on olnud diplomiprojektide juhendajaks ja keda ta sel moel on kahtlemata motiveerinud siduma oma edasine karjäär instituudiga. Aleksander teeb jätkuvalt juba aastaid tihedat koostööd automaatide teooria, programmeeritavate loogikamaatriksite ja programmeeritavate kiipsüsteemide riist- ja tarkvara koosdisaini alal Aveiro professorite **Iouliia** ja **Valeri Skljarovitega** Portugalist, mille tulemusena on avaldatud kaks suurepärast ühismonograafiat, kusjuures ühel nendest on kaasautoriks ka Aleksandri ja Skljarovite juhendatav doktorant **Artjom Rjabov**. Artjomi doktoritöö teemaks on arvutusmahukate protsesside paralleeltöötlus riistvaralistes akseleraatorites. Ta on koos oma juhendajatega välja töötanud meetodeid tark- ja riistvara vaheliseks suhtlemiseks ning uurinud riist- ja tarkvara koosprojekteerimise võimalusi. Uurimistöö toimub laiendtöötluse platvormidel, mis hõlmavad mitmetuumalisi protsessoreid ja programmeeritavat loogikat. Artjom on ka värske **Ustus Aguri** nimelise stipendiumi laureaat 2016. aastal.

Aleksandri juhendamisel on kaitsnud oma doktoritöö ka **Dmitri Mihhailov**, kes jätkab praegu rakenduslikku uurimistööd Testonica projektides. Dmitri uuris oma doktoritöös võimalusi sortimisalgoritmide parandamiseks ja väljatöötamiseks, nii et nad oleksid efektiivselt realiseeritavad programmeeritavatel FPGA-maatriksitel. Paralleelselt juhendab Dmitri assistendina laboratoorseid töid aines *digitaalsüsteemide disain*.

Ülal kirjeldatu eesmärgiks oli anda ülevaade mitte kõigest, millega meil teadusmaastikul tegeletakse, vaid eeskätt sellest, kuidas meie instituudis on uurimistöö ja doktorantide juhendamine läbi põimunud väga komplitseeritud töösuhete võrguna. Meie teadustöö efektiivsus tuleneb otseselt selle võrgu keerukusest, sest mida keerukam on niisugune võrk, seda tõenäolisemalt saavad kõik võrgus osalejad jaole sellele „peidetud teadmisele", mis mööda võrku „ringi jookseb". Kui aga kaks või rohkem teadmist võrgu labürintides kokku põrkuvad, siis tekib sellest aeg-ajalt ikka üks või teine efekt kahest võimalikust, kas teadmiste kordistumine või annihilatsioon, kusjuures teaduse jaoks on mõlemad efektid ainult kasulikud.

Teadmiste kokkupõrkeid soodustas väga meie instituudi uus elamine Infotehnoloogiamajas aadressil Akadeemia tee 15A, kus kohvimasina juurde on võimalik pääseda mööda erinevaid marsruute ja mitte kunagi ei ole need koridorid tühjad. Kohvimasina vurina saatel aga võib köögiaknast nautida miljonivaadet nii Toompea ja vanalinna kirikute siluetile kui ka uutele ehitusjärgus kõrghoonetele Õismäe suunal.

Õppetööst meie instituudis

Margus Kruus: „Kui alustada informatiivselt, siis võiks instituudi poolt õpetatavad ained jaotada õppeainegruppideks ja siduda nende gruppidega vastavaid aineid õpetavad õppejõud. Meie poolt loetavaid õppeaineid võib tinglikult vaadelda neljas grupis (õppejõud on igas grupis esitatud tähestiku järjekorras):

1. **Programmeerimise üldained**: Margit Aarna, Marina Brik, Risto Heinsar, Lembit Jürimägi, Sergei Kostin, Vladimir Viies.

Arvutitehnika instituudi ruumid anno 2016

2. **Programmeerimise erialaained**: Lembit Jürimägi, Ahto Kalja, Hannes Kinks, Viktor Leppikson, Paul Leis, Tarmo Robal.
3. **Arvutite riistvara alused ja arvutiarhitektuurid**: Margit Aarna, Peeter Ellervee, Teet Evartson, Risto Heinsar, Margus Kruus, Harri Lensen, Elmet Orasson, Priit Ruberg, Arvo Toomsalu.
4. **Arvutisüsteemide testimine, diagnostika, projekteerimine ja usaldatavus**: Siavoosh Payandeh Azad, Peeter Ellervee, Maksim Gorev, Thomas Hollstein, Karl Janson, Gert Jervan, Mairo Leier, Dmitri Mihhailov, Elmet Orasson, Jaan Raik, Uljana Reinsalu, Tarmo Robal, Priit Ruberg, Aleksander Sudnitsõn, Kalle Tammemäe, Raimund Ubar."

Järgneva ülevaate eesmärgiks ei ole põhjalik kirjeldus meie instituudi õppetööst, mis on piisavalt hästi leitav veebiavarustest. Pigem on eesmärgiks heita valikuline pilk sellele, kuidas on meie õppe- ja teadustöö omavahel seotud ning esitada mõningaid vaateid ja mälestuskilde meie õppejõududelt.

Kuid millest siis alata? Mis oli ikkagi „enne", kas õpetamine või teadmine, õppetöö või teadus? Käesolev peatükk algas kiire seiklemisega läbi meie instituudi teadustegevuse labürintide, mis peaks nagu tähendama seda, et *teadus ja teadmine* olidki „enne"… Eks alustamegi siis selle teaduse „märkamatust" imbumisest instituudi õppetöösse.

Näide sellest, kuidas teadus imbus „salaja" õppetöösse

Eelmistes raamatu osades on räägitud mitmel korral juba instituudis loodud originaaltarkvarast Turbo Tester, mille tegelik tähendus ja filosoofia õppetöö seisukohast vaadatuna ei ole seisnenud mitte uues testigeneraatoris ja uutes publikatsioonides, vaid idees, kuidas teadus võiks täiesti „märkamatult" siseneda õpetamisse.

Õpetatakse õppimise eesmärgil. Aga õppimise võlusõnaks on – *learning by doing* ja see võlusõna sündis meie valdkonnas 80-ndatel, kui hakati ülikoolides õpetama niisugust keerulist ainet nagu elektroonikasüsteemide disain. Me asutasime 80-ndate lõpul oma (siis veel) kateedris diagnostikaringi, kus andsime tudengitele programmeerida uusi diagnostika teemalisi algoritme, mida ise uurisime ja välja mõtlesime. Neid algoritme oli palju ja neid tuli võrrelda omavahel, tudengid said oma õpetajatelt huvitavaid ja nõudlikke ülesandeid, õpetajad aga said tudengitelt tarkvara, mida kasutasid oma teadustöös. Aja möödudes muutusid uued algoritmid vanadeks, asemele tulid paremad, aga portfelli jäi „vedelema" kogum tarkvaratööriistu, millistel kõigil oli oma tähendus ja mis veel tähtsam – igaühel oli mingi eelis või puudus teiste kõrval. Mis oleks nüüd olnud veel lihtsam ühe uurimusliku laborikeskkonna loomiseks kui nende tarkvaratööriistade jaoks üks tööriistakast teha ja siis panna tudengid neid tööriistu uurima, katsetama, võrdlema ja analüüsima.

Nii olemegi sellest ajast peale oma teadustööd ka edaspidi teinud – uue teadusidee (sageli tudengite abil) tööriistaks vorminud, sellega „mängides" katseandmeid kogunud ja võrrelnud ning seejärel mõnikord koguni kaks (!) artiklit kirjutanud: esimeses oma teaduslikku ideed esitanud ja teises oma uue tööriista baasil uudset võimalikku laboritööd kirjeldanud. Enamasti on need laboritööde ideed küll vaid artiklitena IEEExplore digitaalsesse teadusraamatukokku elektroonset tolmu koguma jäänud, kuid nii mõnedki neist oleme ka ära realiseerinud omaenda laboris, et tudengitele põnevate uurimuslike eksperimentide võimalust pakkuda.

Praegu teevad tudengid meie instituudis kahes aines „Digitaalsüsteemide diagnostika" ja „Testimise projekteerimine" laboritöid, mille jaoks on tööriistad välja töötanud ja uurimusliku laborikeskkonna kokku pannud meie endised doktorandid. Alustada tuleks

Väga palju on meie õppetöö keskkonda panustanud Testonica

siin kõigepealt **Jaan Raikist**, kelle Turbo Testrit on meie laboris nii õppe- kui teadustöös juba ligemale kaks aastakümmet kasutatud. **Elmet Orasson** programmeeris seejärel Java appletid loogikaskeemide diagnostika põhiprobleemide uurimiseks. **Sergei Devadze** lisas Turbo Testrile väga kiire simulaatori ja samuti ehitas appletid digitaalsüsteemide mikroprogrammeerimise ja testide sünteesi ning analüüsi õppimiseks registersiirete tasemel. **Artur Jutman** programmeeris appletid Boundary Scan tehnoloogia tundmaõppimiseks, mis on tänapäeval digitaalsüsteemide projekteerimisel ja diagnostikas standardiks kujunenud.

Järgmine tase meie laboris tuli isetestivate süsteemide temaatikaga, kus oli samuti vaja terve rida tööriistu ja tööjuhendeid välja töötada, et eksperimenteerides uurida modelleerimise ja simuleerimise abil mitmesuguseid isetestimise põhimõtteid ja arhitektuure. Kõige aktiivsemad olid nende meetodite „konverteerimisel" ülikooli laboritöödeks hiljutised doktorandid ja nüüdsed doktorid **Igor Aleksejev**, **Sergei Devadze**, **Sergei Kostin**, **Anton Tšepurov**, **Anton Tšertov**, terve rida kunagisi või hiljutisi magistrante oma lõputöödena: **Natalja Mazurova**, **Julia Smahtina**, **Maksim Jenihhin**, **Vladislav Vislogubov**, **Adeboye Stephen Oyeniran**, **Uzochukwu Eddie Odozi**, **Emmanuel Ovie Osimiry**, aga samuti bakalaureused oma lõputöödena **Viljar Indus** ja **Kalmend Oliver**.

Seda laboratoorsete tööde keskkonda kasutatakse ka nimetatud kahe aine uurimusliku sisuga kursuseprojektides eksperimentaaluuringute sooritamiseks. Need testimisele ja diagnostikale suunatud tööd toetuvad oluliselt teadmistele, mis on saadud ka teistest eelnevalt läbitud digitaalsüsteemide projekteerimise kursustest, sest projekti ülesanded nõuavad ka uurimisobjektiks valitava digitaalsüsteemi projekteerimist.

Nii laboratoorsete tööde läbiviimist kui ka tööd kursuseprojektide raames mõlemas aines instrueerib edukalt ja on väga nõudlik arvestuste vastu võtmisel **Elmet Orasson**, kes ise on samuti olnud üks autoreid laborikeskkonna loomisel.

Ja see eelnev oli vaid üks näide, mis sai toodud eelkõige selleks, et illustreerida, kuidas teadustöö ja õpetamine teineteist sünergiliselt täiendavad.

Mõned näited riistvara ainete õpetamisest

Riistvara aluste ja digitaalseadmete projekteerimise valdkonnas kuulub üks juhtrolle instituudis kahtlemata **Peeter Ellerveele**, kes loeb selliseid olulisi kursuseid nagu „Digi-

Peeter Ellervee. See oli siis... Priit Ruberg (paremal) on Peeter Ellervee doktorant täna

taalsüsteemid“ bakalaureuseõppes ja „Digitaalsüsteemide modelleerimine ja süntees“ magistriõppes. Peetri tugevus nendes ainetes ja tema autoriteet üldse meie instituudis riistvara õpetamisel tuleneb selle temaatika lähedusest tema doktoritööga ja pikaaegsest eelnevast kogemusest sarnaste õppeainete lugemisel.

Mõlema kursuse väljatöötamisel, eeskätt just laboritöid silmas pidades, on Peetrile abiks olnud tema ideede teostamisel nii magistrandid kui ka doktorandid. Kursuse „Digitaalsüsteemid“ jaoks töötas **Uljana Reinsalu** oma doktorantuuri päevil välja SystemC labori, praegune doktorant **Priit Ruberg** ja magistrant **Keio Lass** aga VHDL-AMS keskkonna analoog- ja segaskeemide modelleerimiseks. Kõik nimetatud ja ka Peetri endine doktorant **Maksim Gorev,** kes hiljuti kaitses oma väitekirja, on pidevalt assisteerinud Peetrit selle aine läbiviimisel.

Kuna magistriõpe on meie ülikoolis nüüd muutunud ingliskeelseks ja õppima on tulnud üliõpilasi võõrsilt erineva teadmiste pagasiga (paljudel suhteliselt kesisega), siis otsustas Peeter oma magistrikursuse oluliselt ümber töötada ja kohandada uuele olukorrale. Abiks on talle seejuures olnud väga aktiivsed, iseseisvad ja initsiatiivikad välisdoktorandid **Siavoosh**, **Adeel** ja **Behrad**, kes arendasidki Peetri juhendamisel seni kasutuses olnud laboratoorsest keskkonnast täiesti uue versiooni.

Peetri endine doktorant ja assistent õppetöös **Uljana Reinsalu** on pärast doktoritöö kaitsmist iseseisvunud ja välja töötanud täiesti uue kursuse „Sardsüsteemid“, mida nüüd Uljana siis ka ise koos teiste kolleegidega tudengitele õpetab. Oma kursuses vaatleb ta sardsüsteemi iseseisva objektina, mis hõlmab endas nii kontroll-loogika komponente kui ka suhtlust reaalse maailmaga. Sardsüsteemidel on tavaliselt piiratud ülesannete arv, mida täita, kusjuures nii tarkvara kui riistvara komponendid on disainitudki täitma spetsiifiliselt vaid neid konkreetseid ülesandeid ning seda tehakse enamasti piiratud vahenditega. Kursuses käsitletakse sardsüsteemide erinevaid arhitektuure, liideseid ühenduseks reaalse maailmaga, liideste kasutamisviise, andureid ja aktuaatoreid ning seda, kuidas neid kasutada, samuti traadita ühendust ja sardsüsteemide võrke. Laborites kasutatakse sardsüsteemide ehitamiseks kaasaaegseid mikrokontrollereid.

Peetri õppealase tegevuse kirjeldus jääks aga poolikuks, kui mitte mainida, et Peeter täidab ka meie instituudis õppekavade juhi vastutusrikast rolli. Nimelt on just tema „peavastutaja“ bakalaureuseõppe õppekava „Arvutisüsteemid“ ja samanimelise rahvusvahelise magistriõppekava elluviimise ja arendamise eest. Vastavalt TTÜ-s hetkel toimuva õppe-

kavade reformi ajagraafikule valmib bakalaureusekava uus versioon, mis hakkab sisaldama ka elektroonika ja telekommunikatsiooni peaeriala, juba 2017. aasta vastuvõtuks, magistrikava peab „uuenduskuuri" läbima aasta hiljem.

Aleksander Sudnitsõn õpetab meie instituudis väga praktilist õppeainet „Digitaalsüsteemide disain". Kuna tema põhiline teaduslik kompetents kuulub just sellesse valdkonda, siis suudab ta ka ainet esitada väga heal kaasaegsel tasemel. Oma panust instituudile iseloomustab Aleksander ise järgmiselt:

„Arvan, et minu kõige olulisemaks tulemuseks viimasel ajal on olnud uue kursuse „Digitaalsüsteemide disain" väljatöötamine magistrantide jaoks. Selle kursuse põhieesmärgiks on arendada üliõpilastes digitaalseadmete projekteerimise oskust, lähtudes loodava seadme VHDL-kirjeldusest ning kasutades projekteerimisel digitaalseadme funktsionaalset/ajalist simuleerimist ja programmeeritavaid FPGA loogikaseadmeid."

Märgime siinkohal veelkord, et ülal kirjeldatu sisaldab ainult valikulisi näideid neist paljudest arvutisüsteemide riistvara alastest õppeainetest, mis kuuluvad baasainete hulka meie erialal ja mis on samal ajal tihedalt seotud ka teadustegevusega meie instituudis.

Väljavõtteid tarkvara ainete õpetamisest

Vladimir Viies programmeerimise algusaegadel. Paremal: tänased Vladimiri assistendid Margit Aarna ja magistrant Risto Heinsaar.

Vladimir Viies, programmeerimise valdkonna üks põhiõppejõude instituudis jutustab, kuidas tema viib läbi õppetööd oma ainetes:

„Minu juhendamisel õpetame tarkvaraaineid – Programmeerimine I ja II, Algoritmikeelte analüüs ja Tarkvaraprojekt – ühtse kontseptsiooni alusel: praktikatundide läbiviimine toimub skeemiga, kus põhiõppejõud töötab koos eelnevalt selle sama aine läbinud vanemate kursuste üliõpilastega. Abistavate üliõpilaste arv on grupi kohta tavaliselt kaks kuni viis. Esimesena võttis sellise lähenemise kasutusele **Margit Aarna** kümmekond aastat tagasi ja nüüd on selline õpetamismeetod kinnistunud – kasulik nii tudengitest õpetajatele kui ka õppijatele. Aine omandamine üliõpilaste abiga edeneb paremini, sest õpetatavad julgevad rohkem ja „rumalamalt" küsida, mille tulemuseks on aga kiirem materjali omandamine.

Programmeerimise õpetamisel lähtume **Paul Leisi** kontseptsioonist, kus kõigepealt alustatakse ülesande lahenduse algoritmist ja alles seejärel jätkatakse selle realiseerimise ning testimisega mingis programmeerimiskeeles. Viimastel aastatel on meil selleks keeleks olnud C. Viimase kasutusvõimsust selgitame kahe eritasemega ülesandega:

1. Andmebaasi ülesanne. See on suunaga rohkem tarkvara ja infosüsteemide poole andmaks ülevaate andmebaaside kasutusest ja PostgreSQL andmebaasimootorist. Ülesande käigus tuleb luua minimalistlik õppeinfosüsteem, mis suhtleks andmebaasiga.
2. Mikrokontrolleri ülesanne. See on suunaga riistvaralähedasema programmeerimise poole. Ülesande käigus õpitakse mikrokontrollerit programmeerima. Antud tarkvaragrupis teevad koostööd

Margit Aarna, **Marina Brik**, **Lembit Jürimägi**, **Hannes Kinks**, **Sergei Kostin**, **Vladimir Viies** ja üliõpilased. Mõne aasta eest kuulusid gruppi veel nüüd pensionile siirdunud **Ksenja Grigorjeva** ning traagiliselt hukkunud **Helena Kruus**. Nimetatud tarkvaragrupp vaatab üle ja uuendab õpetatavad ained iga semestri alguses."

Muuseas, ka Vladimir Viiesel on täita instituudis väga oluline õppetööalane lisaroll täiendavalt tavalisele õppejõutööle – nimelt vastutab Vladimir juba palju aastaid meie instituudis üliõpilaste lõputööde kaitsmiste ladusa korraldamise eest ja juhib tihti ka kaitsmiskomisjonide tööd. Eelnevast on näha, et nii **Peeter Ellervee** kui ka Vladimir Viies peavad väga oluliseks vanemate tudengite rakendamist õppetöös nooremate kursuste tudengite õpetamisel ja seda juba nii varakult kui vähegi võimalik. Õppetöö läbiviimisel on Vladimir Viies pidanud väga oluliseks ka välisspetsialistide kaasa haaramist õppetöösse, seda nii ülesannete püstitamisel kui ka otseselt loengute pidamisel.

Lembit Jürimägi – alati mõtlik, alati kriitiline

Lembit Jürimägi töötab instituudis alates 2008. aastast, algul assistendi ja nüüd lektorina ja on praegu paremaks käeks dotsent Vladimir Viiesele. Koos Vladimiriga annab Lembit hetkel bakalaureuse tudengitele C programmeerimise aineid ja magistrantidele kompilaatorite tööpõhimõtet tutvustavat ainet ning kõik need ained on Vladimiri eestvedamisel aastate jooksul ka pidevalt täienenud. Viimasel ajal on Lembit hakanud Viiest aktiivselt assisteerima ka bakalaureuse ja magistriõppe lõputööde juhendamisel. Lembit kommenteerib:

„Võrreldes ajaga, mil ma ise TTÜ-sse astusin, on tudengite tööstiil oluliselt muutunud: esimese tegevusena otsitakse internetist, kas keegi pakuks ülesandele kohe lihtsat lahendust. Samuti eelistatakse töövahendeid, mis kasutaja eest kõik vähegi lihtsama ise ära teevad. Samas kätkeb selline lähenemine ohtu, et õpitakse ainult töövahendit tarbima, mõistmata, mida see reaalselt teeb. Seetõttu üritan oma ainetes pigem moevoolusid vältida ja kasutada klassikalisi tööriistu, kus automaatikat on minimaalselt. Samuti kulutan suure osa oma harjutustundidest seletamaks, mis riistvara tasemel juhtub, kui tarkvaras üht või teist kirjutada."

Samas kahtleb Lembit ise, kas selline lähenemine on ikka õige, sest ettevõtjad ootavad lõpetajatelt pigem moodsate töövahendite tundmist, kuid arvab siiski, et see oleks pigem rakenduskõrghariduse eesmärk.

Paralleelselt õppejõu tööga on Lembit ka doktorantuuris **Raimund Ubari** juhendamisel. Töö teemaks on digitaalsüsteemide diagnostika, kus Lembit on uurinud otsustusdiagrammide matemaatikat, optimeerimisvõimalusi ja kasutamist efektiivsemate meetodite väljatöötamiseks digitaalskeemide rikete modelleerimisel ja simuleerimisel. Töö on seni olnud edukas, kahe aasta jooksul on ta koos juhendajaga avaldanud juba 5 artiklit, s.h. ühe artikli monograafia peatükina. Lembitu õppetöö temaatika ja doktorantuuri teema kuuluvad erinevatesse valdkondadesse ja ta on seetõttu instituudi interdistsiplinaarsuse heaks näiteks. Doktorantuuri teema valiski Lembit eelkõige seetõttu, et otsis oma tarkvara alastele teadmistele rakendusi mingist muust lähedasest valdkonnast.

Aasta parimad õppejõud

Tehnikaülikooli viimaste aastate traditsiooniks on kujunenud autasustada Vabariigi aastapäeval ülikooli parimaid õppejõude, kusjuures hindamise ja valiku on teinud tudengid.

Infotehnoloogia teaduskonnas on meie instituudi õppejõud esinenud märkimisväärse eduga, võites teaduskonna parima õppejõu tiitli viimase 9 aasta jooksul, mil neid konkursse on korraldatud, tervelt neljal korral. Nii on aasta parimaks õppejõuks infotehnoloogia teaduskonnas valitud: **Peeter Ellervee** 2009. aastal, **Margit Aarna** 2012. aastal ja **Margus Kruus** kahel (!) korral – 2010. ja 2014. aastal.

Õppe-abi personalist

Meie hulgas on kolleegid, kellest on vähe või pole üldse juttu olnud, aga kelle pideva kohaloleku ja hooleta ei töötaks ei meie laborid ega arvutiklassid, ei oleks korras meie arvepidamine, aruandlus ja dokumentatsioon ning tegemata jääks instituudi igapäevane sekretäritöö:

Merle Aadli – aitab korras hoida meie rahvusvaheliste teadusprojektide finantsaruandlust ja dokumentatsiooni. Ilma temata oleks neid projekte juhtivatel teadlastel väga palju bürokraatlikku asjaajamist juures.

Hannes Kinks – hoiab korras ja uuendab vajadusel või võimalusel arvutiklasside ja seminariruumide salvestus- ja konverentsiseadmeid ning sinna juurde kuuluvat tarkvara.

Marek Mandre – tegeleb instituudi arvutite, serverite, arvutivõrgu ja arvutiklasside korrashoiu ja uuendamisega.

Heljo Saar – hoiab korras instituudi dokumentatsiooni ja tema hooleks on instituudi sekretäritöö.

Aeg-ajalt assisteerivad ja abistavad mitte üksnes neid siin nimetatud kolleege, vaid kogu instituudi rahvast hea tehnilise *know-how*'ga varustatud **Harri Lensen** ja **Elmet Orasson**. **Tarmo Robal** on meil aga oma teaduri põhitöö kõrvalt veebimeistrina loonud ning aastaid hallanud meie instituudi suurepärast paljude kaasaegsete võimalustega veebilehte.

Meie kõigi tänu Merlele, Hannesele, Marekule, Heljole, Harrile, Elmetile, Tarmole...

Tarmo Robal

Kolleegide lühimeenutusi ja kommentaare

Margit Aarna. Alustasin tööd arvutitehnika instituudis 2002. aasta sügisest. Esimesed tööülesanded olid seotud mu magistritöö täiendamisega. 2003. aasta kevadsemestrist alustasin „Arvutid I" praktikumide juhendamist. 2006-ndal lisandus „Informaatika I" ja 2007-nda kevadest ka „Informaatika II". 2008. aasta sügisest alustasin vanema kursuste tudengite kaasamist esmakursuslaste õppetöösse. Kes siis ikka asju paremini selgitaks ja küsimustele vastaks, kui mitte peaaegu sama vana noor inimene, kes just on endale asjad selgeks teinud. Praeguseks on enamik abilisi juba ka magistriõppe lõpetanud ning suurde maailma laiali läinud, kuid osad neist, Hardi ja Risto, on jäänud veel meie instituuti tööle.

Kogu ATI töötajaskonna kohta võiks öelda, et me oleme nagu korralik spordivõistkond: kõik ühise huvi eest väljas – arendada noori ja teadust. Nagu igas kollektiivis, on ka meil vahest harva erimeelsusi, aga õnneks oleme me kõik samal ajal üksteist toetavad ning saame ka ebameeldivamad jutud kõik kenasti aetud. Olen tõsiselt õnnelik, et olen siin töötanud 14 aastat.

Teet Evartson. Praegu tegelen arvutite riistvara õpetamisega põhiliselt Tallina Tehnikaülikoolis, kuid olen teinud analoogilisi kursusi ka IT Kolledžis ja Tallinna Ülikoolis. Projektides praegu aktiivselt ei osale, tegelen eelkõige õppematerjalide valmistamisega ja õpetamisega. Varasemalt olen osalenud aktiivselt diagnostika alases uurimistöös **Raimund Ubari** juhitavates projektides .

Mul on hea meel, et olen saanud näha lähedalt digitaaltehnika revolutsioonilist arengut, olles ise selle protsessi sees. TPI-sse õppima asudes teadsin, et soovin astuda tolleaegsesse elektrotehnikateaduskonda. Eriala oli lahtine kuni sisseastumisavalduse kirjutamiseni. Raadiotehnikasse ma ei astunud, sest olin ehitanud raadioid ja ka televiisori endale ise ning käinud küla peal tegemas sel ajastul vajalikke soome hääleplokke. Seega uskusin teadvat, millega on tegemist. Elektroonikast omasin ka sellevõrra ettekujutust, et teadsin kuidas töötavad lambid ja transistorid ning olin ka mõne võimendi ehitanud. Jällegi arvasin teadvat, millega on tegemist. Automaatika tundus liiga tööstuslik. Elektronarvutite erialast ei olnud mul vähimatki ettekujutust ja nii ma selle valisingi, et saada teada mis see selline on. Loomulikult ei kujutanud ma ette, kuhu jõuab välja digitaaltehnika aastaks 2016. Pika TTÜ aja jooksul on mul olnud väga toredad kolleegid, kes on mind aidanud, kui vaja ja lubanud ise tegutseda, kui olen seda soovinud.

Harri Lensen. Minu põhitegemiseks on välja kujunenud õppetöö läbiviimine ainetes IAY0010 (*Diskreetne Matemaatika*) ja IAY0140 (*Arvutite aritmeetika*) koos **Margus Kruusiga** ning alates sellest aastast ka IAF0041 (*Arvutid*).

Kolleegid: Margus Kruus ja Harri Lensen (paremal)

Sellele lisaks juhtub aegajalt igasuguseid arvutite korda sättimise tehnilisi probleeme, mis delegeeritakse lahendada kas mulle või **Marekile**. Samuti on igasugused uue riistvara ostmised kogu instituudile ka suuresti jagunenud minu ja Mareki vahel. Kui vaadelda, et kes abistab... siis Marekiga assisteerime teineteist kõikides infrastruktuuri küsimustes. Aeg-ajalt abistan Margus Kruusi ja **Peeter Ellerveed** loengute läbiviimisel – kui neil on endal mingi „äraoleku teema", reis vms. Neil juhtudel olen mina kohe võtta asendama... Peetriga me tegutseme koos ka Infotehnoloogia Kolledžis, kus meil on aine „Digitaalsüsteemid". See on hetkel „väljaspool TTÜ-d" toimuv tegevus, aga IT Kolledž on teatavasti TTÜ-ga peagi liitumas.

Kui **Heljol** on mistahes probleeme ja küsimusi (ükskõik mis teemal) – siis esimesena julgeb ta need välja rääkida minule.

Iga paari aasta tagant aktualiseerub õpiku „Diskreetne matemaatika" uue trüki väljaandmine, mida saab pidevalt üha paremaks kirjutada ja illustreerida. Selle prindib lõpuks valmis TTÜ kirjastus. Veebis asuvate õppematerjalide uuendamine ja ilustamine käib ka „pidevalt".

Tarmo Robal. Asusin tööle arvutitehnika instituuti 1998. aasta sügisel insenerina ja minu peamiseks töökohustuseks sai esmalt luua ja seejärel hallata instituudi veebilehekülge. See ülesanne on püsinud nüüd juba üle 18 aasta, mis iseenesest on üpris tore „küpse number". Tollal uudne ja kiirelt arenev valdkond paelus aga sedavõrd, et on jäänud peamiseks tegevusvaldkonnaks tänaseni, tasapisi on fookus nihkunud „teadusmaailma",

peamiselt veebikasutajate uurimisele. Aja jooksul on ka töökohustused ja minu roll instituudis muutunud – täna töötan instituudis süsteemitarkvara õppetooli teadurina, tehes teadustööd tarkvaratehnika ja veebiinfosüsteemide valdkonnas, viies läbi õppetööd nii bakalaureuse- kui ka magistriõppes ning juhendades tudengeid kõigil kolmel õppeastmel. Instituudi veebiplatvormist, mis täna ei ole enam vaid instituudi veebisaidi mootoriks, on aga saanud omaette „teaduslabor", tootes sisendit teadustööle ja valideerides uusi ideid. Minu töö esitab pea igapäevaselt väljakutseid ja rutiini kui sellist tekib harva. Minu instituuti tööle asumise päevast saati mulle igati tuge pakkunud instituudi direktor **Margus Kruus**, kes on olnud justkui mu „vaimne isa" sel karjäärivalikul, ja oli ka mu esimese kraaditöö juhendajaks. Tehnilise poole pealt olen saanud alati tuge ideede elluviimiseks meie süsteemide administraatorilt **Marek Mandrelt**. Hea sõnaga meenutan ka suurepärast kolleegi **Helena Kruusi**. Teadusmaailmas on aga olnud suunanäitajaks hea kolleeg ja doktoritöö juhendaja professor **Ahto Kalja**.

Arvo Toomsalu. Viimastel õppeaastatel olen põhiliselt seotud bakalaureuseõppe kohustusliku aine „Arvutiarhitektuurid" õpetamisega.

Mälestusi möödunust. Arvo Toomsalu laboratoorium

Aastatel 2003-2011 lugesin magistriõppes mahukat kahesemestrilist mikroprotsessorsüsteeme („Mikroprotsessorsüsteemid I ja II") käsitlevat kursust. Sellesse aega jääb üks minu huvitavamaid ettevõtmisi instituudi laboribaasi arendamisel. Nimetatud kursus eeldas spetsiaalse, mikroprotsessortehnika rakendamisele orienteeritud, õppelaboratooriumi olemasolu. Seepärast otsustati sisustada ühte Raja 15 asunud õppehoone ruumi vastava tehnikaga varustatud laboratoorium. Kuna laboriprojekti elluviimine lasus üksnes minul, siis tuli tegeleda kõigega – alates ruumi ümberehitamise eskiislahenduse koostamisest ja ehitustööde järelevalvest kuni labori töökohtade kavandamiseni ning varustamiseni vajalike katseobjektide, mõõte- ja arvutitehnikaga. Kuigi töö käigus esines mitmeid probleeme, õnnestus lõpptulemusena kõik kavandatu ellu viia. Töötamisel nii TPI elektronarvutite kateedris kui ka hiljem TTU arvutitehnika instituudis, on mul olnud palju väga toredaid töökaaslasi. Eriti tahaks esile tõsta oma TPI stuudiumiaegset õppejõudu ja hilisemat kolleegi dotsent **Harri Mägi**. H. Mägi on äärmiselt sõbralik, avatud ja heasoovlik inimene, kes oma põhjalikke erialaseid teadmisi ning praktilisi kogemusi on alati valmis meeleldi jagama.

Niisugune tuli siis läbilõikeline pilt meie instituudi elust *anno* 2016. Järgmisest aastast tulevad muutused – saab teoks juba mõnda aega ettevalmistusel olnud ülikooli reform. Instituut kasvab, meie koosseisu lisanduvad uued inimesed. Seeläbi muutume me aga ka tugevamaks ja meie teadmiste ring laieneb. Raamatu lõpupeatükkides annavad instituudi direktor ja teaduskonna dekaan lühikese ülevaate sellest, mis toimuma hakkab.

Riigi teaduspreemia elutöö eest TTÜ arvutitehnika instituudis

24. veebruaril 2016 anti Teaduste Akadeemia saalis Raimund Ubarile teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest. Sel puhul ilmus „Sirbis“ järgmine tekst[29]:

Arvutisüsteemide katsetamise ja diagnostika teerajaja Raimund Ubar

Raimund Ubari eluteel on põimunud idealistlikult sihikindel ja viljakas teadustöö, elegantsed rakendused arvutisüsteemide katsetamise ja diagnostika valdkonnas ning arvutiteadlaste noore põlvkonna kasvatamine töökuse ja põhimõttekindluse vaimus.

Õpetamist on akadeemik Ubar pidanud kõige aluseks. Ta on kirjutanud: „Kõik algab tõepoolest haridusest, ka tippteadus. Majanduski sõltub haridusest. Eesti teadusel peakski olema ainult kaks eesmärki: panustada kõrgharidusse ja selle kaudu majandusse. Tippteadus võiks olla ihaldusväärne kõrvalsaadus, aga mitte eesmärk omaette, sest tippteadust tehakse maailma ka meieta. Aga meie ülikoolid on meie professorite mure.“[30]

Raimund Ubar koos oma kunagise õpilase Maarja Kruusmaaga saavad mõlemad samal päeval riikliku preemia

1971. aastast alates on Raimund Ubar seotud Tallinna Tehnikaülikooliga. Kokku 90 semestri vältel on ta suure osa oma energiast panustanud õppetöösse. Esimesel paarikümnel aastal õpetas ta aineid väga laias valdkonnas alustades programmeerimisest, elektroonikast, analoog- ja digitaalarvutitest, automaatide teooriast, arvutite arhitektuurist, aritmeetikast ja loogika alustest ja lõpetades arvutihoolduse, automaatikavahendite konstrueerimine ning digitaalsüsteemide projekteerimismeetoditega. Hiljem keskendus ta õppeainetele, mis kajastavad tema teaduslikke läbimurdeid. Tema koolkonna rajatud doktorantuur on kui Tallinna tehnikaülikooli suursaadik rahvusvahelises teaduses.

Raimund Ubari suurim panus teadusse on rahvusvahelise tunnustuse pälvinud koolkonna rajamine. Ligi 40 aasta eest tema poolt diagnostikas kasutusele võetud binaarsed otsustusdiagrammid põhjustasid 10 aastat hiljem arvutiteaduses ülemaailmse buumi. Neist on saanud üks tähtsamaid teoreetilisi mudeleid digitaalsüsteemide projekteerimisel ja diagnostikas. 1980. aastatel töötas ta välja uued kursused, mille kaudu need originaalsed ideed levisid kogu Eesti teadlaste ja inseneride hulgas.

Tehnilise diagnostika kursuse toomisel tehnikaülikoolide õppekavadesse on inseneerihariduse andmisel märgiline tähendus. See aine on ühtaegu intellektuaalne harjutus põhjuste ja tagajärgede insenerlikul mõtestamisel, aga ka võimalus õppida formuleerima õigeid praktilisi küsimusi ning plaanima eksperimente nendele küsimustele vastuse leidmiseks.

Ühena vähestest tippteadlastest on Raimund Ubar kogu aeg oma teadmisi intensiivselt rakendanud majanduse teenistusse. Koostöös temaga sündinud kõrvalfirma (*spin-off*) Testonica Lab on edukalt pääsenud maailmaturule ja selle toodete hulka kuulub ka CERN-i tellimusel valmistatud suure hadronite põrgati kommunikatsioonikanalite tester BERT.

Viljaka teadustegevuse ja suure panuse kõrval teaduspoliitikasse on ta pidanud vajalikuks sõnastada oma mõtteid kogu ühiskonda kõnetavates kirjutistes ja esinemistes teaduskultuurist ja -poliitikast ning teadusfilosoofiatest küsimustest. Ta on süvitsi käsitlenud kõrghariduse ja pedagoogika, tehnikaülikooli ja inseneriteaduste arenguprobleeme ning paljusid muid küsimusi.

Kõike seda kajastab tema memuaarteoses „Teadusemees“ peituv mõttepäevik. Ta ise on arvamusel, et „teadlasi tuleks hinnata mitte selle järgi, kui palju neil tsiteeringuid on, vaid selle järgi, kui raskeid ülesandeid nad on suutnud ära lahendada“ ja „see, kes tunnetab aukartust teaduse keerukuses peituva müstika ees, ei lähe teadust mütsiga lööma, vaid pühendab teadusele oma elu“.

[29] 19. 02. 2016 „Sirp“.

[30] Raimund Ubar, Aukartus teaduse ees, Sirp 21. 11 2014.

2016. aasta riigi preemiate laureaadid Toompea lossis

Kaks laureaadi kõnet

1. Sõnavõtt Riigi teadus-, kultuuri- ja spordipreemiate ning F. J. Wiedemanni keeleauhinna kätteandmisel 24. veebruaril 2016

Austatud Peaminister, lugupeetud saalisviibijad!

Raimund Ubar

Tahaksin tänada Valitsust kõigi tänaste laureaatide nimel austava tunnustuse eest. Samuti tänan oma lähedasi, kolleege, eeskujusid ning oma õpilasi.

Selles saalis on täna ristunud sportlaste, kultuuriinimeste ja teadlaste teed. See, mis meid ühendab, on andumus loomingule. Sportlasi ja teadlasi ühendab eesmärk olla mingil alal esimene või parim. Kui kunstilooming tähendab mõtete välja kiirgamist, siis teaduse ülesandeks on maailmas ringi levivat mõtete kiirgust fokuseerida ühteainsasse punkti, mida nimetatakse uueks teadmiseks.

Aga maailm ja selle olemus on täna kiiresti muutumas. Kolme fundamentaalse avastusega – aatom, geen ja transistor on põhilised mateeria, elu ja arvutamise seadused ära tunnetatud. Edasi lendame nüüd teaduse kingitud tiibadel ja romantiline teadusavastuste aeg on asendunud pragmaatilise teaduse rakendamise ajastuga. Innovatsiooniliidriteks saavad täna need, kes tegelevad rakenduste kontekstiga.

Teadus ja tehnoloogia annavad võimu aga mitte tarkust. Kust võtta siis seda tarkust, et võimu õiglaselt ja õigesti kasutada? See on koht, kus kaks kultuuri – teadus ja humanitaaria peavad teineteist tasakaalustama. Briti kirjaniku ja teadlase Charles Percy Snow kuulsale poole sajandi tagusele loengule „Kaks kultuuri“[31] järgnes hiljuti 4 filosoofi analüüs vahepeal toimunu kohta, mis avaldati kogumikus „Kahest kultuurist kultuuri olematusse“[32], kus esiplaanile tõusis dilemma – kuidas hakkama saada kiirete muutustega tänases maailmas. Kui varem nähti kultuuris ja traditsioonides tuge ja kindlustunde

[31] The Two Cultures and the Scientific Revolution. By C. P. Snow. The Rede Lecture - 1959. Cambridge University Press, New York, 1961.

[32] From Two Cultures to No Culture: C. P. Snow's "Two Cultures" Lecture Fifty Years On. By Frank Furedi, Roger Kimball, Raymond Tallis, Robert Whelan (Editor). Civitas, The Cromwell Press, Great Brittain, 2009.

allikat tundmatu tuleviku ees, siis täna domineerib minevikule ülalt alla vaatamise motiiv: unustage see, mida oskasite eile. See aga tähendab kultuuritust ja teekonda, kus kellelgi pole kompassi.

Ellujäämise retseptiks on täna – oskus kohaneda! Milline on aga siis kultuuri tähendus, kui väärtuseks on unustamine? Ja milline peaks olema hariduse sisu, olukorras, kus on kadumas järjepidevus – uue rajamine olemasolevale, ehk siis areneva kultuuri aluspõhimõte?

Oli aeg, kui haridus tähendas info valdamist, täna on see Google'i pärusmaa. Ka teadmiste monopoli on täna üle võtmas masin – arvutitarkvara. Kuid on siiski midagi, mis jääb inimese pärusosaks ja hariduse ülimaks eesmärgiks, mida veel ei valda masin – need on vaim, tarkus, looming.

Ühiskond küsib täna: mis kasu on teadusest Eestile? Jakob Hurt ei mõelnud kasust, kui kutsus üles eesti rahvast saama suureks vaimult! Vaim luusib ringi ülikoolide seinte vahel. Tudengid käivad mitte sellepärast ülikoolis, et saada ainult infot ja teadmisi, vaid sellepärast, et õppida tajuma, kuidas kannab vaimu, mõtleb ja loob teadust professor. Teadusest saabki kasu üksnes vaim, mille diplomiga elluastuja võtab kaasa ülikoolist.

Teaduse rahastamise loogika rikkus ära Teine Maailmasõda, pärast mida puhkes mull, kus hakati nägema, et teadusega saab mitte ainult sõda võita vaid ka rikkaks saada. Paradoks on selles, et teadus tähendab palju rohkemat kui rikkaks saamise võimalust. Teadus ei tooda kaupu, vaid arengut. Arengu kulgu me ei märka, vaid selle hüppeid. Aga märkamatut on raske müüa.

Andekad noored on meie varaait. Seepärast tulekski Eesti teaduse põhiväljundit näha kõigepealt kõrghariduses – hoidmaks meie vaimuvara arengupotentsiaali õigel rajal.

Tänan veelkord Valitsust tunnustuse eest! Ja soovin kõigile õnne tänase pidupäeva puhul!

2. Sõnavõtt Riiklike preemiate raamatu esitlusel 21. juunil 2016

Saada elutöö preemia oma rahva käest – on väga suur au. Sest on märgatud jalajälge, mida oled oma eluteel maha jätnud. Küsimus on küll jälje suuruses ja sügavuses. Külje pealt vaadatuna võib see jälg tunduda ehk sügav. Ülalt alla vaadates ehk hoopis lamedavõitu. Kui aga selja taha vaadata, siis võib see jälg tunduda ka pisikesevõitu. Oma lugu Preemiate raamatusse kirjutama asudes pidin hakkama vaatama selja taha.

Mul oli üks sõber Saksamaal, üks professor, kes arvas, et mees võib rahul olla oma eluga, kui ta on üles ehitanud maja, kasvatanud suureks kaks poega ja kirjutanud kaks raamatut. Mu pojad on tõesti suureks kasvanud – mu õpilased. Ja nad on oma õpetajast ka juba mööda läinud. Aga maja ehitus on ikka mul pooleli. Miks on siis mu maja pooleli? Miks teadus ei saa kunagi valmis? See ongi teaduse ja iga teadlase dilemma. Nii oleks triviaalne öelda, et kui miski saab kasvada ja areneda lõputult siis sellepärast ei saagi see kunagi valmis. Tõde on hoopis muus.

Kui ma ükskord noore õppejõuna nõukogude ajal tahtsin Ida-Saksamaale loenguid pidama sõita, pidin loa saamiseks ülikooli parteikomiteesse minema, kus mult küsiti, miks ma komnoor pole olnud. Ütlesin, et aega pole olnud, et õppimise kõrval tuli tööl käia – joonestasin, tegin sporti – võimlesin, laulsin ülikooli meeskooris… Parteisekretär tegi filosoofilise kokkuvõtte: laulsite, joonistasite, võimlesite – kõik kaunid kunstid ja esteetilised asjad, ega te viimati usklik ei ole?

Tookord vastasin – ei, muidu poleks mind ka Saksamaale lubatud. Täna vastaksin teisiti. Kes ongi veel usklikum üldse kui teadlane? Kõigepealt peab ta uskuma seda, mida teised on öelnud, seejärel peab ta uskuma jääma ka seda, mida ise kirjutab ja räägib. Paradoks on aga selles, et teadlase kogu elutöö seisneb just pidevas mitteuskumises – omaenda usu mitteuskumises.

Teaduslik meetod põhineb väidete tõestamisel. Iga väide, milleni pole jõutud teadusliku meetodi abil, on üksnes arvamus. Karl Popper, üks filosoof, on öelnud, et vaatlustega pole kunagi võimalik tõde kinnitada, vaid ainult ümber lükata. Nii ehitataksegi teaduslikke teooriaid neid samas ümber lükates ehk siis purustamise eesmärgil. Sellepärast ei saagi teaduse maja kunagi valmis. Liiga palju lammutatakse.

Kui tavaliselt elus püütakse igatpidi tõestada oma tõe õigsust, näiteks ilukõne abil, siis teadlased on need, kelle töö seisneb omaenda tõe ümberlükkamises. Ja kui see lõpuks ei õnnestu enam, alles siis võib rääkida teadustulemusest. Seega teadustulemused on üldse suurimad ebaõnnestumised teadlase elus.

Kirjutaja töökabinet. Kaks inspireerivat vaadet – aknast välja ja raamatutele.

Teadlase dilemma on niisiis mitte selles, et olla või mitte olla, vaid selles kas uskuda või mitte uskuda. Aga mitte uskuda oma usku, kahelda, tähendab tegelikult ühtainust asja – olla aus ja vastutustundlik oma elus ja töös.

Nii lihtne ja ilus see ongi – see teaduslik mõtteviis. Kui tore oleks, kui selline aus ja vastutustundlik mõtteviis valitseks igal pool meie elus, kõikidel elualadel.

Tahaksin kasutada seda võimalust siin veelkord tänada neid, kes minu jalajälge, väikest ja mitte väga sügavat, siiski märkasid.

Margus Kruus: Lühike vaade tulevikku

Instituudi direktor Margus Kruus

Praegu (s.o. detsember 2016) on täies hoos ülikooli aktiivne reorganiseerimine rektor **Jaak Aaviksoo** juhtimisel. Muutub meie ülikooli struktuur, juhtimine, õppekavad, ülikooli toimimispõhimõtted. TTÜ kuratoorium kinnitas 18. veebruaril 2016 ülikooli arengukava aastani 2020, mis seab eesmärgiks rahvusvaheliselt silmapaistvaks tehnika- ja tehnoloogiaülikooliks kasvamise. Selle eesmärgi saavutamiseks peab ülikool muutuma senisest paindlikumaks ja dünaamilisemaks. 2017. aasta 1. jaanuarist läheb ülikool üle lihtsamale ja läbipaistvamale juhtimisstruktuurile: praeguse kaheksa teaduskonna ja 12 teadusasutuse asemel koonduvad tulevased, oluliselt suuremad instituudid, nelja õppe- ja teadusvaldkonda. Arvutitehnika instituudi kasvandikud osalevad aktiivselt koos paljude teistega selles tegevuses: **Gert Jervan** ülikooli ja teaduskondade tasemel, Margus Kruus eelkõige teaduskonna ja instituudi siseseselt, aga uute õppekavade kontekstis ka ülikooli tasandil, juhtides endiselt ülikooli õppekomisjoni.

Millised suuremad struktuursed muutused meie ülikooli siis ees ootavad 2017. aasta alguses? Kõigepealt lühidalt uutest teaduskondadest. Infotehnoloogia teaduskond (asutajadekaan **Gert Jervan**) on üks ülikooli uue struktuuri viiest olulisest „alustalast" koos inseneriteaduskonna (asutajadekaan **Arvo Oorn**), loodusteaduskonna (asutajadekaan **Tõnis Kanger**) ja majandusteaduskonna (asutajadekaan **Enn Listra**) ning Eesti Mereakadeemiaga (praegune direktor **Roomet Leiger**). IT teaduskonna sisestruktuur

on samuti muutumas – senise teaduskonnaga liituvad Tehnomeedikum ja väga suure tõenäosusega ka Eesti Infotehnoloogia kolledž. Uue teaduskonna struktuur ja vastavate üksuste juhid on kinnitatud rektori 6. oktoobri 2016 käskkirjaga järgnevalt: arvutisüsteemide instituut (asutajadirektor **Margus Kruus**); tarkvarateaduse instituut (asutajadirektor **Jaan Penjam**); tervisetehnoloogiate instituut (asutajadirektor **Kalju Meigas**); Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut (asutajadirektor **Toomas Rang**) ja IT Kolledž (praegune rektor **Peeter Lorents**). Viimasena mainitud IT Kolledži liitumine teaduskonnaga toob kaasa kogu esimese astme (s.o. bakalaureuseõppe) tõsise reformi ja ümbermõtestamise.

Nagu eelnevast võib välja lugeda muutub ka meie instituudi nimi – arvutitehnika instituudist saab arvutisüsteemide instituut. See pole pelgalt nime muutus – meie instituudiga liituvad biorobootika keskus (praegune juhataja **Maarja Kruusmaa**) ja suur osa pika ja väärika ajalooga automaatika instituudist (praegune direktor **Boris Gordon**). Need on struktuuriüksused, kellega meil on palju ühist ja kellega koostööst võib loota uue sünergia tekkimist nii teaduslikus uurimistöös kui ka õppetegevuse valdkonnas. Mis sellest kõigest konkreetselt saab – seda näitab juba aeg ja selle üle võime otsustada lähiaastatel… Kuid loodetavasti aitab uus struktuur oluliselt kaasa, et luua veel paremad tingimused nii senise eduka infotehnoloogia teaduskonna kui ka meie instituudi eduloo jätkumiseks.

Gert Jervan: TTÜ struktuurireformist

Dekaan Gert Jervan

Kuigi Tallinna Tehnikaülikool on viimastel aastakümnetel teinud läbi muljet avaldava arengu, siis 2015. aastal toimunud juhtkonnavahetus lõi eeldused radikaalsemateks muudatusteks. Korrastamist vajas ülikooli struktuur ning välised ootused ülikoolile olid viimastel aastakümnetel oluliselt muutunud.

Ülikooli uuendamise aluseks sai TTÜ arengukava aastateks 2016-2020, mis positsioneeris TTÜ rahvusvaheliselt silmapaistva tehnika- ja tehnoloogiaülikoolina, kus kohtuvad motiveeritud töötajad ja ambitsioonikad üliõpilased.

Veel paarkümmend aastat tagasi oli ülikooli peamine ülesanne kõrghariduse andmine. Tänapäevases teadusülikoolis peavad aga kolm tegevusvaldkonda – õppetöö, teadustöö, ühiskonna teenimine – olema tasakaalustatud ja teineteist toetama. Seetõttu on vajalik muuta ka ülikooli sisemist toimimismudelit ning luua struktuur ja reeglistik, kus kõik need kolm tegevust teineteist võimendavad. Õppetöö peab põhinema teadustööl ning arvestama sisendina ühiskonna (ettevõtete, riigi) ootusi. Teadustöö peab toetama järelkasvu kasvatamist ning jõudma ettevõtlusesse. Ning ülikool tervikuna peab olema nii ettevõtluse kui ka riigi arengu veduriks.

Struktuurireformi üheks eesmärgiks sai ülikooli struktuuri lihtsustamine ning kriitilise massi kasvatamine. Vähenes nii teaduskondade kui ka instituutide arv. Instituutide töötajate arvu suurenemise tulemusel on tagatud instituutide parem elujõulisus ning kriitilise

massi olemasolu hüppeliselt muutuva rahastuse tingimustes. Samas on see eemaldumine senisest õppetooli-põhisest mudelist ning keskse rolli saavad endale teadusgrupid. Tähtsustub teadusgrupi juhi positsioon, kes koondab enda ümber teisi teadlasi ja doktorante, tagab teadusgrupile rahastuse ning võtab vastutuse nii järelkasvu, kvaliteedi kui ka tulemuslikkuse osas. Viiakse sisse tenuuri mõiste ning luuakse tenuuril põhinev karjäärimudel. Oluliselt on muutumas ka õppeprogrammide haldamine ja juhtimine. Oluliselt suurema vastutuse saavad programmijuhid ning õppetöö kvaliteedi tagamine peab muutuma senisest oluliselt tähtsamaks.

Senise struktuuri analüüsimiseks ja tulevase IT valdkonna teaduskonna loomiseks moodustati töörühm, kuhu kuulus 9 liiget erinevatest struktuuriüksustest. Mitme kuu pikkuse töö tulemusel jõuti ettepanekuni luua uus IT teaduskond senise IT teaduskonna, Tehnomeedikumi ning Küberneetika Instituudi IT teadlaste baasil ning koondada tegevused nelja instituuti: tarkvarateadused, arvutisüsteemid, elektroonika ja tervishoiutehnoloogiad. Asutajadirektoriteks nõustusid hakkama vastavalt Jaan Penjam, Margus Kruus, Toomas Rang ja Kalju Meigas. Komisjoni töö suurimaks tulemuseks ei olnud aga uue struktuuri loomine.

Peamiseks tulemuseks sai uue teaduskonna toimimismudeli väljatöötamine, seniste kitsaskohtade analüüs ning selgemate rollide kujundamine. On põhjendatud ootus, et uued instituudid ja teaduskond tervikuna suudavad teha paremaid strateegilisi otsuseid, viia ellu dünaamilisi muutusi ning muutuda taas Eesti IT teaduse ja õppe lipulaevaks.

Muudatustele lisandus aga täiendav dimensioon, millega tuli tegeleda samaagselt, kuid ülejäänud arengutest sõltumatult. Selleks on IT Kolledži liitumine TTÜ-ga. Tegemist on pikaajalise protsessiga, mille ümber on juureldud aastaid, kuni 2015. aasta suvel tegi TTÜ ametliku ettepaneku asuda pidama ühinemisläbirääkimisi. Sellel oli mitmeid põhjuseid. Eesti IT hariduse peamised väljakutsed (sõltumata kõrgkoolist) on lõpetajate vähesus, kvaliteetsete õppejõudude nappus, demograafilisest situatsioonist tulenev tudengite arvu vähenemine, ressursside piiratus kõrgharidusmaastikul ning aktiivne tööjõuturg.

Probleemide lahendamiseks on vajalik vähendada dubleerimist, suurendada kvaliteetsete õppejõudude ja tudengite kriitilist massi ning rakendada parimaid praktikaid õppetöö parendamiseks ja lõpetamiste efektiivsuse kasvuks. Samuti on oluline suurendada täiend- ja ümberõppe osakaalu.

Oluliste faktoritena tuleb arvestada riigi poolt tehtavat investeeringut õppekohtadesse ning sellest saadavat tulemit (lõpetajate arv, selleks kulunud raha ning lõpetajate kvalifikatsioon), eriti situatsioonis, kus kõrgharidussüsteemis puudub erarahastus. Esimese astme kõrgharidus on oma olemuselt massidele suunatud haridus: on vaja koolitada suurel hulgal noori, kiirelt ja efektiivselt. Eesti kontekstis senine 3+2 mudel (mis eeldab kogu 5 aastase õppetsükli läbimist) enam ei tööta. Seoses sotsiaalmajanduslike probleemide ning tööturu võimalustega siirduvad enamus esimese astme kõrghariduse lõpetajatest tööturule. Mistõttu senine bakalauruseõppe mudel nõudis põhjalikku ümbermõtestamist.

Seetõttu pidasime oluliseks alustada ühtse IKT valdkonna esimese astme õppesüsteemi väljatöötamist, mis ühildaks endas senise rakenduskõrghariduse ja bakalauruseõppe paremad küljed. Eesmärgiks ei olnud olemasolevate õppekavade mehaaniline liitmine või õppeasutuste paberil ühendamine. Uus esimese astme kõrgharidusmudel peab võimaldama tudengitele teha ühtse süsteemi raames valikuid akadeemilisema ja rakenduslikuma

suunitluse vahel. Õpingute käigus peab olema võimalus oma valikuid paindlikult muuta ning õpingute alustamisel tehtud valik ei tohi saada takistuseks omale sobiva hariduse kujundamisel. Selle saavutamiseks oli meie vaates mõistlik konsolideerida praegused TTÜ IT teaduskonna ja IT Kolledži õppekavad ühtsesse süsteemi, kus eksisteerivad koos mõlema suunitlusega õppekavad, mis samas omaksid ka olulist ühisosa. Tulemuseks peab kindlasti olema rakenduslike, tööturule orienteeritud lõpetajate arvu ja osakaalu kasvatamine ning akadeemilisemate, koheselt edasi õppimist planeerivate tudengite senisest kõrgem kvaliteet. Õppekavade ühtse süsteemi eesmärgiks on nii Eesti IKT sektori tänaste tööjõuvajaduste rahuldamine (kvantiteet, sest eksisteerib tugev ettevõtete poolne pull) kui ka aidata sektorit liikumisel oluliselt kõrgema lisandväärtuse poole (kvaliteet, sest on olemas tõsine ülikoolidest tulenev akadeemiline push).

Ootamatult osutus kogu läbirääkimiste protsess äärmiselt keeruliseks. Ennekõike ülikoolidest väljaspool olevate tegurite ja mõjutuste tõttu. Kuid peale Peeter Lorentsi määramist IT Kolledži rektori kt.-ks käivitus ühinemisprotsessi sisuline pool ning on leitud inimesed, kes suudavad õppekavaarendusse panustada, mõista erinevate maailmate (praktiline ja akadeemiline maailm) erinevusi aga samas jagavad ühiseid eesmärke. Kuigi ametlikud kokkulepped on viibinud on peamine saavutatud – on olemas ühine visioon IT kõrghariduse esimese astme õppest, nagu see võiks välja näha kahe senise kooli ühisel tegutsemisel. On olemas uus õppekavade portfell ja on olemas reaalne lootus, et 2017. aasta sügisel käivitub vastuvõtt uutel kavadel.

Struktuurireform ei ole kindlasti lihtne ülesanne. Ülikooli uus toimimismudel käivitub aegamisi ning eeldatavasti saame selle tulemusi mõõtma hakata alles aastal 2020 ja hiljem. Ülikoolid on teadupärast nagu suured naftatankerid – võtab aega ja nõuab palju energiat. Aga on oluline, et me teaksime, kuhu poole pöörata. Ma olen kindel, et tulevikus on TTÜ ja uus IT teaduskond veelgi tugevamad, kui nad seda täna on.

Tänusõnad

Seda raamatut poleks sündinud, kui mul poleks olnud õnne peaaegu kogu seda „kadunud aega“, pikka poolsajandit, millest raamatus juttu on olnud, ise läbi elada – õppida, kasvada ja areneda oma kolleegide ning sõprade keskel Alma Materi katuse all. Mu tänu kuulubki eelkõige Alma Materile. Kuid Alma Mater pole ju muud kui inimesed meie ümber – meie õpetajad, kolleegid ja sõbrad, meile teekaaslased. Neile võlgnengi oma tänu. Selle eest, mida neilt õppinud olen ja toe eest, mida olen kogeda saanud elu keerulisematel juhtudel. Osale võlgnen tänu lihtsalt olemasolu eest – need on eelkõige olnud mu õpilased.

Võlgnen tänu oma mentoritele ülikoolipäevilt – meist lahkunud Hanno Sillamaale, Wilhelm Krachtile, oma rühmajuhendajale Heino Rossile… Neid on liiga palju, et üles lugeda, kellelt olen midagi saanud, vaimule ja hingele…

Aga andmise rõõm on suurem kui saamise rõõm. Seetõttu tulebki mind kadestada, et olen suure osa oma hinge sellesse raamatusse saanud panna, veelkord läbi elades meie tegusid ja edulugusid ning kahetsedes tegemata jäänut… Aga kui kõik oleks tehtud, kaoks ju edasi elamisel mõte. Seda raamatut on kaua kirjutatud. Harri Mägi oli see, kes alguse tegi ja kes väga palju päevi ülikooli arhiivides veetis ning püüdis nii täpselt kui võimalik meie instituudi algusaegu taastada. Harri on olnud arvutite riistvara õpetamise juures selle hällist peale ja Harri oli see, kes Eestis esimese arvuti ehitas. Koos Harriga on kahasse kirjutatud raamatu esimene peatükk, kuid tema abi ka muude peatükkide kirjutamisel on toonud sellesse raamatusse palju lisaväärtust.

Tänan kõiki, kes selle raamatu kirjutamisele kaasa elasid ja toorest käsikirja lugesid ning selles nii vastuolusid kui näpuvigu vähendada aitasid. Eriline tänu siinkohal Margus Kruusile – instituudi direktorile, kes hoole ja tähelepanuga raamatu sünnile kaasa aitas. Fantastilise abi andis mu tütar Tiina kõiges, mis puudutab materjali vormimist ja raamatu trükivalmis saamist. Siirad tänud käsikirja keelelise silumise eest Meemele, Margusele, Harrile, Tiinale, oma abikaasale Tiiule. Tänud kõigile, kes minuga oma fotoarhiive jagasid ja muidugi Tiinale ja Mark Arturile, kes fotodel „värvid“ paika panid ja pildid raamatusse „kleepisid“.

Oleme astumas reformi saatel oma kolmandasse veerandsajandisse olukorras, kus ümbritsev elu on murranguliselt muutumas ja paljusid arusaamu, ka teadusest ja õpetamisest, tuleb ümber hinnata. Niisugune hetk nõuab sügavat ja terviklikku eneseanalüüsi õigete otsuste tegemisel, kuidas edasi minna. Loodan väga, et see raamat oma globaalse haardega seni tehtust aitab niisugusele analüüsile kaasa, võimaldades paremini mõista, kes me oleme ja mida me suudame.

Lõpetades nüüd seda raamatut sooviksin omalt poolt meile kõigile tarkust ja õnne uute sihtide seadmisel ja et suudaksime oma reformitud struktuuri parima sisuga täita ning et edu saadaks meid jätkuvalt.

Raimund-Johannes Ubar

LISAD

Valikuline elektronarvutite kateedri ja arvutitehnika instituudi kronoloogia 1966 - 2017

1960 Ehitati esimene arvuti Eestis – M-3. Ehitusmeheks oli ka ATI emeriitdotsent Harri Mägi.

1961 Alustati arvutiõpetamist TPI-s. Tunnitasuliseks lektoriks oli dots. Andri Ariste.

1966 Loodi instituudi eelkäija – informatsioonitehnika kateeder, mille juhatajaks sai Ustus Agur. Kateeder hakkas profileerima eriala "Informatsiooni töötluse ja väljastuse automatiseerimine ja mehhaniseerimine" (0640). Samal aastal alustati vastuvõttu ka erialale "Elektronarvutid" (0608), mida hakkas profileerima automaatika ja telemehaanika kateeder.

1967 TPI sai oma esimese arvuti Minsk-22. Asutati TPI arvutuskeskus.

1969 Eriala 0640 õpperühmad viidi üle erialale 0608, eriala 0608 profileerimine aga läks automaatika kateedrilt üle informatsioonitehnika kateedrile.

1970 Sisustati arvutusseadmete arvutustehnika eriprobleemide õppelaborid.

1971 Lõpetas elektronarvutite eriala esimene lend – 33 diplomandi. Ilmusid esimesed kateedri õppejõudude poolt koostatud erialased õppemetoodilised materjalid. Esimeste kateedri õppejõududena kaitsesid tehnikateaduste kandidaadi kraadi Harri Mägi (Leningradis) ja Raimund Ubar (Moskvas).

1972 Kateeder sai sisule vastava nime: elektronarvutite kateeder. Sisustati arvutite perifeerseadmete õppelabor. Algas kaks aastakümmet kestnud koostöö TUPTI (hiljem EKTA) teadlastega arvutite diagnostika valdkonnas (sõlmiti esimene leping – arvuti STEM-2 mikrodiagnostika väljatöötamiseks).

1973 Soetati esimesed arvutid Mir ja Iskra. Alustati kateedri teadusseminaride korraldamist.

1975 Esimene diplomitöö (Virve Vaher) alternatiivsete graafide e. binaarsete otsustusdiagrammide teemal, millest sai aastateks üks kesksemaid uurimisteemasid kateedris.

1976 Kateedrit asus juhtima Andres Keevallik.

1977 Sõlmiti esimene rahvusvaheline õppe- ja teadusalase koostöö leping (Dresdeni Insenerikõrgkooliga).

1978 Arvutielementide ja perifeerseadmete õppelaborid said uue kaasaegse tehnilise sisustuse.

1981 Kateeder korraldas automaatide teooria alase üleliidulise seminari ja VMN-i liikmesmaade rahvusvahelise teaduslik-koordinatsioonilise nõupidamise. Esimesena ATI kasvandike seas kaitses Peeter Kitsnik kandidaadikraadi Küberneetika Instituudi nõukogu ees.

1982 Koostöös Taganrogi Raadiotehnika Instituudiga valmis kateedri juures õppe-otstarbeline mikroarvuti УЭВМ.

1983 Algas vastuvõtt erialasesse aspirantuuri. TA Küberneetika Instituudi juures asutati automaatikateaduskonna küberneetika baaskateeder, mille õppejõud hakkasid lugema osa elektronarvutite kateedri õppeaineid. Arvo Toomsalu tunnistati TPI aasta parimaks ratsionaliseerijaks.

1984 Üleliidulisel üliõpilaste teadustööde konkursil said Peeter Ellervee esimese ja Aleksander Maksimenkov kolmanda koha. Kateeder korraldas koostöös EKTA-ga 10-nda Üleliidulise diagnostika juubelikonverentsi. Kateeder tunnistati TPI parimaks allasutuseks ratsionaliseerimistegevuse alal (parimaks ratsionaliseerijaks Arvo Toomsalu). Arvutustehnika populariseerimiseks kooliõpilaste hulgas asutati kateedri juures õpilasring, selle kõrgperioodil oli liikmeid 120.

1985 Sai valmis TTÜ (TPI) arvutuskeskus, (praegune Mektory) aadressil Raja 15, kuhu kateeder sai oma käsutusse osa kolmandast korrusest (lisaks kateedri senistele ruumidele peamaja II korpuses).Loodi mikroprotsessorsüsteemide õppelabor trenažööride "Mikrolab K580" baasil.

1986 Õppe- ja teadustöösse rakendati mikroprotsessorsüsteemide arendussüsteem Philips PMDS-II, mille "südameks" oli nelja terminaliga UNIX-i tööjaam ja mis võimaldas esmakordselt mitme inimese samaaegset töötamist. Kaitsti esimene doktoritöö automaatikateaduskonnas N Liidu ajal (Raimund Ubar). Kateedri laboriruumid sisustati miniarvutil SM-4 ja mikroarvutitel SM-1800 ja SM-1420 baseeruva projekteerimissüsteemiga. Kateeder sai kaks hõbemedalit N Liidu Rahvamajandussaavutuste Näituselt.

1987 Kateedrit asus juhtima Raimund Ubar. Loodi digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika laboratoorium, mida juhatama asus Andres Keevallik. Üleliidulisel olümpiaadil „Üliõpilane ja teaduslik-tehniline progress" sai Jüri Udre eripreemia parima assembler-keeles programmi eest.

1988 Kateedri õppejõud Raimund Ubar sai Barkhauseni õppetooli hoidjaks Dresdeni Tehnikaülikooli juures.

1992 Seoses ülikooli struktuurse reorganiseerimisega moodustati elektronarvutite kateedri baasil arvutitehnika instituut (ATI). Instituudi direktoriks sai Andres Keevallik. Instituudi koosseisus loodi kolm õppetooli: arvutitehnika ja diagnostika (juh. prof. Raimund Ubar), süsteemitarkvara (juh. aseprof. Paul Leis), digitaaltehnika (juh. prof. Andres Keevallik). Käivitati ATI esimene rahvusvaheline projekt – „Rootsi-Eesti ühisprojekt ESTPID".

1993 Esimene europrojekt instituudis – TEMPUS JEP. PLD (Programmable Logic Design) labori ja Elektroonika Kompetentsuskeskuse rajamine (teaduslik juhendaja professor Raimund Ubar). Liituti Euroopa Liidu assotsiatsiooniga EUROCHIP. Mikroprotsessor- ja mikrokontrollertehnika õppelaborite põhjalik kaasajastamine. Raimund Ubar valiti Eesti Teaduste Akadeemia akadeemikuks.

1994 Uue 21 töökohaga 486 DX/2 protsessoritel baseeruva arvutiklassi loomine. Esimene Raamprogrammi projekt instituudis ATSEC.

1995 Algas üliõpilaste vastuvõtt informatsioonitehnika õppevaldkonda arvuti- ja süsteemitehnika õppesuuna bakalaureuseõppesse. Liituti Euroopa Liidu assotsiatsiooniga EUROPRACTICE.

1996 Arvutitehnika, informaatika ning raadio- ja sidetehnika instituudid moodustasid TTÜ-s uue teaduskonna – infotehnika teaduskonna. Esimene instituudi poolt korraldatud rahvusvaheline teaduslik konverents Tallinnas: *Field-Programmable Logic* 1996 (FPL'96), peakorraldajaks oli Andres Keevallik. Instituudi direktoriks valiti dotsent Margus Kruus. Jüri Põldre projekteeris esimese ülisuure integraalskeemi Eestis – krüptoprotsessori. Darmstadti Tehnikaülikooli professor Manfred Glesner (Saksamaa) valiti TTÜ audoktoriks.

1997 Instituut „kolis kokku": TTÜ peamaja II korpuses paiknev instituudi osa kolis arvutuskeskuse hoonesse (Raja 15), mida hilisemalt hakati nimetama IT majaks ja millest tänaseks on saanud TTÜ innovatsiooni- ja ettevõtluskeskuse Mektory hoone. Koostati uued õppekavad arvuti- ja süsteemitehnika erialal, alustati diplomiõpet arvutisüsteemide erialal. Instituudis kaitsti esimene „uue aja" doktorikraad (Kalle Tammemäe). Loodi 21 töökohaga multimeedia klass arvutite PC Pentium 200 baasil.

1998 Algas sihtfinantseeritava teadusteema "Digitaalsüsteemide projekteerimise ja diagnostika alased uuringud, rakendused ja väljatöötlused" täitmine (1998-2002, teema juht Raimund Ubar), mis sai hiljem jätku aastatel 2003-2007 ("Digitaalsüsteemide disain ja test").

1999 Raimund Ubarile määrati Eesti Vabariigi 1999. aasta teaduspreemia tehnikateaduste alal.

2000 Andres Keevallik valiti Tallinna Tehnikaülikooli rektoriks, Kalle Tammemäe valiti Eesti Infotehnoloogia Kolledži rektoriks.

2001 Avati SUN arvutite klass (Sun Blade 100, hiljem ka Sun Blade 150, kokku 27 töökohta). Raimund Ubar sai TTÜ teenete medali *Mente et Manu* Nr.2.

2002 Reformiti kõiki arvuti- ja süsteemitehnika eriala õppekavasid, minnes üle 3+2+4 õppesüsteemile (3 aastat bakalaureuseõpet, 2 aastat magistriõpet, 4 aastat doktoriõpet). Raimund Ubar sai Valgetähe III klassi teenetemärgi ja valiti kolmeks aastaks Eesti Teaduste Akadeemia uurija-professori ametikohale.

2003 Andres Keevallik sai Valgetähe III klassi teenetemärgi Raimund Ubar valiti Harkovi Rahvusliku Raadiotehnika Ülikooli auprofessoriks.

2004 Jaan Raik sai Vabariigi presidendi kultuurirahastu noore teadlase preemia.

2005 Instituut korraldas Tallinnas kõrgetasemelise rahvusvahelise konverentsi – „10. IEEE EuroopaTestisümpoosiumi". Algas Arvutisüsteemide sünteesi ja analüüsi baaslabori ASSA loomine, mille raames uuendati kuni 2008.aastani instituudi teadusaparatuuri ja infrastruktuuri umbes 8 miljoni krooni eest, samuti renoveeriti oluline osa instituudi ruumidest. Andres Keevallik sai TTÜ teenete medali *Mente et Manu* nr. 25. Asutati instituudi *spin-off* firma Testonica Lab.

2006 Algas Euroopa 6. raamprogrammi raames projekti VERTIGO "Verification and Valitation of Embedded System Design Workbensh" täitmine (2006-2008, teema juht vanemteadur Jaan Raik).

2007 Jaan Raik sai Eesti Teaduste Akadeemia Bernhard Schmidti nimelise preemia.

2008 Ühena seitsemest Eesti teaduse tippkeskusest alustas tööd Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE (2008-2015), mille teaduslikuks juhiks sai Raimund Ubar ja kus lisaks arvutitehnika instituudile osalesid Thomas Johann Seebeki elektroonikainstituut ja TTÜTehnomeedikum. Algas uue sihtfinantseeritava teadusteema "Töökindlate sardsüsteemide disain" täitmine (2008-2013, teema juht Raimund Ubar). Korraldati Tallinnas neli rahvusvahelist konverentsi: „Nordic Test Forum 2008", „26th Norchip Conference", „19th EAEEIE Annual Conference" ja „8th International Baltic Conference on Databases and Information Systems". Kalle Tammemäe sai Valgetähe IV klassi teenetemärgi. Gert Jervan sai TTÜ aasta noorteadlase autasu.

2009 Algas Euroopa 7. raamprogrammi raames projekti CREDES "Centre of research excellence in dependable embedded systems" täitmine (2009-2012, teema juht vanemteadur Gert Jervan). Algas Euroopa 7. raamprogrammi raames projekti DIAMOND "Centre of research excellence in dependable embedded systems" täitmine (2009-2012, teema juht vanemteadur Jaan Raik). Toimus õppekavade üleviimine ECTS süsteemile, kõik õppekavad läbisid põhjaliku uuenduse ning bakalaureuse- ja magistrikavad said uue nime "Arvutisüsteemid".

2010 Andres Keevallik valiti teist korda Tallinna Tehnikaülikooli rektoriks Darmstadti Tehnikaülikooli teadur Thomas Hollstein (Saksamaa) valiti DoRa programmi raames ATI sardsüsteemide professoriks.

2011 Maksim Jenihhin sai firmalt IBM autasu „Faculty Award".

2012 Instituudis kaitsti aasta jooksul rekordiline arv (7) doktoritöid. Tarmo Robal sai I preemia 2012. a. üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil loodusteaduste ja tehnika valdkonnas doktoriõppe astmes (parim doktoritöö Eestis 2012. aastal).

2013 Arvutitehnika Instituut kolis Raja tänavalt Akadeemia teele 15A, mis sai ühtlasi ka TTÜ uueks Infotehnoloogia majaks. Gert Jervan valiti infotehnoloogia teaduskonna dekaaniks. Raimund Ubar sai Eesti TA Nikolai Alumäe medali informaatika ja tehnikateaduste alal.

2014 Algas institutsionaalse uurimistoetusega teadusteema IUT19-1 "Usaldusväärsed mitmetuumalised arvutisüsteemid" täitmine (2014-2019, teema juht prof. Jaan Raik). Algas Euroopa 7. raamprogrammi projekti BASTION "Board and SoC Test Instrumentation for Ageing and No-Failure-Found " täitmine (2014-2016, koordineeriv firma Testonica LAB, peakoordinaator Artur Jutman). ATI poolne projektijuht prof. Jaan Raik. Korraldati kaks konverentsi Tallinnas: „10th Workshop on Microelectronics Education (EWME14)" ja „11th Baltic Conference on Databases and Information Systems (DB&IS14)". Osaleti aktiivselt konverentsi "14th Biennial Baltic Electronic Conference (BEC14)" korraldamisel. TTÜ audoktor Manfred Glesner (Saksamaa) sai Maarjamaa Risti IV klassi ordeni. Ahto Kalja sai Valgetähe IV klassi teenetemärgi ja valiti Läti Ülikooli audoktoriks.

2015 Algas Euroopa HORIZON 2020 programmi raames projekti IMMORTAL "Centre of research excellence in dependable embedded systems" täitmine (2015-2018, teema juht prof. Jaan Raik). Aveiro Ülikooli professor Valeri Skljarov (Portugal) valiti TTÜ audoktoriks.

2016 Algas kahe uue HORIZON 2020 projekti TUTORIAL "Twinning to Strengthen Tallinn University of Technology's Research and Innovation Capacity in Nanoelectronics Based Dependable Cyber-Physical Systems " (2016-2018, teema juht prof. Jaan Raik) ja RESCUE „Interdependent Challenges of Reliability, Quality and Security in Nanoelectronic Systems Design" (2017-2021, teema juht Maksim Jenihhin) täitmine. Korraldati konverents „11th International Symposium on Reconfigurable Communication-centric Systems-on-Chip (ReCoSoc16)". Osaleti aktiivselt konverentsi "14th Biennial Baltic Electronic Conference (BEC14)" korraldamisel. Jaan Raik sai Valgetähe IV klassi teenetemärgi. Raimund Ubar sai riikliku elutööpreemia. 31.detsember 2016. Arvutitehnika instituudis on läbi aegade kaitstud üle 1500 lõputöö, s.h. üle 30 doktoritöö. ATI-s töötab 45 töötajat, s.h. 6 professorit ja külalisprofessorit. Instituut paikneb kompaktselt TTÜ IT maja 5.korrusel. Instituudi aastane eelarve (2016) on umbes 1,5 Meuri.

2017 1. jaanuar 2017 Arvutitehnika instituut koos Biorobootika keskusega ning suurema osaga automaatikainstituudist moodustavad Arvutisüsteemide instituudi, ühe neljast uuest instituudist TTÜ struktuurireformi käigus uuenenud Infotehnoloogia teaduskonna koosseisus.

Kateedri ja instituudis töötajad aastatel 1966 - 2016

Järgnevas nimekirjas on näidatud töötaja tööle asumise ja töölt lahkumise aasta ning loetletud ametid, millistes ta on kateedris ja instituudis töötanud või töötab detsembris 2016.

AADLI, Merle	2016 -	projektijuht
AARNA, Margit	2003 -	teadur, assistent
AGUR, Ustus	1966 - 1978	dotsent, kateedri juhataja
ALANGO, Villem	1984 - 1990	vaneminsener, labori juhataja
ALEKSEJEV, Igor	2008 -	nooremteadur, teadur
ALLIKMÄE, Andres	1976 - 1982	vanemlaborant, insener, labori juhataja
ALTMA, Tiit	1971 - 1975	insener, vaneminsener, assistent
AMIN, Mohsin	2011 - 2012	teadur
ARHIPOV, Anton	2007 - 2008	teadur
ARISTE, Andri	1969 - 1970	dotsent
	1974 - 1984	dotsent
ARULAANE, Tõnu	1975 - 1979	vanemlaborant, vaneminsener, assistent, nooremteadur
AZAD, Payandeh Siavoosh	2014 -	nooremteadur
BERKMAN, Boris	1980 - 1991	vanemlaborant, vaneminsener, teadur, vanemõpetaja
BERKMAN, Aviva	1986	vanemlaborant
BRIK, Marina	1994 -	insener, teadur, assistant
DEVADZE, Sergei	2001 -	teadur
DUŠINA, Jelena	1986 - 1991	laborant, insener
ELEVANT, Kaie	1986 - 2006	vanemlaborant, insener, vaneminsener, sekretär
ELLERVEE, Peeter	1984 - 1993	insener, vaneminsener nooremteadur
	2000 -	teadur, dotsent, professor
EVARTSON, Teet	1974 -	laborant, insener, vaneminsener, nooremteadur, assistent, vanemõpetaja, dotsent
FLEIDERFIŠ, Boris	1986 - 1989	laborant, õppemeister
FOMINA, Jelena	2004 - 2006	teadur
GERASIMTŠUK, Valeri	1970 - 1974	laborant
	1985 - 1992	nooremteadur, teadur
GOREV, Maksim	2008 -	insener, nooremteadur
GOVIND, Vineeth	2012 - 2016	teadur
GRIGORJEVA, Ksenja	1972 - 2011	insener, vaneminsener, nooremteadur, assistent, vanemõpetaja, lektor
HARIHARAN, Ranganathan	2014 -	nooremteadur
HEINSAR, Risto	2014 -	tehnik
HOLLSTEIN; Thoma	2010 -	professor, külalisprofessor
ILJASAEVA, Jelena	1987 - 1988	insener
IVASK, Eero	1994 - 2012	teadur

JAKOBSON, Gabriel	1976 - 1979	vanemõpetaja, dotsent
JANSON, Karl	2015 -	nooremteadur
JENIHHIN, Maksim	2006 -	teadur, vanemteadur
JERVAN, Gert	2005 -	vanemteadur, professor, infotehnoloogia teaduskonna dekaan
JUGANDI, Tüüve	1979 - 1980	vaneminsener, nooremteadur
JUTMAN, Artur	1999 -	teadur, vanemteadur
JÄNES, Mart	1972 - 1983	assistent, vanemõpetaja
JÜRIMÄGI, Lembit	2008 -	assistent, lektor
JÜRIS, Aivar	1977 - 1984	vanemlaborant
KALJA, Ahto	1992 -	professor
KARPUTKIN, Anton	2012 - 2016	teadur
KAŠIROVA, Lilia	1988 - 1992	insener, vaneminsener
KAUR, Apneet	2016 -	nooremteadur
KEEL, Marve	1968 - 1975	vanemlaborant
KEEROJA, Jevgenia	1976 - 1979	laborant, insener
KEEVALLIK, Andres	1975 - 2000	vanemõpetaja, dotsent, kateedri juhataja, professor, instituudi direktor
	2015 - 2016	professor
KINKS, Hannes	2014 -	tehnik, nooremteadur
KITSNIK, Peeter	1972 - 1991	tehnik, vaneminsener, nooremteadur, assistent, dotsent
KLEIS, Raimond	1987 - 1992	masinaülem, vaneminsener
KONT, Toomas	1984 - 2007	vaneminsener, nooremteadur, assistent, vanemõpetaja, lektor
KOSTIN, Sergei	2007 -	insener, teadur
KRAAM, Ain	1979 - 1983	laborant, insener
	1994 - 2012	insener
KRONK, Aleksander	1971 - 1974	insener
KRUUS, Helena	2002 - 2014	assistent, teadur
KRUUS, Jelena	1993 - 2001	direktori abi
KRUUS, Margus	1979 -	vanemlaborant, insener, vaneminsener, vanemõpetaja, dotsent, instituudi direktor infotehnoloogia teaduskonna prodekaan
KRUUSMAA, Maarja	1995 - 1997	assistent
KULL, Juhan	1976 - 1984	vanemlaborant, insener, laborijuhataja
KUZNETSOVA, Galina	1979 - 1992	laborant, vanemlaborant
KURAKSA, Dmitri	1987 - 1991	laborant, insener,nooremteadur
KUUSKOR, Uno	1989 - 1992	masinaülem, õppemeister, laborijuhataja, arvutiülem
LAUSMAA, Tõnu	2003	teadur
LEIER, Mairo	2010 -	nooremteadur, teadur
LEIS, Paul	1975 -	nooremteadur, vanemteadur, vanemõpetaja, dotsent, aseprofessor, dotsent, lektor
LENSEN, Harri	1993 -	projektijuht, teadur, lektor
LEPMETS, Marion	2005 - 2009	teadur
LEPPIKSON, Viktor	1978 -	vanemõpetaja, dotsent, lektor
LIIVAR, Sven	1981 - 1987	õppemeister
LURJE, Hanno	2011 - 2011	insener

MAKSIMENKOV, Aleksander	1983 - 1992	laborant, vanemlaborant, insener, vaneminsener
MALÕŠEVA, Ilona	1987 - 1990	laborant
MAMERS, Tarmo	1987 - 1990	vanemtehnik, laborant, insener
MANDRE, Marek	1993 -	insener, vaneminsener
MARAN, Mihkel	1971 - 1977	insener, assistent, vanemõpetaja
MARANIK, Aarne	1968 - 1969	insener, assistent
MARKVARDT, Maili	2005 - 2006	assistent
MELNIKOV, Imre	1978 - 1990	vanemõpetaja
	1999 - 2001	dotsent
MIHHAILOV, Dmitri	2007 -	assistent, teadur
MUST, Jelena	1968 - 1972	laborant
MÄESALU, Eino	1969 - 1971	laborijuhataja
MÄGI, Harri	1968 -	vanemõpetaja, dotsent, projektijuht
NEMERŽITSKAJA, Jelena	1984 - 1992	laborant, insener
NIAZMAND, Behrad	2014 -	nooremteadur
NIKIFOROV, Deniss	2010 - 2012	insener
NURK, Eda	1980 - 1985	insener
NÕGISTO, Toomas	1987 - 1994	laborant, vanemtehnik, insener
OIT, Neeme	1976 - 1988	laborant, vanemlaborant, insener, vaneminsener
ORASSON, Elmet	1998 -	insener, teadur, assistent
OZOLIT, Ott-Madis	2011 - 2013	tehnik
PAOMETS, Priidu	1994 - 2006	teadur
PEREMEES, Järvi	1994 - 2012	insener, dispetšer
PESONEN, Vadim	2009 - 2013	nooremteadur, teadur
PIHT, Nigul	1971 - 1975	laborijuhataja,
	1985 - 1992	laborijuhataja
PLAKK, Mari	1980 - 1991	insener, vaneminsener, nooremteadur
PLAKS, Toomas	1971 - 1992	insener, vaneminsener, vanemõpetaja
PUKK, Vaike	1993 - 2013	laborant, dispetšer
PUTKARADZE, Tsotne	2016 -	nooremteadur
RAIK, Jaan	1994 -	vanemteadur, professor
RAUS, Gennadi	1969 - 1972	vanemlaborant, assistent
REBANE, Enn	1985 - 1992	insener, vaneminsener
REINSALU, Uljana	2005 -	assistent, teadur,
REMMER, Ville	1984 - 1986	laborant
RJABOV, Artjom	2015 -	nooremteadu
ROBAL, Tarmo	1998 -	teadur
RUBERG, Priit	2012 -	nooremteadur
SAAR, Heljo	1985 - 1993	vaneminsener, insener
	2006 -	sekretär
SAAREPERA, Märt	1988 - 1990	laborant, vanemlaborant, assistent
SALUM, Kaja	1977 - 1990	laborant, vanemlaborant, insener, vaneminsener
SHCHENOVA, Tatjana	2005 - 2006	teadur
SELG, Hardi	2013	tehnik
SIEM, Leonhard	1974 - 1992	laborant, insener, assistent, vanemõpetaja
SILLING, Merike	1981 - 1983	vaneminsener
SILLING, Küllike	1985	insener

SISASK, Vaike	1976 – 1991	laborant, vanemlaborant, asjur, vaneminsener, asjur
STEPANTŠIKOVA, Irina	1986 - 1992	juhtivinsener
STOROŽEV, Sergei	1985 - 1992	laborant, insener, assistent
SUDNITSÕN, Aleksander	1978 -	vaneminsener, vanemõpetaja, vanemteadur, dotsent
SUITSLEPP, Maret	1979 - 1983	vanemlaborant, insener
ZAUGAROV, Viktor	1988 - 1992	nooremteadur, teadur
SÜLD, Andres	1986 - 1989	vanemlaborant, insener, vaneminsener, assistent
TAJAMMUL, Muhhamad Adeel	2014 - 2015	nooremteadur
TAGEL, Mihkel	2007 - 2012	teadur
TALVIK, Kalle	1971 - 1975	assistent, vanemõpetaja
TAMM, Ilmar	1977 - 1981	insener, laborant, õppemeister
TAMMEMÄE, Kalle	1981 -	insener, assistant, nooremteadur, juhtivnsener, teadur, dotsent, külalisprofessor
TASUR, Paul	1971 - 1972	mehaanik
TOOME, Tõnis	1975 - 1986	laborant, vanemlaborant, vanemtehnik, nooremteadur
TOOMSALU, Arvo	1980 -	nooremteadur, juhtivinsener, vanemõpetaja, lektor
TŠERTOV, Anton	2007 -	insener, teadur
TŠEPUROV, Anton	2011- 2013	nooremteadur
TÜKSAMMEL, Ove	1987 - 1989	laborant
UBAR, Raimund	1971 -	assistent, vanemõpetaja, dotsent, kateedri juhataja, professor
VALLNER, Uuno	2011 - 2011	dotsent
VIIES, Vladimir	1985 -	vanemõpetaja, dotsent
VIILUP, Agu	1971 - 1984	insener, vaneminsener, assistent, vanemõpetaja

Pärast arvutite eriala avamist 1966. aastal tegeles kateeder arvutitealase koormuse puudumise tõttu esialgu ainult üldelektrotehnika õpetamisega. Sedamööda, kuidas alates 1968. aastast hakkas lisanduma erialane koormus, taandus elektrotehnika õpetamine järk-järgult tagaplaanile, kuni lõpetati 1972. aastal. Perioodil 1966 kuni 1972 tegelesid kateedris elektrotehnika õpetamisega dotsendid Viktor KESKÜLA, Vulf MEŽBURD ja Rein VÕRK, vanemõpetajad Igor DAVÕDOV ja Vahur MÄGI ning assistendid Ants KÕIV ja Nikolai PUOLAKAINEN.

Tehnikateaduste doktoritööd

Järgnevas nimekirjas on esitatud arvutitehnika instituudi töötajate poolt kaitstud ja/või nende poolt juhendatud doktoritööd aastatel 1997 kuni 2016.

1. Kontrollintensiivsete digitaalsüsteemide süntees / Control Intensive Digital System Synthesis
   autor: autor: Kalle Tammemäe, juhendaja: Andres Keevallik
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 1997
2. Hierarhiline testigenereerimine digitaalskeemidele otsustus diagrammide mudelil
   autor: Jaan Raik, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2001
3. Digitaalsüsteemide juhtseadmete testide genereerimise meetodite uurimine ja väljatöötamine
   Investigation and development of test generation methods for control part of digital systems
   autor: Marina Brik, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2002
4. Objektorienteeritud rakenduste integreerimine relatsiooniliste andmebaasidega
   On Integration of Object-oriented Applications with Relational Databases
   autor: Irina Astrova, juhendaja: Ahto Kalja
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2003
5. Valitud teemad digitaalsüsteemide modelleerimisest, verifitseerimisest ja testimisest
   Selected Issues of Modeling, Verification and Testing of Digital Systems
   autor: Artur Jutman, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2004
6. Lõplike automaatide madala energiatarbega süntees
   Low Power Finite State Machine Synthesis
   autor: Jelena Fomina, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2005
7. Vahendid ja tehnikad sündmuste logide analüüsiks / Tools and Techniques for Event Log Analysis
   autor: Risto Vaarandi, juhendaja: Ahto Kalja
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2005
8. Digitaalseadmete testimine veebipõhises keskkonnas / Digital Test in Web-based Environment
   autor: Eero Ivask, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2006
9. Baas-projektijuhtimistegevuste hindamine - uuring tarkvarasektoris.
   Autor: Marion Lepmets-Lepasaar, juhendajad Hannu Jaakkola, Ahto Kalja
   omistatud kraad: Tehnikateaduste doktor, kaitsmise aasta: 2007
10. Bioloogiliselt inspireeritud ülesandele orienteeritud allveeroboti disain
    A task-oriented design of a biologically inspired underwater robot
    autor: Madis Listak, juhendaja: Maarja Kruusmaa
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2007
11. Sisseehitatud hübriidne isetestimine. Meetodid ja vahendid analüüsiks ning optimeerimiseks
    Hybrid Built-in Self-Test. Methods and Tools for Analysis and Optimization of BIST
    autor: Elmet Orasson, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2007

12. Simuleerimisel põhinev riistvara verifitseerimine kõrge taseme otsustusdiagrammidel
    Simulation-Based Hardware Verification with High-Level Decision Diagrams
    autor: Maksim Jenihhin, juhendajad: Raimund Ubar ja Jaan Raik
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2008
13. Digitaalsüsteemide rikete simuleerimine
    Fault Simulation of Digital Systems
    autor: Sergei Devadze, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2009
14. Testitavusel põhinev välise testi ja diagnoosi meetod kahemõõtmelistele kiipvõrkudele
    DfT-based External Test and Diagnosis of Mesh-like Networks on Chips
    autor: Vineeth Govind, juhendaja: Jaan Raik
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2009
15. Hierarhilised testigenereerimise ja mittetestitavuse identifitseerimise meetodid sünkroonsetele järjestikskeemidele
    Hierarchical Test Pattern Generation and Untestability Identification Techniques for Synchronous Sequential Circuits
    autor: Anna Rannaste, juhendaja: Jaan Raik
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2010
16. Loogiliste konstruktsioonide avastamine eesti laste keelest
    Discovering Logical Constructs from Estonian Children Language
    autor: Erika Matsak, juhendaja: Margus Kruus
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2010
17. Sisseehitatud enesetestimise optimeerimine digitaalsüsteemides
    Optimization of Built-in Self-Test in Digital Systems
    autor: Helena Kruus, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2011
18. Formaalne verifitseerimine ja vigade parandamine kõrgtasemelistel otsustusdiagrammidel
    Formal Verification and Error Correction on High Level Decision Diagrams
    autor: Anton Karputkin, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar, Jaan Raik, Mati Tombak
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2012
19. Isediagnoosivad digitaalsüsteemid
    Self-Diagnosis on Digital Systems
    autor: Sergei Kostin, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2012
20. Kiipvõrkudel põhinevate ajakriitiliste ja töökindlate süsteemide kõrgtaseme disain
    System-Level Design of Timing-Sensitive Network-on-Chip Based Dependable Systems
    autor: Mihkel Tagel, juhendaja: Gert Jervan
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2012
21. Kitsenduste lahendamisel baseeruv hierarhiline testigenereerimine sünkroonsetele järjestikskeemidele
    Constraints Solving Based Hierarchical Test Generation for Synchronous Sequential Circuits
    autor: Taavi Viilukas, juhendaja: Jaan Raik
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2012
22. Rekursiivsete sortimisalgoritmide riistvaraline realiseerimine kasutades puulaadseid struktuure ja HFSM mudeleid
    Hardware Implementation of Recursive Sorting Algorithms Using Tree-like Structures and HFSM Models
    autor: Dmitri Mihhailov, juhendaja: dots. Aleksandr Sudnitsõn, prof. Valeri Sklyarov
    omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2012

23. Süsteemide modelleerimine protsessorikesksete testprogrammide sünteesi automatiseerimiseks
System Modeling for Processor-Centric Test Automation
autor: Anton Tšertov, juhendaja: prof. Raimund Ubar, vanemteadur Artur jutman
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2012
24. Veebikasutajate käitumise analüüs ja soovitused adaptiivse veebi loomiseks
Towards Adaptive Web - Analysing and Recommending Web Users´ Behaviour
autor: Tarmo Robal, juhendaja: Ahto Kalja
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2012
25. FPGA-sisesed test- ja mõõtevahendid
FPGA-based Embedded Virtual Instrumentation
autor: Igor Aleksejev, juhendaja: Artur Jutman
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2013
26. Riistvara modelleerimine disaini verifitseerimise ja silumise jaoks
Hardware Modeling for Design Verification and Debug
autor: Anton Tšepurov, juhendajad: Jaan Raik ja Maksim Jenihhin
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2013
27. Rikete simuleerimine ja koodikatte analüüs register-siirde tasemel kasutades kõrgtaseme otsustusdiagramme
Fault Simulation and Code Coverage Analysis of RTL Designs Using High-Level Decision Diagrams
autor: Uljana Reinsalu, juhendaja: Peeter Ellervee
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2013
28. Mutatsioonidel põhinev verifitseerimine ja vigade parandaminekõrgtaseme skeemides
Mutation-Based Verification and Error Correction in High-Level Designs
autor: Hanno Hantson, juhendaja: Jaan Raik
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2015
29. Register-siirde taseme VHDL kirjelduste abstraheerimine süsteemitaseme SystemC mudeliteks
Comprehensive Abstraction of VHDL RTL Cores to ESL SystemC
autor: Saif Abrar Syed, juhendajad: Maksim Jenihhin ja Jaan Raik
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2016
30. Töökiirusel testimine ja testikvaliteedi hindamine kõrgjõudlus-konveierarhitektuuriga süsteemidele
At-Speed Testing and Test Quality Evaluation for High-Performance Pipelined Systems
autor: Maksim Gorev, juhendaja: Peeter Ellervee
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2016
31. Sardtarkvara lahendused valgusnavigatsiooni süsteemide arendusel.
Embedded Software Solutions for Development of Marine Navigation Light Systems
autor: Erkki Moorits, juhendajad: Gert Jervan, Aivar Usk
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2016
32. Laiendatav avatud platvorm usaldusväärsete meditsiiniliste sensorite jaoks
Scakable Open Platform for Reliable Medical Sensorics
Autor. Mairo Leier, juhendaja Gert Jervan
omistatud kraad: Filosoofiadoktor, kaitsmise aasta: 2016

Tehnikateaduste magistritööd

Järgnevas nimekirjas on esitatud arvutitehnika instituudi töötajate poolt kaitstud ja/või nende juhendatud tehnikateaduste magistritööd (nn. 4+2 süsteemi magistritööd) aastatel 2001 kuni 2009. Nende magistritööde kaitsjad olid eelnevalt omandanud kas nelja-aastase õppe baasil bakalaureusekraadi või nõukogudeaegse viie-aastase kõrghariduse ning nende poolt kaitstud magistritööde maht oli tänastes mõistetes mahuga 60 EAP-d ehk pool kogu magistriõpingute mahust.

1. COM-tehnoloogial põhinev andmevahetuse tugitarkvara e-teenusele
   autor: Erkki Aruse, juhendaja: Viktor Leppikson
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2001
2. Digitaalskeemide rikete paralleelne simuleerimine binaarsetel otsustusdiagrammidel
   autor: Margit Aarna, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2001
3. Hübriitsete tarkvarasüsteemide kasutamine masinprojekteerimise tarkvara loomisel
   autor: Kristiina Kindel, juhendaja: Ahto Kalja
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2001
4. Meetod juhtautomaatide dünaamilise energiatarbe vähendamiseks
   autor: Aimar Liiver, juhendaja: Kalle Tammemäe
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2001
5. PC draiver suurte andmehulkade kiireks edastamiseks ja töötlemiseks
   autor: Arne Laansoo, juhendaja: Viktor Leppikson
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2001
6. Tarkvaraprotsesside parandamine väikestes tarkvarafirmades
   autor: Marion Lepasaar, juhendaja: Ahto Kalja
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2001
7. Digitaal- ja mikroprotsessortehnika õppe ümberkorraldamisest Tallinna Polütehnikumis
   Education of Digital and Microprocessor Technics
   autor: Kalle Sammal, juhendaja: Margus Kruus
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
8. Digitaalsüsteemide testi- ja diagnostikaalase õppetarkvara arendus
   Development of educational software for test and diagnostics of digital devices
   autor: Elmet Orasson, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
9. Elektroonika ametikoolis
   autor: Grigori Zapevalov, juhendaja: Margus Kruus
   omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
10. Informaatika ülesannete kogu
    autor: Ksenia Grigorjeva, juhendaja: Margus Kruus
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
11. Kiired heuristilised algoritmid kaalutud graafide värvimiseks
    autor: Tarmo Klaar, juhendaja: Peeter Ellervee
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002

12. Lõplike automaatide võrgu stohhastiline analüüs / Stochastic Analysis of Finite State Machine Networks
    autor: Mihhail Meshkov, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
13. Programmeerimiskeele Java eriteemad
    autor: Toomas Kont, juhendaja: Margus Kruus
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
14. Radiolinja Eesti andmevaramu
    autor: Janek Alla, juhendaja: Ahto Kalja
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
15. RISC-arhitektuuriga mikroprotsessorid
    autor: Arvo Toomsalu, juhendaja: Margus Kruus
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
16. Tarkvara arendusprotsess ja selle õpetamine ülikoolis
    autor: Jüri Udre, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2002
17. Iteratiivsed mittedeterministlikud optimeerimisalgoritmid
    Iterative nondeterm optimization algorithms
    autor: Helena Kruus, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2003
18. Kontrollitavuse parandamisel põhinev järjestikskeemide isetestimise meetod
    Built-in self-test for sequential circuits using improved testability
    autor: Rein Raidma, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2003
19. Sisu järgi häälestuvad arvutivõrgud
    Content Delivery Networks
    autor: Dmitri Naumov, juhendaja: Ahto Kalja
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2003
20. Veebirakenduste loomine iteratiivse metoodika RUP ja 4+1 arhitektuurivaate mudeli baasil
    Using the RUP with 4+1 Views of Software Architecture for Web Applications Development
    autor: Tarmo Robal, juhendaja: Vladimir Viies
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2003
21. Asünkroonsete digitaalsüsteemide projekteerimine
    Asynchronous Digital Systems Design
    autor: Aleksandr Jamsanov, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
22. Automaatide dekompositsiooni veebikeskkond
    Web-based System for Finite State Machines Decomposition
    autor: Sergei Devadze, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
23. Brigaadi staabi arvutivõrgu topoloogia ja tehnoloogia
    Brigade HQ LAN Topology and Technology
    autor: Veljo Raide, juhendaja: Margus Kruus
    omistatud kraad: Tehnikamagister, kaitsmise aasta: 2004
24. Digitaalsüsteemide funktsionaalne isetestimine koos testitavuse parandamisega
    Functional BIST with DFT
    autor: Natalja Mazurova, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004

25. Digitaalsüsteemide isetestimine hübriid-funktsionaalsel meetodil / Hybrid Functional Bist
    autor: Julia Smahtina, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
26. Õppevahend aines "Digitaalsüsteemide diagnostika. Rikete diagnostika ja analüüs"
    Teaching Material for Discipline Digital Test Fault Analysis
    autor: Jelena Tünni, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
27. Õppevahend aines "Digitaalsüsteemide diagnostika.Diagnostiline modelleerimine
    Teaching Material for the Discipline Digital Test Diagnostic Modelling
    autor: Jekaterina Grüning, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
28. Rihmülekannete projekteerimispakett tarkvarasüsteemi VSLE keskkonnas
    Beltdrive Design Package in VSLE System Enviroment
    autor: Urmas Lipso, juhendaja: Ahto Kalja
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
29. Testimisaja minimeerimine hübriidsetes isetestimisarhitektuurides
    Test Time Minimization for Parallel Hybrid Bist Architectures
    autor: Maksim Jenihhin, juhendajad: Gert Jervan ja Raimund Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
30. Testitavuse parandamine register-siirde taseme järjestikskeemides
    RT-level test point insertion for improving testability in sequential circuits
    autor: Vineeth Govind, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
31. Uue õppeotstarbelise kiibi keskkonna loomine aine "Digitaalsüsteemide diagnostika" jaoks
    Development of an educational environment based on a new educational chip for "Diagnostics of digitalsystems" course
    autor: Dmitri Zukov, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
32. Veebipõhise õppesüsteemi väljatöötamine aines"Digitaalsüsteemide diagnostika"
    Web-based system for teaching Digital Diagnostics
    autor: Vladislav Vislogubov, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2004
33. Algoritmide tükeldamine kaalutud graafide abil
    Partitioning of Algorithms Using Weighted Graphs
    autor: Indrek Roosileht, juhendaja: Peeter Ellervee
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
34. Energiaminimeerimine Soc kiipide testimisel, kasutades HybridBISTi
    Energy Minimization for Hybrid BIST in a SoC Test Emiranment
    autor: Tatjana Shchenova, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
35. Heuristilised algoritmid kaalutud graafide tükeldamiseks
    Heuristic Algorithms for Weighted Graph Partitioning
    autor: Allan Aasma, juhendaja: Peeter Ellervee
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
36. Hierarhilise testigeneraatori DECIDER eksperimentaalne analüüs
    Experimental analysis of hierarhical test generator DECIDER
    autor: Anna Krivenko, juhendaja: Jaan Raik
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005

37. Iseorganiseeruvad võrgud riistvara sünteesis / Self-Organizing Maps in Hardware Synthesis
autor: Uljana Reinsalu, juhendaja: Peeter Ellervee
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
38. Muusikakeskuse mälukaardi mooduli juhtimise tarkvara
Memory Card Control Software for Music Centre
autor: Marko Sõna, juhendaja: Viktor Leppikson
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
39. Prommer terminalidele: tarkvara ja FPGA koostöö ning FPGA draiver
Prommer for terminals: cooperation of software and FPGA and the FPGA driver
autor: Margus Sikk, juhendaja: Viktor Leppikson
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
40. Turvalised interneti rakendused kasutades Oracle tehnoloogiat
Secured Internet Applications Based on Technology by Oracle
autor: Indrek Sooneste, juhendaja: Vladimir Viies
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
41. VHDL sisend loogikasünteesis
VHDL Front-End for Logic Synthesis
autor: Anton Arhipov, juhendaja: Peeter Ellervee
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2005
42. Deterministlik võrguliikluse generaator kiipvõrgu simulaatorile
Deterministic Traffic Generator for NOC Simulator
autor: Mihkel Tagel, juhendaja: Gert Jervan
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
43. FPGA sisene loogikaanalüsaator
Interwal Logic Analyzer for FPGA
autor: Lauri Ehrenpreis, juhendaja: Peeter Ellervee
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
44. Kaugjuhtimispultide tarkvara
Software for Remote Controls
autor: Ando Saks, juhendaja: Viktor Leppikson
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
45. Kompleksteenus kliendihalduse automatiseerimiseks lokaalvõrgus
Complex Service for Client Management Automation in Local Area Network
autor: Markko Salm, juhendaja: Margus Kruus
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
46. Lõplike automaatide kodeerimine madala energiatarbe eesmärgil
Finite State Machine Encoding Targeting Low Power
autor: Roman Vassiljev, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
47. MK3 kontrolleri konfiguratsiooni redigeerimise tarkvara
Configuration Editor for MK3 Controller
autor: Peep Dimse, juhendaja: Teet Evartson
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
48. Olekumudeli põhine testimise meetod
State Model Based Testing Method
autor: Raivo Päts, juhendaja: Viktor Leppikson
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006

49. Rikete levitamise meetodi analüüs ja arendus hierarhilisel testigenereerimisel
Development and Analysis of Fault Propagation Method in Hierarchical Test Generation
autor: Taavi Viilukas, juhendaja: Jaan Raik
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
50. Sagedusmuunduri standard kaskaadkontrolleri realisatsioon
Realization of HVAC Frequency Converter`s Standard Cascade Controller
autor: Marko Sverdlik, juhendaja: Ahto Kalja
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
51. Servo liidesed FPGA-l / Servo Interfaces on FPGA
autor: Maido Hiiemaa, juhendaja: Peeter Ellervee
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
52. Tarkvaratoodete valiku kriteeriumitest
Criteria for Choosing Software
autor: Vallo Valkiainen, juhendaja: Vladimir Viies
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
53. Testitava projekteerimise vahendite võrdlev analüüs
Comparision of DFT Tools
autor: Hanno Hantson, juhendaja: Jaan Raik
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2006
54. E-arve ja standardiseerimine Eestis
E-invoice and standard in Estonia
autor: Andres Lilleste, juhendaja: Vladimir Viies
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2007
55. FPGA-põhine digitaalsüsteemide kiirprototüüpimine
FPGA-based digital systems rapid prototyping
autor: Vitali Lopatko, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2007
56. Kõrgtaseme testi võrdlus sünteesijärgse testiga
Comparision of high level test with post synthesis tests
autor: Robert Helk, juhendaja: Peeter Ellervee
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2007
57. Lausandmetöötlusel põhinev keskkonna monitooring
Pervasive computing-based environment monitoring
autor: Jan Devjatko, juhendaja: Aleksander Sudnitsõn
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2007
58. Tarkvara parendamine läbi refaktoriseerimise protsessi
Improving software development and maintainability: A refactoring process model for use in evolving systems
autor: Janari Põld, juhendaja: Ahto Kalja
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2007
59. Füüsikaliste defektide modelleerimine DeFSim2 integraalskeemis
Modeling of Physical Defects in DeFSim2 IC
autor: Nikolai Boiko, juhendaja: Artur Jutman
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2008
60. HDCP protokolli realisatsioon televisioonisüsteemi tarkvaras
HDCP - High- bandwith Digital Content Protection
autor: Kaupo Laan, juhendaja: Viktor Leppikson
omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2008

61. Tarkvara lokaliseerimis- ja tõlketoodete ülevaade ja nende võrdlus
    Software localization and translation products overview and their comparison
    autor: Tatjana Morozova, juhendaja: Margus Kruus
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2008
62. Testimine audio-video tarkvara arendamise protsessis
    Testing in audio-video software development process
    autor: Kristjan Uba, juhendaja: Viktor Leppikson
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2008
63. Visuaalsed arendusvahendid andmeladude disainiks ja evitamiseks
    Visual development tools for data warehouse design and implementation
    autor: Sergei Mudretsov, juhendaja: Paul Leis
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2008
64. Isehäälestuva võrgu tugi päikesepaneeli inverteris
    Auto-configurable Networking in a Solar Inverter
    autor: Tarmo Kuuse, juhendaja: Peeter Ellervee
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2009
65. Tarkvara testimine / Software Testing
    autor: Aleksandr Djagilev, juhendaja: Raimund-Johannes Ubar
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2009
66. Vedelkristallteleviisori pildi haldamine ja parendamine
    Picture Control and Enhancement of Liquid Crystal Display Television Set
    autor: Aare Palm, juhendaja: Viktor Leppikson
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2009
67. Vedelkristallteleviisori pildiformaadi haldamine
    LCD Television Picture Format Handling
    autor: Kristjan Tõiste, juhendaja: Viktor Leppikson
    omistatud kraad: Tehnikateaduste magister, kaitsmise aasta: 2009

Kiitusega lõpetanud

Järgnevas nimekirjas on esitatud elektronarvutite kateedri ja arvutitehnika instituudi töötajate poolt juhendatud erinevate nimetuste ja õppemahtudega õppekavade lõpetajad, kellele omistati TPI/TTÜ poolt lõpetamisel kiitusega (CUM LAUDE) diplom. Alates kateedri/instituudi algaastatest on selles nimekirjas CUM LAUDE diplomi saanud viie-aastase nõukogudeaegse kõrghariduse lõpetajad, 3- ja 4-aastase bakalaureusekraadi lõpetajad ja tehnikateaduse magistrid (3+2 süsteemi magistrid). Olgu siinkohal lisatud: 4+2 magistrantuuri süsteem ei näinud ette võimalust CUM LAUDE diplomi saamiseks.

2016	Bello, Tahir Nish D	magister	2001	Kostin, Vladimir	bakalaureus
	Josifovska, Galina	magister	2000	Kõiva, Risto	bakalaureus
	Odozi, Uzochukwu Eddie	magister		Paist, Peeter	bakalaureus
	Osimiry, Emmanuel Ovie	magister	1998	Kuus, Hanno	erialaõpe
2015	Qyeniran, Adeboye Stephen	magister	1996	Vagiström, Heinar	erialaõpe
2014	Saagim, Elary	magister	1993	Kurs, Georgi	erialaõpe
2013	Drenkhan, Taavi	magister		Sammal, Kalle	erialaõpe
	Kiil, Mihkel	magister	1993	Tamberg, Taavi	erialaõpe
	Konstantinov, Denis	magister		Tapupere, Madis	erialaõpe
	Kõusaar, Jaak	magister	1992	Altvee, Toomas	erialaõpe
2012	Indus, Viljar	bakalaureus		Indermitte, Ain	erialaõpe
	Kalmend, Oliver	bakalaureus		Uustalu, Kert	erialaõpe
	Kõusaar, Jaak	bakalaureus		Vandõševa, Julia	erialaõpe
	Odintsov, Sergei	magister	1990	Dušina, Julia	erialaõpe
	Ruberg, Priit	magister		Karask, Andres	erialaõpe
	Tingas, Raigo	magister		Võrk, Peeter	erialaõpe
2011	Leet, Marko	magister	1989	Moissejev, Sergei	erialaõpe
	Shibin, Konstantin	magister		Storožev, Sergei	erialaõpe
2010	Liibert, Kristian	bakalaureus	1988	Grišin, Anatoli	erialaõpe
	Tihhomirov, Valentin	magister		Udre, Juri	erialaõpe
2007	Taimre, Martin	bakalaureus	1987	Brik, Marina	erialaõpe
	Keks, Anton	magister		Gainullina, Olga	erialaõpe
	Kostin, Sergei	magister		Kuzmenko, Natalie	erialaõpe
	Tšertov, Anton	magister	1986	Kook, Urmas	erialaõpe
	Västrik, Raimo	magister		Liik, Peeter	erialaõpe
2006	Kostin, Sergei	bakalaureus		Suitsu, Andrus	erialaõpe
2005	Keks, Anton	bakalaureus	1984	Ellervee, Peeter	erialaõpe
	Nael, Margus	bakalaureus		Izjumskaja, Rita	erialaõpe
	Põld, Janari	bakalaureus		Izjumski, Sergei	erialaõpe
	Aaste, Hanno	bakalaureus	1983	Aasma, Merike	erialaõpe
2004	Devjatko, Jan	bakalaureus		Raabe, Alar	erialaõpe
2003	Kurbatov, Artjom	bakalaureus	1981	Salum, Kaja	erialaõpe
	Mekler, Andrei	bakalaureus			

1980	Allikmäe, Andres	erialaõpe
	Kruus, Margus	erialaõpe
1977	Arulaane, Tõnu	erialaõpe
	Evartson, Teet	erialaõpe
1975	Eivak, Jüri	erialaõpe
1973	Kitsnik, Peeter	erialaõpe
1972	Grigorjeva, Ksenja	erialaõpe
	Jänes, Mart	erialaõpe
	Kovrov, Vladimir	erialaõpe
	Marin, Aleksander	erialaõpe
	Siida, Tiit	erialaõpe
1971	Altma, Tiit	erialaõpe
	Maran, Mihkel	erialaõpe
	Plaks, Toomas	erialaõpe
	Tooming, Peeter	erialaõpe
	Valtna, Ülle	erialaõpe
	Viilup, Ago	erialaõpe

Nimeloend

Aadli, Merle 576,

Aarna, Margit 426, 428, 570, 571, **574**, 574, 575, 576

Aarna, Olav 106, **107**, 280, 287, 329, 399

Aas, Einar Johan 200, 285, 287, 295, 413, 549

Astrova, Irina 411, 426, 428

Aaviksoo, Jaak 323, 400, 512, 582

Aben, Hillar 131, 549

Abraham, Jacob 48

Abraitis, L. 48, 142

Agur, Ustus 11, **14**, 15, 17, 18, **19**, 20, 22, **24**, 36, 45, 49, 51, 53, 75, 85, 89, 95, 96, 99, 110, 113, 117, 124, 176, 218, **219**, 224, 539, 555, 563, 570

Ainola, Leo 95, 105

Ajaots, Maido **314**

Akers, Sheldon 137

Al-Hashimi, Bashir M. 474, 477, **385**

Alango, Villem 91, 103, 150, 154, 156, 163, **191**, 205, 208, 210, 212, **214**, 223, 244, 246, 249, 250, **258**, 441

Aleksejev, Igor 417, 419, 491, 494, **501**, **538**, 567, 572

Alev, Ants 43

Alla, Janek 428

Allik, Karl 15, 67, **68**

Allikmäe, Andres 92, 101, **135**

Altma, Albrecht **105**

Altma, Tiit 22, 24, **25**, 44, 50, 53, 89, 91

Alumäe, Nikolai 12, 56, 74, 142

Amblard, Paul 271, **293**, 449

Anissimov, Boris 111, 116

Anni, Hendrik 56

Annus, Arno 189, **190**, 193

Annus, Paul 486, 491, 546

Antoi, Meelis 179, 195

Arhipov, Anton 558

Ariste, Andri **15**, 20, 24, **26**, 46, 52, 58, 68, 77, 85, 89, 96, 99, 107, 124, 130, 131, **133**, **164**, 225, 268

Ariste, Paul 107

Armstrong, James 271, 296, 322

Arro, Ilmar 212, 256, 287, 288, 335

Arulaane, Tõnu 90, 91, 163

Arumaa, Helgi 162

Aruse, Erkki 428

Astanovski, Aleksander 24, 163

Azad, Siavoosh Payandeh **536**, 543, 546, **565**, 566, 573

Avreski, Dmitri 195

Bachmann, M. 489, 495

Baranov, Samary 46, **129**, 212

Bardeen, John 11

Barinov, I. 78, 97

Barkhausen, Heinrich 201

Basok, Boris 47

Becker, Bernd **385**

Bennetts, Ben **298**, 459

Berg, J. 212

Bergqvist, Ulf 214

Berkman, Aviva **191**

Berkman, Boris 91, **127**, 179, 180, 185, **191**, 195, **198**, 542

Bilinskis, Ivars 477

Birger, Aleksander 138, **139**, 160

Bochmann, Dieter 159, 202, 227

Bombik, Bert 203

Bommer, Jürgen 474, 477

Borionne, Dominique 295

Brattain, Walter 11

Brik, Marina 92, 241, 279, 281, 310, 315, 412, 420, 426, 570, 575
Brittle, David 295, 305
Brodski, Mihhail 47
Bryant, Randal 137
Buldas, Ahto 145, 204, 206, 241, 250, 463

Carlsson, Gunnar 214, 238, 284, 445
Carlsson, Sigward 214
Chakrabarty, Krishnendu **514**
Chepurov, Anton. 460, 489,
Cimander, Walter 118, 158, 201
Courtois, Bernard, 230, 231, 234, 239, 242, 243, 246, 247, **250**, **254**, 270, 271, 274, 275, 277, 279, 286, **293**, 306, 445, 474, 477, 506, 540

Damgård, Ivan 476,
Danielsson, Pelle 213, 217, 218
Das, Carl 449,
Dascalu, Dan 449,
Davõdov, Igor 17, 20, 65
Dehn von, Peter 236, 259
Delori, Hubert, 274
Derbunovitš, Leonid 153
Devadze, Sergei 91, **295**, 407, 460, 461, 415, 417, 418, 426, 451, 486, 491, 494, 496, 498, 501, **538**, 558, 567, 572
Diener, Karl-Heinz 236, **259**, 277, 443, 445, 540
Dobritsa, Boris 49, 142, 227
Dong Ha 322
Dorsch, Rainer 474, 477, 506
Dušina, Julia 211, 241, 279, 310, 409, 426

Einasto, Natalja 156
Einer, Lauri **25**, 77, 85, 96, 107
Eles, Petru 232
Elevant, Kaie **91**, **98**, **142**, **178**
Ellervee, Peeter 102, **124**, 127, 180, 184, **198**, 208, 283, 407, 412, 415, 426, 433, 436, 481, 411, 486–489, 496, 501, 502, 512, 542, 543, 546, 557, **558**, 559, 562, 564, 571, 572, **573**, 576
Elst, Günter, 236, 251, **259**, 275, 277, 295, 443, 540
Engelbrecht, Jüri 80, 332, 339, 402, 463
Entress, Gerhard 159
Erport, David 81
Esna, Lembit **107**
Evartson, Teet 48, 89, 91, 143, 150, 152, 163, 178, 180, 189, 195, 196, 211, 256, 282, 284, 293, 383, 420, 426, 557, 571, 577

Favalli, Michele 279
Ferreira, Joao M. 298, 299
Figueras, Joan 279
Fischerova, Maria 445
Fomina, Jelena 413, 426, 428
Fricnovich, Guntis 275
Fridolin, Ivo 463, 466, 479, 482, 490, 508
Fristacky, Norbert 275, 445
Fummi, Franko 530

Garšnek, Aleksander 88, 105
Gasteier, Michael 271
Geisselhardt Walter 279
George, Nevin **565**, 566
Gerassimtšuk, Valeri 195
Gjermundnes, Oystein 286
Glesner, Christl 546
Glesner, Manfred 230, 235, 247, 254, 259, 270, 271, **293**, 295, **305**, **314**, **316**, **341**, **345**, 347, 344, 540, 541, 544, 545, 546, 430, 445, 473, 474, 476, 477, 506, **531**, **540**, **544**, 556
Golõnitšev, Vladimir 141, **198**
Gorbatšov, Mihhail 186
Gordon, Boris 582
Gorev, Maksim 486, 489, 495, 502, **503**, 558, 567, 573
Govind, Vineeth **263**, 286, 413, 416, 460, 497, 546
Graf, Mati 78
Gramatova, Elena 227, **259**, 275, 277, 279, 298, 441, 442, 445, 449, 541

Grant, I. 300
Grigorenko, Valeri 161, 210
Grigorjeva, Ksenja 22, **25**, 44, 53, 80, **88**, **90**, 117, 195, 428, 563, 575
Grobman, David 47
Grosspietsch, Erwin 230, 298
Guiot, Alain 271
Guljajev, Anatoli 165, 168
Gurjanov, B. 162
Görke, Wilfred 202
Gössel, Michael 159

Haak, Heldur 152, 153, 163, 268
Hahanov, Vladimir 458, 459, 544
Haltšev Viktor 47
Hammer, Dieter 201, 205
Hannu, Jari 289
Hansen, Erik 27, 77, 85, 107
Hanson, Vello 52
Hantson, Hanno 419, 502
Haoyuan, Ying 546
Hariharan, Ranganathan 543, 565
Hartimo, Iiro 282
Hartmanis, Juris 126
Heiber, Jan **531**
Heinla, Leo 60
Heinlaid, Jaanus 426, 428
Heinrichsen, Vladimir 12, 18, 162, 175, 182, 189, **190**, **192**, 193
Heinsar, Risto 570, 571, **574**
Hellam, Mall 215
Hellebrand, Sybille 279, **533**
Hemani, Ahmed 542, 558
Henoch, Bengt 200, 230, 233, 236, 237, 239, 248, 258, 260, **266**, 267, 269, 276, 285, 287, 295
Hesse, Hermann 546
Hinrikus, Hiie 162, 287, 336, 338, 481, 489, 403, 495
Hlavicka, Jan 160, **195**, 201, 273, **460**
Hofmann, Klaus 546
Hollstein, Thomas 271, 445, 477, 504, 540, 545, **546**, 565
Hristov, Marin 442, 449
Humily, Gertrud 242, 245, 246, 248, 251, 254
Häkkinen, Juha 289

Ivask, Eero 414, 420, 426, 428
Indrusiak, Leandro **531**
Indus, Viljar 572
Inno, Jaan 95
Ira, Anti 163
Ivanov, D 462
Ivask, Heino **12**, 56, 281, 310, 315

Jaaksoo, Ülo 199, 286, 329, 332, **546**
Jaanson, Arvo 27, 89, 179
Jakobson, Gabriel 138
Jakovlev, Peeter **35**
Jakubaitis, Eduard 286
Janson, Karl **536**, 565, **565**, 566
Jantsch, Axel 283, 542, 559
Jasineviciene, Genovaite 48, 160
Jasnetski, Artjom 512, **538**, 565, 567, **567**, 568
Jenihhin Maksim **297**, 407, 415, 417, 437, 460, 461, 481, 486, 487, 489, **496**, **501**, 502, 508, 530, 532, 533, **535**, 541, 553, 565, **568**, 572
Jerraya, Ahmed Amine 449, 474, 477, 506
Jervan, Gert 232, 281, 284, 302, 310, 315, 329, 415, 420, 407, 426, 428, 434, 436, 437, 438, 441, 445, 460, 462, 463, 479, 483, 499, 503, 508, 510, 512, 530, 531, 541, 542, 544, 545, **546**, **550**, 564, 582, 583
Joffe, Mihhail 47
Jonasson, Kjell 217, 218
Jork, Rainer 119, 258
Jossifov, Dimiter 275
Jozwiak, Lech 449
Juhanson, Tõnu 39
Jutman, Artur 92, 232, 281, 407, 412, 412, 426, 449, 452, 389, 417, 428, 438, 453, 461, 460, 462, 487, 491, **491**, 494, 498, 501, 512, 530, **531**, 533, **534**, 534, **538**, 540, **540**, 541, 546, 451, **552**, 565, 572

Jõeleht, Rene 504
Jõers, Rein 288
Jõgi, Aare 132, 143, 144
Jõudu, Kustas 48
Jänes, Hans 106
Jänes, Mart 22, 50, 89, 91, 101
Järv, Ain 561
Järvik, Jaan 27
Jürgenson, Rein 86, 186, 187, 287, 288, 319
Jürimägi, Lembit 94, 565, 569, 570, 571, 575, **575**
Jüris, Aivar 91, **133**
Jürves, Triinu **302**

Kaasik, Ülo 12, 14, 65
Kadakas, Vahur 163
Kadarpik, Vello 561
Kaesser, Augustin W. 441, 442, 300
Kailvee, Enn 106
Kalja, Ahto 92, 98, 411, 426, 499, **500**, 414, 512, 561, **561**, 565, 571, 578
Kaljajev, Anatoli 52
Kallas, Siim 190
Kalmend, Oliver 572
Kanger, Tõnis 582
Kapitsa, Pjotr 105
Karai, Deniss 490
Karavai, Mihhail 144, 160, **545**
Karputkin, Anton 416, 500, **500**, 417
Kartus, Raul 162
Kass, Arno 105
Kasuk, Janel 426
Kaširova, Lilja 127, 208, 426
Keel, Marve 53
Keevallik, Andres 36, 44, 46, 51, **52**, 55, 80, 84, 97, 98, 100, **121**, **124**, 126, 128, **133**, 142, 156, 170, 175, 176, **178**, 180, 181, **186**, 193, **198**, 204, 208, 209, **214**, 218, **220**, 225, 242, 244, 248, 252, 253, 258, 260, 276, 287, 288, 307, 336, 407, 426, 432, 542, 544, 545, 554, **554**, 555, 556, 558, 409, 410, 562, 563, 569
Kembo, Mati **107**
Kerkhoff, Hans 279
Kesküla, Viktor 16
Kiivet, Gunnar 83
Kilby, Jack 515
Killenberg, Harald 119, **158**, 539
Kindel, Kristiina 428
Kinks, Hannes 565, 569, 571, 575, 576
Kirrander, Jerzy 284
Kirss, Tiit 43
Kizub, Viktor 198
Kitsnik, Peeter **35**, 43, 44, 48, 50, 51, 89, 91, **98**, 99, 125, 130, 132, **133**, **142**, 146, 161, 163, 178, 180, **191**, 282
Kivimägi, Helin **191**
Klaar, Tarmo 426, 428
Klaassen, Mait 400
Kleis, Ilmar 191, **314**
Kleis, Raimond **191**, 195, 196, 226
Knospe, Gerd 158
Kobus, Andzej 275, 442, 445, 449
Koel, Ants 569
Kogge, Thilo 546
Kolesov, Nikolai 141, 167
Kollo, Ants 163
Kont, Toomas 92, 93, 150, 154, 163, **191**, 195, 205, 208, 256, 428, 563
Koort, Ants **12**, 56
Koppel, Ilmar 549
Korjus, Ain 77, 87
Kornet, Mait **35**, 43
Korsen, Viljo 86
Kostin,Sergei 417, 487, 490, 499, **499**, **538**, 567, 570, 572, 575
Kotli, Malle 14, 60, 107
Kotta, Ülle 48
Kovrov, Vladimir 163
Kraam, Ain 91
Kracht, Wilhelm 18, 72, 73, 74, 97, 107
Krapp, Michael 158
Kreevald, A. 25
Kreitzberg, Peeter 400
Kriis, Tarmo 163

Kristofferson, Linda 286
Kronk, Aleksander 25, 50, 53
Krosing, Hannu 561
Krumm, Lembit 332
Krupnova, Helena 241, 279, 310, 384, **387**, 441
Kruus, Helena 48, 88, 92, **94**, **124**, 417, 426, 497, **498**, 563, 567, 575, 578
Kruus, Jelena 94
Kruus, Margus 51, **91**, 98, 128, **156**, 178, 180, 183, **185**, 195, 226, 242, 250, 256, 281, 284, 297, 407, 410, 426, 479, 189, 508, **546**, **562**, 562, 571, 576, **577**, 577, 578, 582
Kruusmaa, Maarja 512, 564, 579, 582
Kuchcinski, Kristof 232
Kukk, Vello **87**, 244, 248, 252, 287, 300, 303, 306, 307, 335, 339, 403
Kulbach, Valdek 332
Kull, Juhan 52, 91, **133**, **135**
Kuma, Helene 204
Kumar, Shashi 542
Kunz, Wolfgang **545**
Kuraksa, Dmitri **124**, 129, 207
Kurm, Matti 92, 93, 98
Kurrel, Alvar 479, 508,
Kuzmenko, Natalja **152**, **153**
Kuzmicz Wieslaw 275, 337, 445, 449
Kuzmin, Juri 199
Kuznetsova, Galina **164**
Kuusik, Alar 569
Kuusik, Vello 60
Kuuskor, Uno 92, **142**, 156, 179, 195, 196, **302**, 322
Kõiv, Ants 16, 20, 25
Kõusaar, Jaak 565, 569
Käbbi, Maie 38
Kängsepp, Eiko 319
Küttner, Rein **314**, 549

Laaneots, Rein **314**
Laansoo, Aarne 428
Laansoo,Ants 107, 288
Laar, Vello 206
Laas, Jaan 329
Laksberg, Edgar 162
Landrault, Christian 279, **385**, **460**
Lankots, Tõnu 41, 91, 163
Lantsov, Vladimir 442
Laprie, Claude 195
Larsson, Erik 284, 289, 542
Lass, Jaanus 489, 495
Lass, Keio 573
Laugis, Juhan 18
Lausmaa, Tõnu 180
Lavrov, Mihhail 176
Lawson, Harold 46
Lebedev, Sergei 11
Leier, Mairo **503**, 504, 551, **551**
Leiger, Roomet 582
Leis, Paul 51, 91, 98, **121**, **125**, **133**, **142**, 178, 180, 183, **184**, **198**, 253, 288, 293, 571, 574
Lelumees, Heino **19**
Lensen Harri 98, 226, 284, 426, 563, 571, 576, **577**
Lepasaar, Marion 426, 428
Leppik, Kalju 12, 58, 126, **131**, 132, 211, 242, 266
Lepikson, Heino 21, **36**, 91
Leppikson, Viktor 92, 98, 209, 571
Liebich, Werner 119, 158, 202, 539
Liermann, Gerhard 159
Liiv, Innar 92
Liiv, Marve 17, 25
Liivamägi, Ülo 163
Liivar, Sven 179
Liiver, Aimar 426, 428
Lind, Heino 266
Linna, Ivo 97
Lippmaa, Endel 80, 218, 463
Listra, Enn 582
Litikov, Igor 47
Ljashevitsh, Katti 302
Lohuaru, Tõnu **131**, 143, 145, 152, 153, 154, 156, **157**, 163, 164, 199, 209, 211

Loigom, Villem 18
Loik, Rein 245, 248, 400
Lomova, Elvira 428
Lootus, Jaan 18
Lorenz, Torsten 158
Lorents, Peeter 582
Lott, Kalju 103
Lukitšov, Eduard 274
Luman, Toomas 512,
Lume, Tõnu 86
Lump, Nikolai 84

Maasik, Rein 163
Made, Tiit 190
Maestrini, Pietro 272
Magnhagen, Bengt 209, 212, 213, **214**, 230, 233, 238, 243, 244, 249, **251**, 253, 258, 293, 295, 306
Maidla, Margus 548,
Maiorov, Sergei 63, 116
Maksimenkov, Aleksander **127**, 129, 180, 184, **198**
Malmivuo, Jaakko 474, 477, 506, **542**
Malõšenko, Juri **48**
Mamers, Tarmo 204
Mandre, Marek 253, 284, 302, 420, 426, 448, 576, 578
Manhaeve, Hans **533**
Maran, Mihkel 14, 24, 91, 117
Marchuk, Alexander G. 442
Marenkov, Jevgeni 565
Marinissen, Erik Jan **385**
Markus, Antti 420, 426, 441, 280, 302, 315, 329
Marzouki, Meryem 230
Martinson, Helle 330, **399**
Martson, Henn 131
Maslennikov, Vladimir 111
Mazurova, Natalja 572
Matrossova, Angela **126**, 160
McLean, John 441, 442, 449
Meigas, Kalju 463, 479, 508, 582
Meinhardt, Jürgen **45**, 202
Mellikov, Enn 268, 336
Mellikov, Imre **124**
Mere, Vaike 52
Mereste, Uno 69
Meškov, Mihhail 428
Mezburd, Volf 16, 20
Mets ,Georg **80**, 84, 88, 105
Metsajev, Jevgeni 48
Metspalu, A. 403
Mey, Bart De 449
Meyer, Gerhard 202, 204
Mihhailov, Dimitri 418, 489, 498, **498**, **538**, 570
Mihhejeva, L. 68
Miikla, Toomas 163, 180
Mikhov, Valeri 442
Mikkal, Valdek 204
Mikli, Toomas 288
Min, Mart 176, **192**, 193, 230, 241, 242, 244, 246, 247, 248, **250**, 251, 255, 266, 267, 268,269, 276, 287, 288, 293, 300, 304, 306, 307, 337, 338, 463, 466, 479, 481, 483, 484, 486, 487, 488, 491, 496, 504, 508
Moissejev, Sergei 184
Moore, Gordon 515
Moorits, E. 551
Mosidze, Vakhtang 543, 565
Motejunas, Kestutis 48
Moullec, Yannick Le 546, 569
Mucha, Joachim 440
Mõtus, Leo **107**, 319, 329, 403
Mõtus, Matti 332
Mäesalu, Eino 25, 52
Mägi, Harri **12**, 13, 15, 21, 24, **26**, 39, 41, 44, 50, 53, 55, **57**, 63, 67, 70, **76**, 77, 85, 97, 99, 101,**116**, **121**, **123**, **133**, 162, 170, 180, **191**, 195, 222, 225, 420, 539, 578
Mägi, Vahur 17, **20**, 85, 97
Männamaa, Vello 85, **107**, 288
Männil, Aino 60
Männil, Mart 95

Männisalu, Mati 150, 154, **156**, 163
Märtens, Kalev 269
Märtens, Olev 496
Mäss, Lembo **107**

Napieralski, Andrzej 442, 449
Neidre, Erkki 185
Neivelt, Indrek 512
Nemolotšnov, Oleg **48**, 129, 141, 160, 167, 169
Nhon Van Vo 286
Niazmand, Behrad **536**, 543, 565, **565**, 566, 573
Nicolaidis, Michael 279
Niine, Ülo 86
Nikolov, Dmitr 68
Noodapera, Ants **107**
Normet, Dagmar 204
Norvik, Margus 156, 163
Novak, Ondrej 227, 449, 541
Nurste, Ivar 86

O'Nils, Mattias 284, 542
Odintsov, Sergei **538**, 567
Odozi, Uzochukwu Eddie 572
Ohletz, Michael 279
Oit, Monika 463
Oit, Neeme **127**
Ojastu, Deniss 565
Olesen, Ole 2**51**, 286
Olesk, Peeter 400
Oom, Arvo 582
Orasson, Elmet 286, 414, 426, 428, 451, 571, 572, 576
Oruste, Reet **25**
Osimiry, Emmanuel Ovie 572
Ots, Arvo 332
Ots, Avo 294
Ott, Roman 106
Oyeniran, Adeboye Stephen 565, **565**, 543, 568, 572
Paduri, Henn **107**
Pakkas, Roul 84
Pall, Imre 163
Pall, Martin 132, 143, 144, 156, 163
Paluver, Nikolai 84
Paomets, Priidu, **271**, 280, 293, 295, 310, 315, 322, 329, 420, 426, 428, 441
Parhomenko, Pavel 47, 138, **139**, 160, 167, 198
Paškovski, Sergei 112
Pataricza, Andras **195**, 230, 275, 277, 445
Patterson, David 271
Paulus, Olavi 205, 242
Peceli, Gabor 445
Peek 97
Peet, Alari **100**
Peets, Endel **107**
Peng, Zebo 232, 284, 445, 462, **510**, 542, 550
Penjam, Jaan 433, 463, 582
Peremees, Järvi 92
Pesonen, Vladimir 486, 489, 495, 558
Petersen Ilmar 74
Peters, Lilian 442
Peterson, Jaak 86
Petrenko, Aleksander 160, 166
Piht, Nigul 25, 41, 52, **142**, 179, 195
Piirikivi, Peet 89, 288
Pikkor, Riho **35**, 43
Pikkov, Otto 15, **25**
Piloty, Robert 234
Pilva, Zdenek 449
Plakk, Mari 47, 89, 109, 138, 142, 143, 163, 180
Plakk, Paul 11, 18, 109
Plaks, Toomas 22, 24, **25**, 89, 91, 99, 116, 125, **151**, 268, 293, 336
Pleskacz, Witold 445, 449, 452, 453, 462, 568
Pliquett, Uwe 474, 477, 506
Poppe, Andras 449
Porra, Veikko 282, 295
Postula, Christof 237, 239, 243, 251

Prinetto, Paolo 272, 279, 298, **385**, 459, 462, **533**, 543, 549
Pukk, Jüri 56
Pukk, Paul 152, 154, 156, 163
Pukk, Vaike 92
Pulkkinen, Göran 282
Punder, Piret 203
Pungas, Kalle 145, 163, 206
Puolakainen, N. 22
Puskar, Arno **12**, 56
Putkaradze, Tsotne **536**, 543, 565, 566
Puusepp, Märt **192**
Põldre, Jüri 273, 293, 312, 314, 325, 327, 338, 420, 426, 409, 428, 430, 441
Pärlist, Ako 25, 85
Pöchmüller, Peter 235, 270

Raag, Voldemar **12**, 56
Raamat, Rein **107**, 336
Raidma, Rein 426
Raik, Jaan 93, 189, **263**, **271**, 274, 280, 284, 293, 294, 295, 297, **307**, 310, 315, 322, 329, 407, **413**, 413, 416, 419, 420, **424**, 426, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 459, 460, 462, 477, 483, 486, 487, 488, 489, 491, 496, 497, 409, 500, 501, 502, 510, **510**, 513, **513**, 530, 531, **532**, 532, 533, 534, **535**, 535, 536, 541, **541**, 544, 546, **548**, 558, 563, 564, 567, 568, 571, 572
Raja, Jaak 17, 20, 52
Rajski, Janusz 239, 241, 249, 250, 293
Rang, Toomas 193, 242, 269, 276, 294, 299, 300, 335, 339, 340, 479, 508, **558**, 582
Rannaste, Anna 416, 460, 497
Razdobrejev, A 48
Raud, Raivo 209
Raudvere, Tarvo 426, 428
Raukas, Anto 330
Raun, Lennart 426, 428
Raus, Gennadi 20, 22, 85
Rebane, Enn 89, 179, 186, **256**, **302**
Rebane, Jüri 85
Rebane, Peeter 98
Rebane, Raul-Vello 65, 336
Reidla, Marko 546
Reilent, Enar 569
Reinert, Dietmar 118
Reinsalu, Uljana **263**, 416, 501, **501**, 558, 571, 573
Reintam, Loit 399
Reitsakas, Aleksander **56**
Reitsakas, Anna **12**, 56, 74
Reitsakas, Arnold **12**, 14, 25, 56, 57
Reitsakas, Jüri **56**, 98, 99, 116
Rencz, Marta 474, 477, 506
Renovell, Michel 279, **389**, 462
Repinski, Urmas 489
Riisman Tõnu 152
Risthein, Endel 18
Rjabov, Artjom 565, 570
Robal, Tarmo 94, 426, 499, **500**, 561, 565, 571, 576, **576**, 577
Romankevitš, Aleksei 145
Ronk, Mart 130
Ross, Heino 77, 85, 96, 107
Ross, Peeter 504
Ruberg, Priit 546, 558, 565, 571, **573**
Ruiso, Indrek 549
Rummo, Paul-Erik 400
Rusalep, Maret, 84
Russ, Viivi 175
Russell, Gordon 295, 299, 305
Russell, Jeremy 239
Ruus, Tõnu 84
Rõigas, Ebba **31**
Räisa, Olev 24, **25**, 150, 154
Rätsep, Ülo **192**, 193
Rünk, Ott 105
Rüstern, Ennu 162, 288
Rüütel, Arnold 512

Saar, Heljo **25**, 91, **191**, 195, 576
Saarepera, Märt 207, 209, 215, 232, **237–**258, 293
Saareste, Enno 27, 89, 288

Saari, Peeter 329, 330, 400, 549
Sabolotny, Rein 251, 252, 268
Saksakulm, Tiit **107**
Salum, Henn 12, 56, 116
Salum, Kaja 92, 129, 175, 176
Sammal, Kalle 428
Samuelsson, Hasse **267**, 268, 269, 276
Sandhu, Apneet Kaur **536**, 543, 565, 566
Sanko, Jelena 428
Sapiecha, Kristofer 195
Sapožkov, Konstantin 40, 41, 59, 60, 62
Sarapik, L 78
Sats, Ulli 269
Saucier, Gabrielle 279, 306
Saul, Bruno 109
Savisaar, Edgar 190
Schiff, Gunnar **107**
Schmidt, Bernhard 548
Schneider, Andre 445
Schults, Eduard 77, 86, 96
Seleznjov Aleksander 227
Selg, Hardi 566, **566**
Servit, Michail 275
Shchenova, T. 462
Sheinauskas, Rimantas 48, 153, 161, 253, 275, 277
Shockley, William 11
Siem, Lauri 43
Siem, Leo 14, 51, 91, 125, **133**, **191**
Siida, Tiit 163
Siimar, Veikko 95, 113
Siimon, Arvo 56
Sillamaa, Hanno 11, 15, 18, 52, 74, 77, 93, 96, 104, 106, 110, 165, 175, 176, 189, **190**, **192**, 193
Simoncini, Luigi 195, 271
Sinijärv, Riivo 266
Sinisoo, Mark 12, 56, 116, 132, 140
Sisask, Vaike 190
Skljarova, Iouliia 226, 541, 570
Skljarov, Valeri 226, 498, 541, **542**, 570
Skobtsov, Vadim 462
Skobtsov, Yuri 462
Smahtina, Julia 572
Smolov, Vladimir 59, 62
Sogomonjan, Jegor **129**, 160, 167, 170, 200
Sokolov, Konstantin 153
Sonza, Matteo Reorda 272, 541
Spallek, Rainer 202, 295
Speranski, Dmitri 144, 157
Stammberger, Werner 158
Stankovic, Stanislav **542**
Stassen, Flemming 286
Stawström, Olov 233, 236, 260
Steinbach, Berndt 159
Stepanets, Vladimir 449, 458*
Stepantšikova, Irina 191
Storožev, Sergei 186, 207, 209, 241, 242, 256, 279, 310, 384, 441
Straube Bernd 236, 251, 255, 277, 540
Su, Stephen 160, 195
Sudbrock, Joachim 462
Sudnitsõn, Aleksander 46, 51, 52, **91**, **121**, 125, **127**, 129, **133**, 178, 180, **198**, 226, 265, 282, 407, 412, 413, 418, 426, 433, 434, 435, 437, 498, 501, 558, 569, **569**, 571, 574
Suhhova, Anna 489, 495
Sumre, Heiki **13**, 57
Svensson, Christer 286
Särev, Ants 14, **67**, 84, 88, 97, 107
Süld, Andres 179, 195
Syed, Said Abrar 418, 419, 553

Šaraškin, Jüri 51, 132
Šaršunov, Sergei 48, 162
Šebek, Radomir 546
Šeikina, Galina 47
Šibin, Konstantin 494, **538**
Šmidt, Eduard 63
Štein, Otto 82
Štšeglov, Igor 63

Zajc, Baldomir 449

Zakrevski, Arkadi 46, **126**, 127, **129**, 161, 168, 169
Zander, Joachim 202
Zapevalov, Grigori 428
Zaugarov, Viktor 92, 150, 156, 208, 209, 254
Zemva, Vladislav 449,
Zorian, Yervant 459, **462**, 533, 543, **548**
Zvjagin, Viktor 167

Žirabok, Aleksei 48
Žukov. Mihhail 47

Tagel, Mihkel 416, 499, **499**, 551, 558
Tajammul, Muhammad Adeel 565, 573
Takalo, Paavo 266, 295
Talts, Aadu 31
Talvik, Kalle 14, 20, 24, 44, 50, 63, 87, 116
Tambur, Vilma **191**
Tamkivi, Alar 100, 103
Tamkivi, Sten **103**
Tamm, Boris 12, **41**, 74, 131, 138, 140, 142, 175, 218, 329, 332, 335
Tamm, Peep 109, **110**
Tamm, Uljas 176
Tamme, Boris 550, 554
Tammemäe, Kalle 51, 92, **99**, **100**, **124**, 129, **133**, 189, 195, 196, 208, 226, 249, 253, 283, 407, 409, 410, 411, 426, 431, 541, 542, **556**, 556, 563, 565, 569, 571
Tammet, Tanel 561, 562
Tani, Harry 12, 14, 20, 58, 68, 74, 126, 130, **132**, 190, 211, 218, 249, 266, 267, 268, 269, 276, 277, 294, 304, 335
Tanner, Jüri 245, 248, 250, **314**
Targamadze, Aleksandras 48
Tatarnikov, Juri 161
Tavast, Raul-Roman 12, 140, 176
Teixeira, Joao Paolo 279
Tellas, Härmo 274, 302
Tenhunen, Hannu 236, 251, 252, 258, 260, 266, 283, 431, 542, 543, **543**, **544**, 556
Tepandi, Jaak 287
Tergem, Ilmar 77, 86
Terno, Olaf **105**
Tetelbaum, Aleksander 161, 295, 296, 322
Thatte, Sattish 48
Thoma, Elke 159
Tihhomirov, Valentin 558
Tihkan, Lea **191**
Tiido, Ülle 43
Tiikma, Boris 84
Tiismus, Hugo 18
Tinn, Kalju 12, 126, **197**
Tjammul, Muhammad 543
Tobias, Irja 302
Tohma, Yoshihiro 243
Toimet, Maie 330
Tolbast, Boris 163
Tolstoussov, Georgi 111
Tombak, Mati 500
Tomson, Jaan 87
Toomaspoeg, Juhan 70
Toome, Tõnis **116**, 150, 156, 163
Toomet, Madis 85, 268
Tooming, Peeter 24, **25**
Toomsalu, Arvo 24, 52, **75**, 91, 132, **133**, 163, 195, 196, 211, 226, 242, 252, 428, 563, 578
Trenkner, Heinz 159
Truve, Erkki 504
Tšalova, Antonina 162
Tšepurov, Anton 487, **501**, 502, 418, 572
Tšertov, Anton 417, 491, 494, 498, **499**, 512, **538**, 565, 567, **567**, 572
Tšipulis, Valeri **48**, 162
Tšistjakova, Ananda 84
Tulit, Viljar 163, 204, 206, 241, 246, 250, 293, 302
Turtšina, Jelena **161**
Tuulik, Viiu 489, 495
Tõnismägi, Heino 83
Tõnspoeg, Tõnu 163
Tõugu, Enn 12, 14, 58, **130**, 244, 549, 561

Ubar, Raimund-Johannes 14, 20, 24, **26**, 44–46, **49**, 50, 55, 63, 80, 89, 91, 96, 98–100, 103, **121**, **126**, 132, **133**, 138, 142, 151, **152**, 156, **157**, **161**, 175, 181, 188, **192**, 193, **195**, **199**, 203, 209, **214**, 217, 218, **221**, 226, 230, 238, 247, 255, 260, 265, 266–270, 276, 277, 284, 286–289, 293, 301, 304–**307**, **316**, 329, 337, **341**, **347**, **356**, **387**, **395**, **399**, **402**, 407–410, 414–416, 420, 426, 430–435, 439, 440, **445**, 446, 449, 452, 453, 459–466, 484, 487, 490, 496–502, 504, 508–512, 539–546, 549–552, 558–571, 575–580
Udre, Jüri 98, **124**, 129, 184, **185**, 207, 253, 428
Ulm, Sulev 60
Usk, Aivar 321
Usvjatski, Andrei 141
Uustalu, Tarmo, 463, 467, 475
Uutma, Toomas 268
Uutsalu, Kert 428

Vaarandi, Risto 414, 426
Vader, Artur 95
Vaher, Virve 43, 44, 135
Wahlstein, Gunnar 284
Vahtra, Marge 302
Vainikko, Eero 463
Vainomaa, Kaido 268, 269, **302**, **339**
Valdma, Mati 332
Valdur, Lembit 85
Vallaste, Heikki 268
Vallner, Uuno 99, 562
Valtna Ülle **24**
Valts, Väino **100**
Valts, Ülle **100**
Vanamölder, Eduard 152, 153, 154, 156, 163
Varda, Jüri **107**
Vargas, Fabian, 568
Weber, Bedrich 442, 445, 449
Velmre, Enn 86, **192**, 193, 306
Vene, Varmo 463
Wenzel, Thomas **531**
Vesely, Jan 195
Veskimäe, Rein 341
Vichmann, Frederik 81
Vielhauer, Peter 201
Wiener, Norbert 119
Vierhaus, Heinrich Theodor (Theo) 230, **278**, 279, 298, 441, **531**, 540
Viies, Vladimir **35**, 92, 94, **95**, **98**, 180, 195, 201, **203**, 204, 231, 237, 565, 570, **574**, 575, 574
Viigimaa, Margus 488,
Viilukas, Taavi 416, 460, 500
Viilup, Agu 22, 24, **25**, 44, **48**, 50, 51, 89, 91, 117, 125, 130, **133**, 143, **150**, **151**, 163
Vilo, Jaak 512
Vislogubov, Vladislav 572
Voldek, Aleksander 12, **65**
Wolf, Heinz 159, 201
Wolff Henrik 282
Voolaine, Andrus 132, 143, 145, 163
Wunderlich, Hanz-Joachim 160, 201, 278, 279, 298, 444, **533**, 540, 541
Wuttke, Heinz Dietrich 158, 449, 452, 540
Võhandu, Leo 12, 15, **71**, 74, 95, 113, 142, 219, 288
Võhandu, Priit 245, 288
Wõrk, Ants 52, 140, 332
Võrk, Jaan **25**, 97, **192**, 246, 258, 319
Võrk, Rein 16, 20, 22, 77, 85, 115
Väljamäe, Gunnar 82, 107

Õiger, Karl 295, 322

Öpik, Andres 295, 322
Öpik, Ilmar 332