

Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest

Raimund Ubar

Sündinud 16.12.1941. Tallinnas

1960 Tallinna 22. Keskkool (Westholmi Gümnaasium)

1966 Taliinna Tehnikaülikool, automaatika ja telemehaanika

1971 Tehnikakandidaat, Moskva Baumani-nimeline Tehnikaülikool

1986 Tehnikadoktor, Läti TA Arvutitehnika Instituut

Alates 1971 Tallinna Tehnikaülikooli assistent, vanemõpetaja, dotsent; 1987-1992 arvutitehnika instituudi juhataja; 1993-1997 elektroonika kompetentsuskeskuse juhataja; 2003-2005 Teaduste Akadeemia uurija-professor; 2008-2015 Eesti integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika teadustippkeskuse CEBE juht; alates 2015 arvutitehnika instituudi professor

1986 Kaks hõbemedalit Üleliiduliselt rahvamajanduse näituselt Moskvast

1988 Barkhauseni rahvusvahelise õppetooli professor Dresdeni Tehnikaülikooli juures Saksamaal

1991 Prantsuse Valitsuse grant teadustööks Grenoble'is

1991 TTÜ auautomaatik

1992 Balti Tehnoloogiateaduste Akadeemia asutajaliige

1993 Eesti Teaduste Akadeemia liige

1997 TTÜ kuldmärk

1999 Eesti Vabariigi teaduspreemia tehnikateaduste alal

2001 TTÜ teenete medal *Mente et Manu* Nr.2

2002 Valgetähe III klassi orden

2003 Harkovi Rahvusliku Raadiotehnika Ülikooli auprofessor

2005 IEEE Computer Society Meditorious Service Award

2006 IEEE Computer Society Golden Core Award

2009 Eesti Teaduste Akadeemia medal

2012 Ukraina Raadioelektroonika Akadeemia kuldmedal

2012 IEEE Computer Society Certificate of Appreciation

2013 Eesti Teaduste Akadeemia Nikolai Alumäe medal informaatika ja tehnikateaduste alal

2015 IEEE Computer Society Meditorious Service Award

Parima artikli auhinnad (Best Paper Awards) konverentsidelt: MIXDES'1998, MIXDES'2001, MIXDES'2003, EAEEIE'2005, DDECS'2012, LATW'2012, WRTL'2013

Avaldanud üle 600 teaduspublikatsiooni ja 100 publitsistliku kirjutise eesti pressis, 7 raamatut, 6 õppevahendit ja 4 leiutist

Raimund Ubari lühisõnavõtt Riigi teadus-, kultuuri- ja spordipreemiate ning F.J.Wiedemanni keeleauhinna kätteandmisel 24. veebruaril 2016. aastal:

Austatud Peaminister, lugupeetud saalisviibijad!

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 materia, 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“¹ järgnes hiljuti 4 filosoofi analüüs vahepeal toimunu kohta, mis avaldati kogumikus „Kahest kultuurist kultuuri olematusse“², kus esiplaanile tõusis dilemma – kuidas hakkama saada kiirete muutustega tänases maailmas. Kui varem nähti kultuuris ja traditsioonides tuge ja kindlustunde 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 märkamatu on raske müüa.

Andekad noored on meie varaait. Seepärast tulekski Eesti teaduse põhiväljundit näha kõigepealt kõrghariduses – hoidmaks meie vaimuvara arengupotentsiaali õigel rajal.

Täna veelkord Valitsust tunnustuse eest! Ja soovin kõigile õnne tänase pidupäeva puhul!

Viited:

1. *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. By C.P.Snow. *The Rede Lecture - 1959*. Cambridge University Press, New York, 1961.
2. *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.

AEG, KUS ME ELAME

Meie elu dikteerib üha rohkem meid ümbritsev tehismaailm, mille ajuks on arvutid ja elektroonika. Isejuhtivad autod või see, et Intel valmistas 1-sendi suuruse mikroskeemi, mille sees on arvutite võrk, raadiosaatjad ja -vastuvõtjad, ei pane enam kedagi imestama. Uusi tehnikamesid võetakse vastu hoopis rahulolematult, et kõik liiga aeglaselt areneb.

Sellest, mille on loonud insenerid ja teadus, moodustab 99% tehnoloogilise paradiisi, aga on veel üks protsendiosake, mida me ei andesta inseneridele – need on häired ja tõrked tehismaailmas, mis võivad põhjustada õnnetusi ja hukatust. Selle 1% kaotamisele ongi pühendunud teadusvaldkond, mille oluliseks osaks on tehniline diagnostika. Just selles valdkonnas, peaaegu selle tekkemomendist peale, kui tuli ilmale esimene mikroprotsessor, ongi kulgenud minu teadlase teekond.

Arvutiteadus on teadus keerukusest. Arvutite programmeerimine tähendab keerukuse valitsemise ja organiseerimise kunsti. Probleemide lahendamine arvutiteaduses tähendab keeruka muutmist

lihtsaks. Paradoksaalselt on tehnoloogia võimaluste areng olnud pidevalt ees arvutiteaduse arengust ja seda põhjusel, et hüpped tehnoloogia keerukamaks muutumisel on nõudnud uute paradigmat tekkinud teooriate, ehk siis "uuesti alustamist algusest". Samasugune tagaajamise fenomen on kehtinud ka tehissüsteemide loomise ja nende usaldatavuse tagamise vahel. Iga uus tähendab uusi ohte. See 1% tehismaailma „vastupanu“ oma loojate soovidele on kui damoklese mõök rippunud pidevalt diagnostikateadlaste ja -inseneride peade kohal. Ometi küsitakse vahel: milles probleem, arvutid ju töötavad hästi ja õnnetusi tekib harva? Eks vastus ole juba küsimuses endas olemas – süsteemide kõrge töökindlus ongi selle eest vastutavate teadlaste ja inseneride töö tulemus.

Märkimisväärse panuse sellesse valdkonda on andnud Tallinna Tehnikaülikooli arvutitehnika instituudi juurde tekkinud noortest teadlastest koosnev koolkond, mille tekkimist loengi oma elutöö põhitlemuseks. Meie instituudist on saanud keskus, kus tehakse head teadust ning on rahvusvaheliselt tunnustatud doktorantuur. Mu õpilased juhvivad ja koordineerivad regulaarselt kõrgetasemelisi europrojekte, kuhu on kaasatud Euroopa tippülikooli ja maailma tipptööstust. See ongi parim kingitus õpetajale, kui õpilased tema tööd jätkavad ja õpetajast mööda lähevad.



LAPSEPÕLV JA KOOLIAEG

Aga kuidas kõik siis algas? Sündisin Tallinnas, kui isa oli rindel. Esimesed kolm aastat kasvasin saksakeelses peres. Mu vanaisa läks 14-aastase poisina laia maailma, sai palju võõrkeeli selgeks, õppis Venemaal mõisavalitsejaks ja leidis elukaaslase Lätist, rikka metsakaupmehe tütre, kelle tõi Eestisse. Nii valisidki mu vanavanemad suhtlemiseks saksa keele ja ka mu ema sai saksakeelse hariduse. Mina rääkisin 3-aastasena kahte keelt. Pärast sõja lõppu küüditati vanaema Siberisse. Enam polnud põhjust suhelda kodus saksa keeles ja nii ma selle keele ka unustasin. Alles 33-aastasena, kui saatus mind aastaks Dresdenisse viis, õppisin saksa keele uuesti ära. Ehkki ma pole kunagi saksa keelt koolis õppinud, valdan seda paremini kui inglise keelt.

Mu isa töötas Juveelitehases, tema käe all valmisid kaunid ehted ja hõbekarikad. Ema oli kodune ja kasvatas kolme last. Isa süstis minusse spordipisiku. Sageli korraldasime ümbruskonna hoovide vahelisi kergejõustikuvõistlusi, kus isa oli mõnikord kohtunikuks. Mäletan ühte kaugushüppevõistlust, kus isa mõõtis naabripoisile sentimeetri rohkem kui mulle. Sain teise koha. Hiljem avaldas isa mulle päris tõe: tegelikult olin mina sentimeetri võrra kaugemale hüpanud... See oli minu jaoks ülluse ja aususe õppetund, millest õppisin muudki – nõudlikkust enese vastu. Õppisin, et latist tuleb mitte napilt üle hüpata, vaid kõrgelt ja veenvalt. Nõnda olen hiljem endale ise elu raskemaks teinud, kuid võidud on selle võrra tõelisemad olnud.

Noorusaja vallutas mul sport, jättes aga aega ka muuks. Meil oli Westholmis (tollases 22. Keskkoolis) aktiivne klass, kes kaks aastat järjest võitis esikoha kooliolümpiaadidel, kus minagi andsin panuse, kas kitarri mängides või rahvatantsijana. Võimlemisõpetajalt sain aga ainsa „kahe“ oma koolipõlve ajaloo: alustasin marssi parema jalaga, sellepärast. Paradoksaalselt sain hiljem just sportvõimlemises Eesti rahvuskoondise liikmeks. Võistlesin kolmel Rahvaste Spartakiaadil ehk siis N Liidu „olümpiamängudel“. Sport kasvatas tahtejõudu, karastas, õpetas riskimist ja enda proovile panemist. Võimlemise loomulikeks osaks oli uute trikkide välja mõtlemine ja õppimine. Mu lemmikriistaks oli kang ja tippsaavutuseks kahekordne salto, millega olin pioneeriks eesti võimlemises. Uhke oli olla võimleja. Oma pulmas, tuues talumaja korstna otsast alla vankriratast, tegin korstnal ka piduliku kätel seisu. Kätel olen Pirita kloostri müüri sammunud ja tantsupidudel twisti rütmis saltot hüpanud.

Koolis pidime kõik astuma pioneeriks. Meie klassis olid vaid üksikud, kes keeldusid, mina nende hulgas. Mitte et isa poleks lubanud mind pioneeriks, aga ma teadsin, et talle ei meeldiks see. Ja aegamisi

süvenes ka minus endas tunne, et ma ise ei taha. Komsomoli astumise aeg oli jälle minu jaoks ebamugav periood. Keeldumine viis konfliktidesse nii õpetajatega kui ka kooli direktoriga. Ei lubatud mind võistlusreisidele ja hoiatati ülikooli mitte pääsemisega. Kooli lõpetasin hõbemedaliga – olin lõpukirjandis kasutanud ühte sõna murdes, mis eesti keele õpetajale ei meeldinud.

TPI-s oli avatud uus eriala – automaatika. See sama ala, mida mu onu iseõppinuna valdas juba aastaid, olles ehitanud näiteks oma garaaži ukсед automaatselt avanavatena kaugjuhtimise teel. Selles mõttes tegeles ta „targa maja“ projektiga juba 50 aastat enne seda, kui see täna on aktuaalseks saanud. Onu eeskujust tiivustatuna viisingi dokumendid TPI-sse. Minu otsus inseneriks õppida valmistas isale pettumuse, kes oleks soovinud, et tema pojast saaks arst. Hiljem ma „rehabiliteerisin“ pisut ennast, kuna mu erialaks kujunes arvutite „tervis“, ehk siis ikkagi kaudselt „meditsiin“.

ÜLIKOOI

Konkurents automaatika erialale oli suur. Vastu võeti vaid need, kes sooritasid kõik eksamid viitele. Minul ei läinud ülikooli astumine libedalt. Nimelt oli matemaatikas eksaminaatoriks teiste hulgas ka minu kooliõpetaja, kes mu teadmisi kõrgelt hindas. Mu eetilised tõekspidamised aga ei lubanud minna „kergema vastupanu“ teed - astuda oma õpetaja juurde. Valisin teise eksamineerija, kes „õnnetuseks“ esitas lisaküsimuse, mida meie koolis ei olnud puudutatud. Hinne 4 sulges ukse automaatikute rühma. Õppisin ühe aasta elektrivõrke ja -süsteeme, mille järel õnnestus siiski igatsetud erialale üle minna.

Teadusele ma ülikooliaastatel ei mõelnud, kuigi õppimine kulges sama kergelt kui kooli ajal. Mul oli palju huvisid, lisaks spordile laulsin TPI meeskooris ja tuli ka elatist teenida. Sagedased võistlusreisid sundisid puuduma loengutelt, mis pani iseseisvalt õppima, raamatuid uurima ja optimaalselt aega planeerima. Salamahti see kõik kujundas pinnast teadlase elukutseks.

Tudengieas tegin ühe kummalise tähelepaneku. Kui esimestel kursustel oli mu mälu suurepärase, mis tähendas seda, et eksamile minekuks piisas konsepti ühekordsest läbilugemisest, siis viimastel kursustel hakkasin tähele panema, et mehaaniline mälu oli justkui halvemaks muutunud ja asjade meenutamiseks kippusin rohkem loogikat kasutama. Ühene järeldus sellest – olin ülikoolis õppinud mõtlema. Mulle meeldis rohkem probleeme lahendada kui tekste ja fakte meelde jätta.

Ülikoolis oli kõik väga erinev sellest, mis koolis oli olnud. Kool põhines kontrollil, ülikool – vabadusel ja vastutustundel. Matemaatika harjutusi viis läbi assistent **Arno Kass**, kes tavatses tahvli juures hätta jäänule öelda, et tolle projekteeritud sillast ei julgeks tema küll üle minna. Matemaatika loenguid pidas väga selgelt ja arusaadavalt **Leo Ainola**. Need toimusid TPI Kopli hoone kuulsas seitsmendas auditooriumis korraga 300 üliõpilasele. Kaunis vaade läbi akende sinisele merele viis pahatihti mõtted teoreemidest eemale. Füüsikat õpetas äärmiselt sümpaatne ja delikaatne **Albrecht Altma**, kellele oleks väga piinlik olnud eksamil häbisse jääda. Õppejõud, keda eriliselt imetlesin, oli dotsent **Wilhelm Kracht**. Willi, nagu teda kutsusime, esitas meile kord loengul ühe maailma klassiku Edward McCluskey, keda hiljem ka isiklikult tundma õppisin, matemaatilise meetodi. Seejärel aga asetas sinna kõrvale omaenda meetodi, mis täiendas McCluskey't ja oli täpsem. Klassika tähendas minu jaoks midagi lõpetatut ja igavest. Klassikud olid Newton, Einstein, Darwin. Aga et klassikute kõrvale suudab midagi panna ka üks eesti mees, tähendas minu jaoks midagi erilist ja suursugust. Võib-olla just see loeng oligi hetk, kui minuski hakkas mingi seeme idanema – midagi niisuguse arusaamise taolist, et uue meetodi välja mõtlemiseks teaduses ei pea olema just Newton.



Wilhelm Kracht

Professor **Hanno Sillamaa** autoriteet kujunes nii tugevaks, et aastaid hiljem oma doktoritööd kaitsma minnes tundsin kohmetust, kuna tuli oma õpetajast mööda astuda, kellel endal ei olnud doktorikraadi.



Hanno Sillamaa

Olin oma teadustulemuste poolest küll siis juba mõnda aega „valmis“, aga just sellest kohmetusest üle saamine võttis veel mitu lisa-aastat doktoriks väitlemiseni.

Matemaatika erirühma astujaid vabastati lisanduva õppekoormuse tõttu omal valikul mõnest põhiainest. Võtsin end vabaks arvutite kursusest, mida luges kuulsa keeleteadlase poeg **Andri Ariste**. Elu paradoksina sai aga just arvutite riistvara hiljem mu erialaks. **Mall Kotli** – eesti esimese programmeerimiskeele MALGOL looja – õpetas meile arvutite automaatprogrammeerimist. Läksin huviga tema loengule, sest ma ei suutnud ette kujutada, kuidas on võimalik automatiseerida niisugust intellektuaalset tööd nagu programmide välja mõtlemine. Selgus, et tegu polnudki müstikaga. Programmi mõtles välja ikkagi inimene, masin vaid tõlkis kirjutandu ühte teise keelde, mida arvuti riistvara mõistaks.

Automaatika ainetega viisid meid kurssi dotsendid **Lauri Einer**, **Erik Hansen** (kirjanik Tammsaare poeg), **Heino Ross**, kes oli meie rühma juhendaja, **Guido Väljamäe**. Meil olid väga head õppejõud, kes kujundasid meis kõigis loovat insenerlikku mõtlemist, iseseisvust ja kriitilist meelt. Peaaegu kolmandik me rühmast lõpetas ülikooli kiitusega, kes said hiljem kõik tehnikakandidaatideks, kolm meie hulgast kaitsesid doktorikraadi ja on täna akadeemikud.

Minu praktikakohaks sai Raadiotehase „Punane Ret“ juurde kuuluv raadioelektronika konstrueerimisbüroo ehk lühendatult TKBRE, kus tegin oma diplomitöö ja kuhu ma hiljem ka tööle jäin. Too aeg oli läbimurdeline tehnoloogias – toimus üleminek elektronlampidelt transistoridele. Diplomitööna projekteerisin ja ehitasin valmis esimese transistoridel töötava impulssvõltsmeetri tolleaegses N Liidus. Mul oli tarvis sinna väga heade omadustega lairibavõimendit. Katsetasin mitmeid skeeme erinevate tagasisidestustega, kuni paari kuu pärast olin leiutanud ühe erilise „transistorkolmiku“. Võimendi osutus paremaks, kui ajakirjadest loetud ameeriklaste skeemid. Hiljem hakati mu kolmikut kasutama ka meie asutuse mõnes teises laboris, aga patenteerimata see jäigi.

Töö võltsmeetri kallal jätkus peale diplomikaitsmist. Seade pidi mõõtma 75 tuhande voldiseid impulsse. Selliseid impulsse Eestis kusagilt võtta ei olnud ja nii tuli katseteks sõita tellijate juurde Moskvasse. See oli paraja riskiga töö, sest kogu projekteerimine ja senine katsetamine oli toimunud millivoldiste impulsside abil ning polnud üldse selge, kuidas töötab pingejagaja ja kas võltsmeetri varjestus ikka kaitses meie õrnu transistorskeeme kilovoltide pealetungi eest. Aga katsetused laabusid, sellist riistapuud ei olnud veel olemas maailmas ja meie tööd tunnustati. Mul on hea meel, et õnnestus õigel ajal korraga ka insenerina „tipus ära käia.“

Minu juhendajaks inseneriks saamisel oli **Peep Tamm**, tore ja lahke kolleeg, alati valmis kõike seletama ja vastama ka rumalatele küsimustele. Samas laboris töötasid veel ühtse perena **Vello Klanberg**, **Kalju Liin**, **Manfred Rillo**, **Karl Sults**, labori juhatajaks oli **Ideja Jefimovna Rappoport**, meeldiv ja asjalik naisterahvas, kellel igasugused bossi kompleksid puudusid. Mul igati vedas kollektiiviga kes minust kolme aastaga inseneri tegi.

Aga esimesed töökogemused ajasid noorel inseneril „nina püsti“: leidsin, et paljusid asju õpetaksin ülikoolis paremini kui mu endised õpetajad. Alles hiljem hakkasin mõistma kui väär oli mu selline mõtlemine. Olin saanud tegelikult väga hea ülikoolihariduse, 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 oma 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 ise. Ja konkreetsed praktilised oskused tulevad kiiresti, kui tugev akadeemilise hariduse põhi on all.

Esimesel suvel pärast diplomikaitsmisi abiellus suur osa mu rühmakaaslasti, nende hulgas ka mina. Pulmades andsime üksteisele edasi **Peeter Mudisti** kujundatud vasest rändkarikat, millele graveerisime abiellujate nimed. Minu abikaasaks sai mu klassiõde **Tiiu Kailvee**, TÜ haridusega saksa filoloog, kes on töötanud nii koolis õpetajana kui ka tõlkijana. Oma hobina on Tiiu laulnud juba aastaid **Paul Ruudi** kergemuusikakooris selle loomisest alates.

ESIMESED SAMMUD TEADUSSE

Teadusse sattusin pärast kolme aastat inseneritööd elektroonikuna TKBRE-s (1965-68). Töö oli algul põnev, aga pikkamisi hakkas muutuma rutiinseks ja nii haarasingi kinni TPI-st pakutud võimalusest minna õppima sihtaspirantuuri Moskvasse.

Ma ei olnud tegelikult kunagi mõelnud otseselt teadlase karjäärile, aga insenerina juba tegutsesin alateadvuses kui teadlane. Kui mu kaaslased laboris ehitasid elektroonikaseadmeid kogemuspõhiselt ja katsetele tuginedes, siis mina kõigepealt arvutasin paberil ja alles seejärel hakkasin transistore omavahel kokku ühendama. Üheks mu omaduseks, mis mind praktilises inseneritöös segama hakkas, oli uudishimu. Oleksin alati tahtnud oma uute väljamõeldud elektronskeemidega rohkem katsetada ja neid täiustada, pidin aga tegema seda, mida laborijuhataja nõudis. Töös oli liiga palju ettekirjutusi, rutiini ja liiga vähe vabadust uurimiseks ning uudishimu rahuldamiseks.

Nii tegingi alles nüüd oma valiku teaduse suunas, tunnetades otseselt kutsumust, aga mitte kedagi järele matkides või peavoolu järgides, janunedes vaid vabaduse ja loominguliste seikluste järele.

Aspirantuuri koha valik seondus koomilise puändiga. 1964. aastal oli loodud TTÜs arvutustehnika kateeder. Õige pea eristusid kateedri töös kaks suunda, mille baasil sündisid juba kahe aasta pärast kaks uut iseseisvat kateedrit – arvutusmatemaatika ja informatsioonitehnika. Viimast juhatas dotsent **Ustus Agur**. Vajades kateedrisse informaatika asjatundjat ja otsides sobivat ülikooli, kuhu tulevast kolleegi õppima suunata, jäi ta silm peatuma Informatsioonisüsteemide kateedril P-7 Moskva Baumani-nimelises Tehnikaülikoolis MVTU. Moskva Riikliku Ülikooli kõrval loeti MVTU-d tähtsuselt teiseks ülikooliks N Liidus. Puánt oli aga selles, et kateedris P7 õpetati mitte informaatikat, vaid lennuparaatide ja kosmoselaevade infosüsteeme. Kui läksin 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 ka 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 teemaks Moskvast 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. Sain endale juhendaja, kes oli meistersportlane ujumises ja alpinismis. Spordi teemal oli meil palju ühist rääkida, teadusega ta aga ei tegelenud ja sisulist juhendamist ma ei saanudki. Mõnes mõttes oli see hea – olin vaba oma uuringutes ega sõltunud kellestki. Aga esialgu ei osanud ma vabadusega midagi peale hakata. Ei teadnud isegi seda veel täpselt, mida nimetatakse teaduseks. Hakkasin õppima kõigepealt uut sõnavara, mida kateedri seminaridel kasutati. Et „oma rida“ üles leida, tuli töötada pikki päevi, kus nägin vaid oma töölaudu Baumanis, Lavotshkinis ja „Leninka“ raamatukogus, aga mitte Moskvat ennast. Ka sport tuli unustada päevapealt.

ASPIRANTUUR MOSKVAS

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 preemiaks 80 rubla. Aga väitekirja teemat polnud mul ikkagi veel.

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.

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 arvutiekspereimendid 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 juhendus 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. Väitekirja oli valmis saamas, askeetlik eluviis ja „abieli“ teadusega oli viljakaks osutunud. Nüüd aspirantuuri lõpusirgel muutsin elustiili, aega oli rohkem ja hakkasin aktiivselt külastama Moskva teatreid ning varsti olin kõrvuni armunud mitte üksnes teadusse, vaid ka vene kultuuri.

Dissertatsiooni trükkisin valmis ühiselamus. Seejärel viisin masinakirja ülikooli salajasse eriosakonda, kus lisasin veel ühe seal samas koha peal trükitud lehekülje, millele ilmus kogu töö ainus (!) „salajane“ sõna – „*Venera*“. Pärast seda muutus salajaseks kogu väitekirja, 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 nõukogu ette pääsemiseks olid eeltingimusteks edukas proovikaitsmine kateedris ja õnnestunud väitlused oponentide juhitud laborites. Mäletan, kuidas mu ühele Kasahstanist pärit ühiselamukaaslasemale, kelle väitekirja 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.

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

Järgmisel aastal sündis meil peres tütar Tiina. Tema on valinud endale kunstniku tee ja meil on tore filosofoerida omavahel füüsikute ja lüürikute teemal. Täna kasvatab ta nelja last.

TEEKOND DOKTORIKRAADINI

TTÜ-s tööle asudes oli informatsioonitehnika ehk arvutite eriala alles väga uus, õppejõududest oli puudus ja mul tuli õpetada kohe väga palju erinevaid aineid. Auditoorne koormus oli 25-30 tundi nädalas, kusjuures kursused olid kõik uued ja loengute ettevalmistamiseks tuli appi võtta öid. Samal ajal otsisin ka uut teadustemaatikat. Moskvas olin spetsialiseerunud kompleksüsteemide, eeskätt lennuparaatide diagnostikale. Aga Eestis lennukitööstust ei olnud, seega tuli eriala muuta. Nägin kahte võimalust. Neil aastail astusid me ellu arvutid ja ka meditsiinis hakati otsima võimalusi haiguste diagnostika automatiseerimiseks arvutite abil. Inimestki võis vaadelda kompleksüsteemina, mida diagnoosida, mis oleks mulle uurimisobjektina kindlasti hästi sobinud. Teiseks võimaluseks oli hakata tegelema ka arvutite endi diagnostikaga, millest oli samuti sel ajal kujunemas kuum valdkond. Valisingi viimase, kuna Eestis oli parajasti hoogu läinud arvutite ehitamine ja Teadusliku Uurimise ja Projekteerimis-Tehnoloogilises Instituudis (TUPTI) oli **Harry Tani** juhtimisel leitud ka sobiv nišš – spetsialiseeritud arvutite projekteerimine. Käivitasime TTÜ ja TUPTI vahel lepingulise koostöö testprogrammide genereerimiseks seal ehitatavale arvutile STEM.

See oli minu jaoks tehnikateaduste seisukohalt väga tänuväärne periood, kuna õnnestus ühitada nii oma aspirantuuris saadud teadmisi kui ka õppetööd tihedalt tolleaegse elektroonikatööstuse vajadusega Eestis - algul koostöös TUPTI-ga (1972-1976) ja seejärel Küberneetika Instituudi Arvutustehnika EKB-ga (1976-1991). Töötasime välja meetodeid ja algoritme arvutite riistvara testimiseks ning rakendasime oma teadustulemusi arvuti „STEM“ diagnostikasüsteemi loomisel, mis võimaldas arvutil ennast ise testida. 70-ndate lõpul ja 80-ndatel töötasime välja tarkvara testide sünteesi automatiseerimiseks, mida kasutati väikearvutite arendustöös ja tootmisel nii NL juhtivates firmades kui ka Eestis loodud arvutite puhul – 70-ndate lõpul miniarvuti „VIRU“, mida rakendati Tallinna Elektrotehnikatehases jõupooljuhtide tootmisel, ja 80-ndate lõpul EKTA poolt tootmisse juurutatud kooliarvuti „Juku“.

Tänuga meenutan sellel Eesti oma arvutite loomise perioodil toimunud tihedat koostööd kolleegidega Küberneetika instituudist nagu **H.Tani, T.Lohuaru, P.Saraškin, A.Jõgi, M.Pall, A.Voolaine, O.Räisa, H.Haak** jt., aga samuti oma tolleaegsete õpilastega TTÜs, nagu **A.Viilup, T.Evartson, A.Toomsalu, M.Plakk, P.Kitsnik** jt.

Elektroonikaskeemid on väga keerulised, sisaldades sadu miljoneid loogikaelemente, mis kõik võivad mitmetel põhjustel rikki minna. Skeemide testimise eesmärgiks on avastada rikkeid. Testide süntees on äärmiselt keeruline, sest tuleb välistada olukord, et mingi rike võiks testimisel jääda avastamata. Kõikvõimalike rikete simuleerimine ehk „läbimängimine“ sünteesitud testidega võtab rikete suure hulga tõttu meeletult aega. Seepärast ongi iga uus idee, mis võimaldab simuleerimisel ja analüüsil aega kokku hoida, väga tähtis tulemus elektroonika diagnostikas.

1970. aastate keskel sattusin ühele N Liidu tippkonverentsile Uuralis. Tutvustasin seal oma uut ideed elektronskeemide testide usaldusväärsuse analüüsiks. Kui seni osati analüüsida testide efektiivsust rikete avastamisel ühe testi kaupa, aga testide hulk võis ulatuda tuhandetesse, siis minu uus algoritm võimaldas analüüsida üheaegselt palju teste korraga. See tähendas aga põhimõttelist murrangut testide analüüsi kiiruse tõstmisel. Algul ei usutud mind, et selline testide üheaegne küllaltki keerukas matemaatiline analüüs on üldse võimalik. Momentaalselt tekkis üks *ad hoc* asjatundjate töögrupp veel sel samal konverentsil, kes hakkas mu ideed kontrollima. Aga kõik oli õige. Ja just see sündmus viiski mind üheainsa hetkega N Liidu tippasjatundjate seltskonda elektroonika testimise valdkonnas.

Need iga-aastased üleliidulised „diagnostikakoolid“, mis kestsid nädala või rohkemgi, andsid võimaluse tihedaks ja viljakaks koostööks N Liidu tippteadlaste vahel. Sellesse kooli kutset saada oli tunnustus. Ja kriitika ettekantavate uute tulemuste suhtes oli halastamatu. Traditsiooniks kujunes „maale tagasi tuua“ oma esimestest tulemustest liigvaimustuses olevaid noori aspirante. Pääs tippajakirjade veergudele käis üksnes läbi selle kooli filtri. Kahju oli vaid, et sinna ei lubatud välisteadlasi. Põhjuseks oli paljude koolist osavõtjate seotus salajaste tehastega ja sellest tulenev keeld kokku puutuda välismaalastega. Kord õnnestus mul siiski kokkuleppel peakorraldajaga tuua kooli inkognito üks

Euroopa tippteadlasi, aidates nõnda kaasa juba õige varakult Ida- ja Lääne koostöö käivitamisele. 1984. aastal korraldasime samalaadse, järjekorras 10-nda üleliidulise diagnostikakooli ka Tallinnas.

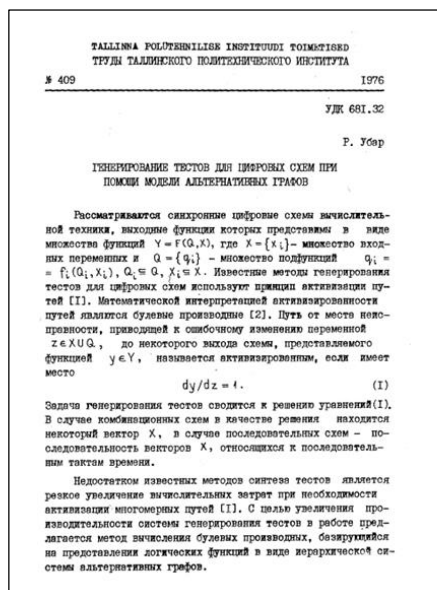
N Liidus oli tavaks, et kandidaadikraadi saanud noortel õppejõududel lubati pärast väitekirja kaitsmist aastaks kuhugi välismaale stažeerima minna. Ühtegi lääneriiki polnud mul asja. Nii öeldi mulle ülikoolis otse: „Astu parteisse ja ukсед lähevad sul lahti“. Nn sotsmaad võisid aga kõne alla tulla küll. Valisingi Dresdeni Tehnikaülikooli Ida-Saksamaal. Valikut motiveeris võimalus taaselustada 3-aastase lapse saksa keele oskus.

Pärast teaduskontaktide loomist ja saksakeelsete artiklite avaldamist Ida-Saksamaal kutsuti mind järgnevatel aastatel pidevalt sinna tagasi loenguid pidama: Dresdenisse, Ilmenausse, Ida-Berliini, Leipzigi, Magdeburgi, Wismarisse. 1983. aastal võeti üks mu artikkel vastu maailma tippkonverentsile Milaanos, aga sõitmata sinna jäigi. Rohkem ma oma töid Lääne konverentsidele enam ei saatnud. N Liidus reisisin aga palju. Vladivostok oli kaugeim koht, kus õnnestus käia. Ümber linna kõrgusid seal lagedad sopkad, kus kunagi oli laiunud taiga, mis aga ehitusmaterjali saamiseks linna rajamisel maha raiuti. Loodus ei lase end narrida – seedrimetsad sopkadel ei taastunudki enam.

Meie alal tavatseti öelda, et kolm artiklit keskajakirjas „Automaatika ja telemehaanika“ pidavat tähendama juba doktoritööd. Need artiklid olid mul 1980. aastate algul olemas. Olin avaldanud ka artikleid Saksa DVs, monograafia TPI kirjastuses [1] ja pisut hiljem veel ühe N Liidu keskkirjastuses *Mašinstrojenije* [2]. Aga doktoritööle ma tõsiselt ei mõelnud. Teadustööd ei teinud ma karjääri pärast ega ka „punktide kogumiseks“, vaid rõõmu ja lusti pärast. Kuid siis hakati mult üha sagedamini konverentsidel küsima, millal ma oma „formaalsused“ ära teen. Ja nii ta siis lõpuks läks: doktoritöö kaitsesin 1986. aastal Riias Läti Teaduste Akadeemia juures. Professori diplomi sain aasta hiljem.

ALTERNATIIVSED GRAAFID

70-ndate keskpaigas testide genereerimise algoritme luues tulin mõttele kujutada digitaalskeeme graafide abil, mis võimaldaksid korraka modelleerida nii skeemide funktsioone, struktuuri kui ka võimalikke rikkeid. Nimetasin selle enda välja mõeldud mudeli alternatiivseks graafiks (AG) ja publitseerisin uue idee 1976. aastal TPI toimetistes [3]. Osutusime pioneerideks selle mudeli toomisel diagnostikasse. Järgmine samalaadne artikkel ilmus USAs alles kaks aastat hiljem [4]. Ise sain sellest teada veel kaks aastat hiljem, nii aeglaselt liikus siis info. Ma ei pidanud algul oma leiutist eriliseks saavutuseks ja toleaegses infosulus ei tulnud selle pealegi, et tegelikult oli alanud juba võidujooks terves maailmas.



Kuid uurimistöö meil ja mujal kulgesid siiski pisut eri suundades. Mujal uuriti sarnaste graafide kasutamist loogikafunktsioonide analüüsiks, mis viis aga peagi keerukuse seina ette kerkimiseni. See oligi põhjuseks, miks mudel algul ära põlati ja Läänes uurimistöö selles valdkonnas soikus. Meie eesmärgiks Eestis oli modelleerida nende graafidega funktsioonide asemel struktuuri ja rikete diagnostika aluseks olevaid struktuurseid “põhjuse ja tagajärje” vahelisi suhteid ning me leidsime ka lahenduse, kuidas hakkama saada keerukuse kasvuga skeemides. Kahjuks avaldasime oma tulemusi järgnevatel aastatel üksnes vene keeles, mistõttu meie töö jäi Läänes märkamata.

Alles kümme aastat hiljem (1986), kui arvutid olid juba piisavalt võimsad, et keerukusega edukamalt võidelda, avaldati USAs artikkel [5], mis käsitles analoogilisi graafe ja mis nimetati binaarseteks otsustusdiagrammideks (BDD). Sellest artiklist alates algaski arvutiteaduses selle mudeli kasutamise buum,

millist tänaseks on saanud üks tähtsamaid teoreetilisi aparate arvutiteaduses. Graafide nime osas tuli ka meil ühineda „peavooluga“ ja nimetada “oma alternatiivsed graafid” ümber BDD-ks.

80-ndate esimeseks pooleks (veel enne nimetatud buumi algust) oli uus teooria meil juba nii kaugele arendatud, et TTÜ ja KÜBi koostöös õnnestus valmis ehitada esimene BDD-põhine testide generaator maailmas. Meie tööd autasustati hõbemedaliga 1986. Rahvamajanduse näitusel Moskvast.

Paralleelselt juhtisin Küberneetika Instituudi Erikonstrueerimisbüroos EKTA veel ühte uurimisgruppi, kus ehitasime valmis dialoogrežiimis toimiva intelligentse elektroonikaplaatide testimissüsteemi koos vastavate algoritmide ning tarkvaraga rikete otsimise automatiseerimiseks. Diagnoosi kiiruse tõstmiseks kasutasime neid samu BDD-graafe. Vormistasime neli leiutist ja ka siin pälvis lõpptulemus hõbemedali samalt näituselt. TTÜ-st ja EKTAst olid saanud tunnustatud asutused oma diagnostika kompetentsiga toleaeegses NL-i arvutitööstuses elektroonikaseadmete testimise valdkonnas.



80-ndate lõpul ehitasime TTÜ ja EKTA koostöös NL tipptööstust esindava Minski arvutite tehase tellimisel intelligentse testsüsteemi seal toodetavate personaalarvutite trükkplaatide testimiseks. Sellest sai tippsaavutus testimistehnoloogias, kuna Eesti tester osutus efektiivsemaks kui analoogilised testimissüsteemid, mida tootis maailmaturul edukalt esinev Itaalia firma Olivetti. Minski tehase eelistas meie testrit.

Minu huvid graafiteooria arendamisel olid suunatud võitlusele elektroonikasüsteemide kasvava keerukusega. Selle asemel, et modelleerida süsteeme miljarditest transistoridest koosneva võrguna, leidsime võimaluse nende kirjeldamiseks vähem keerukal struktuursel tasandil. Üldistasime oma graafiteooriat ja töötasime välja ühtsed põhimõtted graafide analüüsiks sõltumata sellest, millisel abstraktsioonitasemel nende graafidega süsteemi modelleeriti.

Oma doktoritöö „Digitaalsüsteemide diagnostikameetodite uurimine ja väljatöötamine“ kaitsesingi just niisuguste üldiste graafide teemal, mis võimaldas oluliselt paremaid tulemusi saavutada üha keerukamaks muutuvate süsteemide diagnostikas. Väitekirjal oli sümbolne teed rajav tähendus, sest just samal aastal saigi alguse nn BDD-buum terves maailmas, kus käsitleti aga siiski üksnes “madalat” loogikatasandit, kus keerukus jäi endiselt tõsiseks probleemiks.

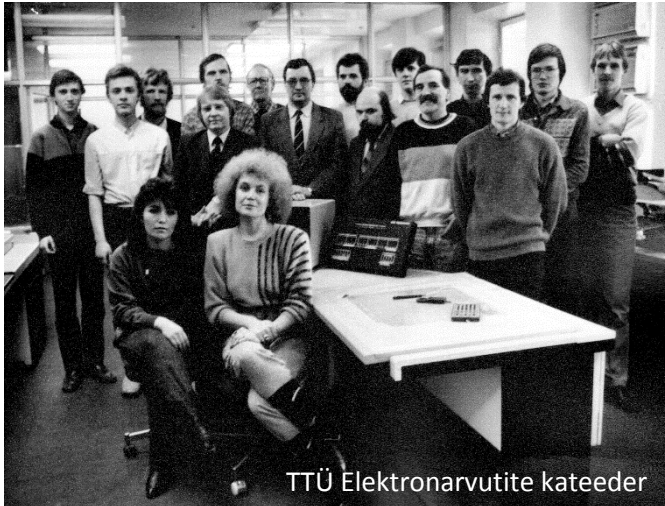
N Liidus oli normiks saata kaitsstud doktoritööd veelkordsele läbivaatamisele nn. „mustale oponendile“, kelle nimi jäi saladuseks. Väga paljudel juhtudel jäid doktorikraadid kinnitamata just nende mustade oponendide kriitika tõttu. Et “saatust mitte juhuse hooleks” jätta, oli mõistlik valida ametlikeks oponendideks kõige suurema reputatsiooniga teadlased. Minul oli veel üks kriteerium. Konverentsidel ettekandeid tehes oli mul tekkinud üks „väga suure mõjuvõimuga vastane“, kes regulaarselt püüdis mu meetodeid kritiseerida. Töötasime temaga väga lähedaste probleemide kallal ja loomulikult võitlesime siis vastakuti kumbki oma teadusliku tõe eest. Nii otsustasingi valida just selle professori üheks oma avalikuks oponendiks, vältimaks tema hilisemat võimalikku sattumist „musta oponendi“ rolli, mis oleks võinud “ohtlikuks” osutuda. Kindlam oli minna kohe algul tema laborisse väitlema, et lahendada vastuolud ja saada nõusolek oponeerimiseks. Meie puhul konkureerisid kaks teooriat – mu vastase „Boole'i kuupide teooria“ ja “minu graafid”. Ma ei saanud ju öelda otse, et mu graafid on “paremad” kui nende kuubid. Küll aga sain osutada sellele, et “teatud juhtudel” tuleks eelistada kuupe aga “teatud juhtudel” graafe. Nii poleks hundid nälga jäänud ja ka lambad oleksid terveks jäänud. Taktika “töötas” ja ma sain lõpuks tunnustuse oma graafidele ka sellelt professorilt kätte. Täna on meie vaidlusküsimuse lahendanud elu: kuubid on unustatud, graafidest on aga saanud ülemaailmne buum.

Mu väitekirja pälvis N Liidu akadeemilistes ja tööstusringkondades märkimisväärset tähelepanu. Sain oma tööle tervelt 25 positiivset arvamust ülikoolidest ja uurimisasutustest, mis oli tavalise 7-8 juures erandlik. Eks põhjuseks oli kindlasti see, et olin oma töid ja tulemusi juba aastaid tutvustanud tähtsamatel konverentsidel, kus olin leidnud juba mõnda aega tunnustust. Kaitsmisel esitati oponendide poolt väljakutse hakata väitekirjas esitatud tulemusi N Liidus kohe ühiselt edasi arendama, vastasel korral võtvat Lääs ise üle initsiatiivi. Paraku muutusid ajad ja eesti teadlased hakkasid nüüd

oma sihikuid hoopis ise Läände suunama. Meie originaalne graafide teooria oli see, mida Läänes veel ei tuntud ja mille tutvustamise teel õnnestus nüüd hakata looma uusi rahvusvahelisi koostöökontakte.

KATEEDER JA ELEKTROONIKA KOMPETENTSUSKESKUS

Kahjuks tuli mul endal just sellel arvutiteaduses alanud BDD-buumi ajal teadus mõneks ajaks kõrvale jätta. Pärast doktoriks saamist ja professoriks kinnitamist määrati mind juhatama TTÜ elektronarvutite kateedrit ja administratiivsed kohustused kasvasid üle pea. Juhatasin kateedrit aastatel 1987-1992. See oli raske aeg, akadeemiline elu ülikoolis sai üleminekul sotsialistlikust süsteemist kapitalistlikusse ränga hoobi. Maad haaras äri- ja ettevõtlusbuum. Amokijooksust ärisse nakatus ka ülikool. Õppejõud löid oma firmasid, sama tegid üliõpilased. Otsiti tulusamat tegevust kui õppetöö ülikoolis. Laborid jäid tühjaks, teadustöö ei olnud enam motiveeritud, materiaalne baas oli aegunud. Tunnetasin aga uue



tööpostiga seonduvat kohustust ja seadsin eesmärgiks – kateeder „Läände viia“. Sõlmisin kontakte Rootsis ja Saksamaal, uute sidemete abil õnnestus pisut parandada arvutibaasi.

Asutasin kateedri juurde diagnostikaringi, kus hakkasid käima esimese kursuse tudengid, kes olid väga huvitatud arvutitest ja programmeerimisest. Palka siin kellelegi ei makstud, aga formuleerisime põnevaid ülesandeid ning mõtlesime välja algoritme diagnostikaprobleemide lahendamiseks, kus iga uue tudengite loodud programmiga kaasnes sisuliselt uus teadustulemus. Tänu poiste usinale tööle valmis meil 90-ndate

algul unikaalne tarkvarasüsteem, mis sünteesis teste, analüüsis testide kvaliteeti, ja aitas leida üles rikkeid elektroonikaskeemides. Poisid panid oma süsteemile nimeks Turbo-Tester, võttes malli tookordsest tarkvarakeelest Turbo Pascal. Tänu meenutan oma toonaseid õpilasi, kes selle süsteemi loomisele panuse andsid: **Ahto Buldas, Viljar Tulit, Villem Alango, Kalle Pungas**. Seda tarkvara üritasin nüüd tutvustada Rootsis, Saksamaal, Prantsusmaal ja Inglismaal, tehes niiviisi ka Tallinna Tehnikaülikooli omas valdkonnas tuntuks Läänes.

Meil puudus aga õppelabor. Olukord oli tragikoomiline: arvutite kateedris polnud arvuteid. Taotlesin toetust nii ülikooli juhtkonnalt kui ka ministeeriumilt arvutiklassi rajamiseks, viidates meie endi loodud tarkvarale Turbo-Tester, mis pidi tõendama meie võimekust ja omapoolset aktiivsust arendustöös. Püüdsin veenda ametnikke, et meie uuele tarkvarale rajatud labor oleks unikaalne maailmas ja võimaldaks tõsta ülikooli rahvusvahelist mainet. Aga raha ei leitud. Olgu öeldud, et sedasama Turbo-Testrit, mida oleme muidugi pidevalt edasi arendanud, on tänaseks litsentseerinud rohkem kui 300 ülikooli ja asutust enam kui neljakümnes riigis.

Aga ka selles olukorras leidsime väljapääsu. Kohe 90-ndate algul, niipea kui olin pääsenud esimest korda elus Läände, hakkasime arendama tihedat koostööd Rootsiiga, vahetasime oma Turbo-Testri litsentsi meie jaoks väga hinnalise disainitarkvara DIXI-CAD litsentsi vastu firmaga Digsim Data AB, mille juurutasime kohe õppetöösse. Lääne kontaktide kaudu saime kingituseks kasutatud arvuteid ja tööjaamu ning niiviisi õnnestus parandada ka meie viletsat laborikeskkonda ja jätkata teadustööd.

Meie uuenduslikud tulemused graafiteoorias koos rakendustega diagnostikas olid aluseks granti saamisele Prantsuse Valitsuselt, mis avas mulle võimaluse teadustööks Grenoble'i ülikoolides ning kontaktide arendamiseks ka teiste Lääne uurimisasutustega. Töötasin neli kuud noorte 30-aastaste andekate ja „vihaste“ meeste keskel Grenoble'i kuulsas TIMA laboris. Olin siis 50 ja varjasin oma vanust, kartes, et „nii vana meest“ ei võeta tõsiselt. Pisut hilja olid piirid avanenud minu jaoks.

Viibides Euroopa südames, avarus maailm laiemalt. Koju tagasi reisisin rongidega läbi Müncheni, Darmstadt, Dresdeni ja Stockholmi, kus kõikjal pidasin ülikoolides loenguid ja tutvustasin meie

teadustulemusi. Tänu uutele kontaktidele vaatasin lootusrikkalt tulevikku. Uudised kodus aga polnud rõõmustavad – Teadusfond oli mu grantitaotluse tagasi lükanud, aga tudengeid oli raske ilma palgata motiveerida uurimistööks. Olukord siiski paranes ruttu. Järgneva kahe aasta jooksul õnnestus mul tuua Eestisse neli europrojekti (Tempus-PLD, EEMCN, FUTEG, ATSEC). Olime vist esimesed Eestis, kes 1994. aastal erandina (projekti ATSEC kaudu) pääses IV Raamprogrammi, kuhu Ida-Euroopa riikidel veel ei olnud ametlikku ligipääsu.



Arvutialane teadustöö Tallinna Tehnikaülikoolis pälvis nende projektide abil laiemat rahvusvahelist imagot, mis tagas TTÜ-le ka vastuvõtu esimese Ida-Euroopa ülikoolina (Varssavi Tehnikaülikooli kõrval) Lääne-Euroopa eliitülikoole elektroonika tipptööstusega ühendavasse assotsiatsiooni EUROCHIP (hilisem EURO PRACTICE). Niiviisi liitus TTÜ juba aegsasti Euroopa tippülikoolide võrguga ja teenis ligipääsu hinnalisele professionaalsele tarkvarale. Mu tolaeagne õpilane, tänane TTÜ Arvutitehnika instituudi teadusjuht professor Jaan Raik

meenutab: „Meie laboris installeeritud tarkvara kommertsväärus ulatus kümnetesse miljonitesse kroonidesse, mida aga meile võimaldati vaid murdosa hinnaga. Pidime üksnes alla kirjutama dokumendile, et me ei tooda tuumapomme. Labori võlu seisnes teha tipptasemel teadust ja luua päriskeepe.“

Mikroelektroonikast oli saanud innovatsioonimootor ja see valdkond arenes kohutava kiirusega. Akadeemia paremaks lõimumiseks tööstusega levis nendel aastatel Euroopas trend asutada ülikoolide juurde kompetentsuskeskusi. Toetudes europrojektide kaudu tekkinud võimalustele asutasin ka mina 1993. aastal TTÜ juures Elektroonika Kompetentsuskeskuse (EKK), mille missiooniks oli koordineerida elektroonikadiseini alast uurimistööd TTÜs ja ehitada üles vajalik infrastruktuur. Uues keskus projekteeriti **Jüri Pöldre** poolt esimene ülisuur integraalskeem Eestis – ligi miljonist transistorist koosnev pöidlase suurune protsessor krüptograafia rakendusteks – valdkonnas, mis on infotehnoloogias täna eriti tähtis ja kus Eesti on ka edukaks osutunud. Olulise panuse meie keskus ja hiljem eesti krüptograafia arendamisel on andnud mu õpilased **Ahto Buldas ja Märt Saarepera**.

Meie diagnostikauuringute eesmärgiks oli graafiteooria edasi arendamine ja rakendamine keerukate süsteemide testprogrammide sünteesi automatiseerimiseks. Kolm esimest europrojekti tähendasid intensiivset koostööd rohkem kui 20 ülikooli ja instituudiga Euroopas. Kolme aasta jooksul (1993-1995) õnnestus meil saata umbes 60 tudengit ja õppejõudu-kolleegi kuni kolmeks kuuks õppima Saksamaale ja Prantsusmaale ning korraldada Eestis loengukursusi paljudelt Lääne tippteadlastelt.

Sel kõigel oli märkimisväärne panus meie kõigi arengule. Samas aga tähendas noortele uste avamine Euroopasse tagasilööki “ajude äravoolu” näol nii keskusele kui ka mu enda uurimistööle. Ühel hetkel, kui oli just algamas uus europrojekt (ATSEC), oli kogu mu uurimisgrupp, kes seda projekti pidi täitma hakkama, kõigi nelja tuule poole Läände ära haihtunud.

Tuli taas alata algusest. Asutasin uue diagnostikaringi, kus ülesanne seisnes hierarhilise testide generaatori loomises, millist maailmas veel ei eksisteerinud. Teoreetiliseks baasiks olid meil need samad kõrgtaseme graafid, mis olin oma doktoritöös esitanud, aga milliste katsetamised olid vahepeal pooleli jäänud. Üllatus oli suur: ringi esimesele koosolekule tuli peaaegu pool minu õpperühmast, kellele ma sel semestril loenguid pidasin. Hiljem jäid sõelale küll vaid üksikud nagu **Jaan Raik, Priidu Paomets, Anti Markus**, aga töö läks käima. Ringi lisandusid veel eelmisest



grupist ainsana alles jäänud **Marina Brik**, hiljem tulid uued liikmed **Eero Ivask ja Gert Jervan**, veelgi hiljem **Artur Jutman** ja mitmed teised. Täna on Jaan, Marina, Artur, Gert ja Eero juba doktorid, Jaan ja Gert on professorid. Projekti ülesande me täitsime. Ehitasime valmis testigeneraatori, mille taolist kommertstarkvarana ei eksisteeri ja mis võrdluses olemasolevate ülikoolide analoogidega töötas mitu korda kiiremini.

Eks siingi rippus pea kohal damoklese mõök ajude äravoolu näol: mida “kuumem” valdkond, seda suurem tõenäosus, et andekamad ahvatletakse ära. Tiptasemel töötavat infotehnoloogia teadlast oli 90-ndatel raske Eestis kinni hoida. Kuid ometigi on midagi, mille vastu ei saa ka “rahavõim”. Taas pakuti ühele mu õpilasele neil päevil tööd *Silicon Valley’s*. **Jaan Raiki** reaktsioon sellele aga oli üllatav ja sümpaatne: “USA-st leiaksin alati palgatöö, aga see, mida siin laboris teeme, on liiga huvitav, et jätta...”.

ADMINISTRATIIVNE JA TEADUSPOLIITILINE INTERLUUDIUM

1993. aastal valiti mind Teaduste Akadeemiasse. Kui enne seda olin jäägitult pühendunud teadusele ja lugesin enda jaoks kõige olulisemaks rahvusvahelist tunnustust teadlaste hulgas, siis akadeemikuna hakkasin tajuma ka medali teist külge. Mõistsin, et olla akadeemik ei tähenda ainult “autasu”, vaid pigem usaldust, mis toob kaasa kohustuse ja vastutuse. Ülikooli teadlaskond valis mind esindama tehnikateadusi Eesti Teadusfondis. See oli eesti insenerkonna suur austus ja usaldus minu vastu. Õige varsti aga, 1993. aasta detsembris, ühel Teadusfondi nõukogu koosolekul valiti mind selle esimeheks. Nüüd tuli kogu eesti teadusele hakata vaatama palju avarama pilguga, kui olin seda seni teinud. Kolleeg **Helle Martinson** oli tol ajal fondi tegevdirektoriks ja tema andis oma toetuse ja nõuga mulle väga palju tuge fondi juhtinisel „ree peale pääsemiseks”. Uurisin kirjandust, mis käsitles teaduse finantseerimist ja evalveerimist. Kasutasin oma kontakte Lääne-Euroopa ülikoolides sealsete kogemuste tundma õppimiseks.

Algul olin oma tööspidamistes liigagi printsiipiaalne ja reformimeelne, pidades teaduses ainsaks väärtuseks väljapaistvust ja kõrget 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 üksnes muutubki ainult 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 väärtuskriteeriume. Täna üritatakse mõlemat valdkonda mõõta sarnaste kriteeriumite põhjal, mille toimimise objektiivsusesse ja efektiivsusesse mina ei usu.

Fondi nõukogu ei olnud kerge juhtida, konfliktseid olukordi tuli ette nii ülal- kui allpool. Valitsus ei soovinud investeerida teadusse vajalikul määral, teadlased aga polnud rahul, kuidas ressursse jagati. Keeruliseks tegi olukorra see, et ministrid vahetusid sel perioodil tihti ja igal ministril oli oma nägemus teadusele. Õppisin palju sellest perioodist, eeskätt mõistma, et mu enda uurimisvaldkond ei ole kogu teaduspaletil see ainus A ja O. Kirjutasin palju artikleid, mis olid pühendatud teaduspoliitikale ja teadusfilosoofilistele küsimustele, nagu mis on teadustulemus, mis on tippteadus, kuidas mõõta teadustöö kvaliteeti... Käsitlesin kõrghariduse ja pedagoogika, Tehnikaülikooli ja inseneriteaduste arenguprobleeme. Kõike seda olen vaagunud ka oma memuaarteoses „Teadusemees“ [29] peitavas mõttepäevikus.

Juhtides TTÜ Elektroonika Kompetentsuskeskust ja Eesti Teadusfondi Nõukogu (1993-1997), kuulusin automaatselt ka Eesti Teadus- ja Arendusnõukogusse. Huvitava kogemuse sain kolme aasta jooksul tööst President **Lennart Meri** Akadeemilises Nõukogus.

Kolme aasta möödudes soovis Teadusfondi nõukogu, et jääksin ka järgmisel 3-aastasel perioodil edasi esimeheks. Siiski läks teisiti, astusin ise tagasi. Tunnetasin tugevamat kutset teaduse poole ja mõistsin ka seda, et teadlasele tüüpilised omadused, nagu kriitiline meel, kahtlemine kui meetod ja tung objektiivse tõe poole ning enesekriitika, ei ole need omadused, mis aitaksid kaasa bürokraatlikule mõtlemisele ja otsusekindlusele teaduspoliitika viljelemisel.

TAGASI TEADUSES

Möödunud sajandi lõpp kulges kahe europrojekti SYTIC (1996-1998) ja VILAB (1999-2001) egiidi all. Tõuke rahvusvahelise koostöö laienemisele andis mu artikkel [6], milles võtsin kokku senised olulisemad tulemused oma graafiteooria rakendamisest digitaalsüsteemide diagnostikas. Koostöös itaallastega töötasime välja senistest efektiivsema meetodi veakindluse analüüsiks [7], prantslastega aga rakendasime uut mudelit süsteemide simuleerimise kiirendamiseks [8] ja disainivigade diagnoosi automatiseerimiseks [9]. Uurimistöö läbiviimiseks viibisin kolmel korral pikematel lähetustel Torinos ja Grenoble'is.



Šokeerisime ühel konverentsil publikut oma uue testide generaatoriga, mis töötas kaks suurusjärku (!) kiiremini kui analoogid [10]. Kuidas siis niisugune ime juhtuda sai? Inseneritöös on kasutusel nii täpsed kui ka ligikaudsed meetodid. Täpsetel on harilikult üks halb omadus - nad on arvutusmahukad ja seetõttu aeglased, kuid nad võluvad oma täpsusega. Makstes lõivu üldisusele, õnnestus meil luua meetod, mis fantastilise kiiruse juures säilitas ka täpsuse. Lõiv seisnes selles, et meetod on täpne vaid teatud tingimustel, seega siis - mitte alati. Atraktiivseks aga tegi meetodi see, et need "teatud tingimused" vastasid väga laiale praktilisele kasutusalaale.

Transistori mõõtmete kahanemistendents tekitas vajaduse „laskuda“ rikete modelleerimisel sügavale füüsika tasandile, et mõista nanotehnoloogias avalduvate uut laadi füüsikaliste defektide olemust. Europrojekti REASON (2000-2003) raames arendasime väga põnevat interdistsiplinaarset koostööd füüsika ja loogika piirimaal, mille tulemuseks sai uus füüsikaliste defektide diagnostikale orienteeritud testide sünteesi kontseptsioon [11-12]. Sellest uuest paradigmast on tänaseks välja arenenud maailma tipptööstuses mõned aastad tagasi kasutusele võetud nn. *defect-aware* testimise metodoloogia. Projekti tulemused avaldasime monograafias [13].

Suurema vabaduse uurimistöös andis minu valimine Teaduste Akadeemia uurija-professoriks ajavahemikul 2003-2005. Neil aastail käivitasime uusi uurimissuundi koostöös Rootsi ülikoolidega digitaal süsteemide isetestimise valdkonnas [14] ja kiipvõrkude diagnostikas [15]. Asutasime ka TTÜ spin-off ettevõtte Testonica Lab, mille direktoriks on mu endine õpilane **Artur Jutman**.

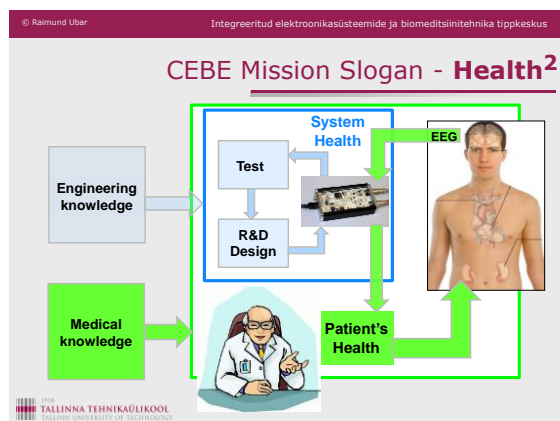
Kui enamasti minnakse välismaale õppima ja uusi ideesid "maale tooma", siis meie uurimisgrupi rahvusvaheline koostöö seisnes eeskätt omaenda ideede levitamises mujal ja välispartnereid vajasime peamiselt kriitilise massi suurendamiseks, et olla konkurentsivõimelisemad europrojektide taotlemisel. Niiviisi sillutasime teed tulevikku, kus tänaseks on juba minu õpilastest saanud aktiivsed europrojektide üldkoordinaatorid programmide FP7 ja HORIZON2020 raames: **Jaan Raik** (DIAMOND, IMMORTAL, TWINNING), **Gert Jervan** (CREDES), **Artur Jutman** (BASTION).

Nimetatud projektide toetusel pakkusime esmakordselt maailmas välja 3-dimensionaalset paralleelkäsitlust võimaldava analüütilise meetodi rikete analüüsiks, mille tarkvara-realisatsioon multiprotsessorsüsteemide jaoks ületas kiiruse poolest mitmekordselt tipptööstuses kasutatavaid simulaatoreid [16-17], automatiseerisime projekteerimisvigade ülesleidmist ning parandamist digitaalsüsteemides [18], mis kujutab endast äärmiselt keerulist intellektuaalset ülesannet, ning töötasime välja uued paremad rikete diagnoosi meetodid [19].

Läbimurdeks diagnostikavaldkonnas on kujunemas põhimõtteliselt uus rikete diagnoosi meetod, mis välistab rikete omavahelist maskeerumist [20]. Kui traditsiooniline nn. „*saatana advokaadi*“ meetod

An infographic titled "Coordinators of Europrojects" with a purple header. It lists the ATI/CEBE Research Center and identifies three coordinators: Gert Jervan (FP7: CREDES, 2010-2012), Artur Jutman (FP7: BASTION, 2014-2016), and Jaan Raik (FP7: DIAMOND, 2010-2012; Partners: IBM, Ericsson; and Jaan Raik HORIZON 2020 IMMORTAL, 2015-2018; TWINNING, 2016-2018). The infographic includes small photos of the coordinators and logos for various institutions like TU Braunschweig and TU Darmstadt.

põhineb konkreetsete rikete identifitseerimisel, mis jääb hätta juhtudel, kui süsteemis on korraga rohkem kui üks rike, kus võimalikke rikete kombinatsioon võib olla praktiliselt lõpmatu hulk, siis meie uus lähenemisviis, mille nimetasime „ingli advokaadi“ meetodiks, seab eesmärgiks skeemiosade korrasoleku tõestamise, kus pole üldsegi tarvis ei üksikuid rikkeid ega ka nende võimalikke kombinatsioone konkreetsetelt käsitleda. Uus meetod võimaldab esmakordselt välistada rikete vastastikkust maskeerumist ja see on olnud üks keerulisemaid seni lahendamata ülesandeid digitaalskeemide ja süsteemide diagnostikas.



Meie viimase aja tulemusi arvutite diagnostika valdkonnas on käsitletud raamatutes [21,22].

Viimased 7 aastat juhtisin Eesti teadustippkeskust CEBE (Integreeritud elektroonika-süsteemide ja biomeditsiinitehnika) [23-25], kus ühitasime TTÜ arvutitehnika ja elektroonika instituutide ning Tehnomeedikumi uuringud interdistsiplinaarseks projektipõhiseks rakendustele suunatud koostöök. Keskuse kandvaks loosungiks oli – “tervis ruudus”, mis viitas üheaegselt kahele eesmärgile: panustada uute biomeditsiinitehnika meetodite ja seadmete abil inimese tervise parandamisele ja garanteerida

selleks kasutatavate tehniliste vahendite kõrget usaldusväärsust ehk siis parandada “aparatuuri tervist”. Tippkeskuse tegevus tõi Eestisse 17 europrojekti, kaitsti kokku 36 doktoritööd, loodi 6 spin-off firmat ja 17 rakendust toodete või nende prototüüpide näol koostöös ettevõtlusega ja haiglatega.

ÕPPETÖÖST ÜLIKOOLIS

Õppejõuna olen Tallinna Tehnikaülikoolis töötanud kokku 90 semestrit. Oma karjääri esimesel poolel õpetasin aineid väga laias valdkonnas – programmeerimist, elektroonikat, analoog- ja digitaal arvuteid, automaatide teooriat, arvutite arhitektuuri, aritmeetika ja loogika aluseid, arvutihoolust, automaatikavahendite konstrueerimist, digitaalsüsteemide projekteerimist. Hiljem õnnestus mul pühenduda õppeainetele, mis olid lähemal mu teaduslikule profiilile. 80-ndatel töötasin välja uued kursused, mis olid pühendatud arvutiriistvara diagnostikale ja millistega pakkusin välja põhimõttelise uuenduse klassikalisse arvutitehnika õppekavasse [26]. Taolisi kursusi loeti tol ajal vaid üksikutes USA ülikoolides, kus töötasid diagnostikateadusega aktiivselt tegelevad professorid. Eks see originaalne kursus oli ka põhjuseks, miks mind kutsuti regulaarselt loenguid pidama Euroopa ülikoolides: 80-ndatel Saksa DV-s, alates 90-ndatest aga ka Lääne-Euroopas – Rootsis, Soomes. Saksamaal, Portugalis, ka USA-s ja mujal. Kokku olen pidanud loenguid rohkem kui 40 ülikoolis enam kui 20 riigis.

Teadusuuringute ja õppetöö tihe läbipõimimine on teinud meile võimalikuks arendada Arvutitehnika instituudis välja teaduspõhine unikaalne laborikeskkond [27]. Kuna meie teadustöö on olnud põhimõtteliselt eksperimentaalne, mis tähendab seda, et eksperimentide läbiviimiseks on olnud tarvis luua enamasti tarkvara põhiseid katsetamiskeskondi, siis viimaseid on hiljem alati võinud kohandada õppetööks, mis seeläbi on toimunud ikka teaduse viimase sõna piiril. Üheks selliseks katsekeskkonnaks on meil olnud näiteks Turbo-Tester, mis omab rikkaid funktsionaalseid võimalusi ja on tudengitele lihtne kasutada.

Europrojekti VILAB raames töötasime välja metodoloogia virtuaalse labori loomiseks [28]. See labor koosnes tarkvara „tööriistakastidest“ (tarkvarakeskkondadest) hajutatuna mitmes Euroopa ülikoolis. Virtuaalsus tähendas seda, et tudeng võis käivitada ülesande näiteks Tallinnas, aga tarkvara hakkas tööle hoopis kas Bratislavas või Warssavis või ka mujal, kusjuures andmed liikusid ühest kohast teise, kuni tulemus „maandus“ taas Tallinna Tehnikaülikooli laboris arvuti kuvarile.

Koos Poola teadlastega projekteerisime ja valmistasime projekti REASON raames unikaalse mikrokiibi maailmas, mida on võimalik panna valikuliselt 500 moel vigaselt töötama ja kus tudengite ülesandeks on reaalsete mõõtmiste abil mitmesuguseid füüsikalisi defekte ja rikete toimemehhanisme uurida, mõõta, analüüsida ja võrrelda reaalsust matemaatiliste mudelitega [13]. Algul valmistati neid kiipe

Õppetöö tarbeks umbes 20 Euroopa ülikooli jaoks, praegu aga võib meie virtuaalse labori kaudu suvalisest ülikoolist mujal maailmas katseid üle Interneti läbi viia TTÜ aparatuuri peal. Kursust, mis valmis projekti tulemusena, viisime läbi rohkem kui 10 ülikoolis üle Euroopa, samuti külalisturneel läbi Siberi – Tomskis, Irkutskis ja Vladivostokis.

Tehnilise diagnostika kursuse toomisel tehnikaülikoolide õppekavadesse on insenerihariduse andmisel suur tähendus. See aine on ühtaegu intellektuaalne harjutus põhjuste ja tagajärgede insenerlikul mõtestamisel, aga ka võimalus õppida formuleerima õigeid praktilisi küsimusi ning planeerima eksperimente nendele küsimustele vastuste leidmiseks.



Ülikooliharidus ja teadus on teineteisest lahutamatud. Õpetamisel tuleb materjali esitada paljudes seostes, leida analooge ja võrdlusi, esitada vormis, mis kujutaks endast loovat protsessi. Sest õpetada tuleb ülikoolis mitte fakte vaid mõtlemist. Nii olengi püüdnud oma loengutes äratada tudengites huvi just loominguliste aspektide vastu ja niiviisi talutada tudengeid justkui vargsi valdkonda, mida nimetatakse teaduseks. Ka laborites on olnud ülesanded, mida mu tudengid lahendama peavad,

ikka võimalikult loomingulised: mitte mingi kindla ette antud tegevusjada järgimine ja mõõtmiste tuim fikseerimine, vaid tulemuste analüüsist tulenevate omaenda otsuste vastu võtmine ja probleemide lahendamine.

LÕPETUSEKS

Elame suurte muutuste ajal, kus arusaamu ja väärtusi tuleb pidevalt ümber hinnata. Põhjuseks on elektroonika abil totaalset ümber kujunev maailm. Arvutid on inimeselt üle võtnud üha rohkem funktsioone – mälu, mõtlemist, isegi kõrgharidust, ametioskustest rääkimata. Teiselt poolt on see viinud aga inimese üha suuremasse sõltuvusse ümbritsevast tehismaailmast. Kuidas edasi minna? Milliseks muutuvad inimese funktsioonid ja roll tulevases robotite maailmas? Milliseks kujunevad teadus ja kõrgharidus? Need on küsimused, mis muutuvad üha põletavamateks ja mis on hakanud huvitama ka mind. Lapsepõlv on küsimuste esitamiseks. Noorena leitakse kõikidele küsimustele kergesti vastused. Järgnev elu tähendab enese otsimist ja rakendamist. Viimases staadiumis hakkab inimene kõiges kahtlema ja uuesti küsimusi esitama.

On tavaline, et õppima minnakse laia maailma. Minu laboris on mõnikord olnud teisiti: mu õpilased on mujale ka õpetama läinud, eeskätt seda, mida nad siin Eestis on ise loonud ja arendanud. Olen ikka öelnud oma õpilastele: „Edu ei oota teid maailmas, kui olete järeltammujad. Peate ise kõigest mööda ruttama ja midagi välja mõtlema, mis oleks uus ja ootamatu, nii et teile endale kasvaks järeltammujate pikk rida.”

Minul on elus õnne olnud omada suurepäraseid kolleege ja õpilasi, kellele võlgnen väga palju tänu selle eest, mida olen saavutanud teaduses. Seepärast on Eesti Valitsuse tunnustus minu elutööle ühtaegu ka austusavaldus Tehnikaülikooli arvutitehnika instituudile.

Mu sügav lugupidamine ja tänu koostöö eest kõigile oma õpilastele, endistele tudengitele ja diplomandidele, bakalaureustele ja magistritele, endistele doktorantidele ja nüüdsetele doktoritele ning kolleegidele, kes on olnud mulle meie ühiste teadusartiklite kaasautoriteks 40 aasta jooksul:

Margit Aarna, Merike Aasma, Maido Ajaots, Villem Alango, Igor Aleksejev, Jevgeni Aleksejev, Paul Annus, Maie Bachmann, Nikolai Boiko, Marina Brik, Ahto Buldas, Sergei Devadze, Taavi Drenkhan, Julia Dushina, Peeter Ellervee, Teet Evaratson, Jelena Fomina, Ivo Fridolin, Maksim Gorev, Ruslan Gorjachev, Valeri Grigorenko, Ksenja Grigorjeva, Heldur Haak, Hanno Hantson, Jaanus Heinlaid, Urve Heiter, Hiie Hinrikus, Viljar Indus, Eero Ivask, Artjom Jasnetski, Maksim Jenihhin, Gert Jervan, Artur Jutman, Lembit Jürimägi, Oliver Kalmend, Deniss Karai, Anton Karputkin, Peeter Kitsnik, Elve Kivi, Toomas Kont, Olga Korelina, Sergei Kostin, Anna Krivenko, Helena Kruus, Helena Krupnova, Margus Kruus, Anu Kõlamets,

Jaak Kõusaar, Jaanus Lass, Harri Lensen, Tõnu Lohuaru, Mihhail Marenkov, Anti Markus, Natalja Mazurova, Mart Min, Karina Minakova, Dmitri Mironov, Gunnar Mägi, Mati Männisalu, Härmel Nestra, Sven Nõmm, Taavi Nõmmeots, Elmet Orasson, Imre Pall, Martin Pall, Priidu Paomets, Mari Plakk, Ahti Peder, Vadim Pesonen, Eduard Petlenkov, Paul Pukk, Toomas Puntso, Rein Raidma, Jaan Raik, Toomas Rang, Rein Raud, Lennart Raun, Uljana Reinsalu, Urmas Repinski, Tarmo Robal, Vjatsheslav Rosin, Ennu Rüstern, Mart Saarepera, Tatjana Shchenova, Konstantin Shibin, Julia Smahtina, Sergei Storozhev, Aleksander Sudnitsõn, Margus Suga, Aleksei Talisainen, Kalle Tammemäe, Valentin Tihhomirov, Mati Tombak, Tõnis Toome, Arvo Toomsalu, Anton Tsepurov, Anton Tsertov, Viljar Tulit, Viiu Tuulik, Virve Vaher, Kaido Vainomaa, Eduard Vanamõlder, Vladimir Viies, Taavi Viilukas, Agu Viilup, Vladislav Vislogubov, Andrus Voolaine, Vladimir Zaugarov (108).

Publikatsioonid:

1. P.Ubar. Тестовая диагностика цифровых устройств I. Таллиннский политехнический институт, 1980, 226 с.
R.Ubar. Diagnostic Testing of Digital Systems I. Tallinn University of Technology, 1980, 226 p.
2. А. Селезнев, Б.Добрица, Р.Убар. Проектирование автоматизированных систем контроля бортового оборудования летательных аппаратов. Машиностроение, Москва, 1983, 224 с.
A. Seleznev, B. Dobritsa, R. Ubar. Design of Automatic Test Equipments for on-board equipments of aircrafts. Mashinostrojenie, Moscow, USSR, 1983, 224 p.
3. P.Ubar. Генерирование тестов для цифровых схем при помощи модел альтернативных графов. Труды Таллиннского Политехнического Института, 1976, 409, с.75-81.
R.Ubar. Test Generation for Digital Circuits with Alternative Graphs. Transactions of Tallinn University of Technology, 1976, No 409, pp.75-81.
4. S.B. Akers, "Binary Decision Diagrams," IEEE Trans. Computers, Vol. 27, No. 6, July 1978.
5. R.E.Briant, "Graph-based algorithms for for Boolean function manipulation," in IEEE Trans. on Computers, Vol.C-35, No 8, 1986, pp. 667-690.
6. R.Ubar. Test Synthesis with Alternative Graphs. IEEE Design and Test of Computers. Spring, 1996, pp.48-59.
7. 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.
8. R.Ubar, A.Moraviec, J.Raik. Cycle-based Simulation with Decision Diagrams. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe. Munich, March 9-12, 1999, pp.454-458.
9. R.Ubar, D.Borrione. Design Error Diagnosis in Digital Circuits without Error Model. In VLSI: Systems on Chip, Kluwer Academic Publishers, 2000, pp.281-292.
10. J.Raik, R.Ubar. Fast Test Pattern Generation for Sequential Circuits Using Decision Diagram Representations. Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. Kluwer Academic Publishers. Vol. 16, No. 3, pp. 213-226, 2000.
11. R.Ubar, W.Kuzmicz, W.Pleskacz, J.Raik. Defect-Oriented Fault Simulation and Test Generation in Digital Circuits. 2nd Int. Symp. on Quality of Electronic Design, San Jose, California, March 26-28, 2001, pp.365-371.
12. 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.
13. O.Novak, E.Gramatova, R.Ubar. Handbook of Electronic Testing. CTU Printhouse, Prague, 2005, 400 p.
14. G.Jervan, R.Ubar, Z.Peng, P.Eles. An Approach to System Level DFT. In "System-level Test and Validation of Hardware/Software Systems" by M.Sonza Reorda, Z.Peng, M.Violante. Springer Series in Advanced Microelectronics, Vol.17, 2005, pp. 91-118.
15. R.Ubar, J.Raik. Testing Strategies for Networks on Chip. In "Networks on Chip" by A.Jantsch, H.Tenhunen. Kluwer Academic Publishers, 2004, pp. 131-152.

16. 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.
17. M.Gorev, R.Ubar, S.Devadze. Fault Simulation with Parallel Exact Critical Path Tracing in Multiple Core Environment. Proceedings of IEEE Conference on Design, Automation & Test in Europe - DATE-2015, Grenoble, France, 9-13 March, 2015, pp. 1-6.
18. M.Jenihhin, Anton Tšepurov, Valentin Tihhomirov, J.Raik, Hanno Hantson, R.Ubar, Günter Bartsch, Jorge Hernan Meza Escobar, Heinz-Dietrich Wuttke. Automated Design Error Localization in RTL Designs. J. of IEEE Design & Test, Vol.1, 2013, pp. 83-92.
19. 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
20. R.Ubar, S.Kostin, J.Raik. Multiple Stuck-at-Fault Detection Theorem. The 15th IEEE Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems, Tallinn, Estonia, April 18-20, 2012. Best Paper Award.
21. R.Ubar, J.Raik, H.-T.Vierhaus. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip. IGI Global, 2011, 550 p.
22. R.Ubar, P.Ellervee, Th.Hollstein, G.Jervan, A.Jutman, M.Kruus, J.Raik. Research on Digital System Design and Test at Tallinn University of Technology. In "Research in Estonia", Estonian Academy of Sciences, Tallinn 2011, pp.184-205.
23. Ivo Fridolin, Deniss Karai, Sergei Kostin, Raimund Ubar (2013). Accurate Dialysis Dose Evaluation and Extrapolation Algorithms during On-line Optical Dialysis Monitoring. IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Vol.60, No.5, pp.1371 - 1377.
24. M.Gorev, R.Ubar, P.Ellervee, S.Devadze, J.Raik, M.Min. Functional Self-Test of High-Performance Pipe-Lined Signal Processing Architectures. J. of Microprocessors and Microsystems - MICPRO. Available online 15 November 2014 (In Press).
25. R.Ubar. Estonian Centre of Excellence in Research - CEBE. Proc. of 20th Anniversary Celebration Conference, Oct. 2-3, 2014, pp.16-17.
26. R.Ubar. Teaching Dependability Issues in System Engineering at the Technical University of Tallinn. Global J. of Engineering Education, Vol.2, No 2, 1998 UICEE, Printed in Australia, pp. 215-218.
27. R.Ubar, A.Jutman, J.Raik, S.Kostin, H.-D.Wuttke. DIAGNOZER: A Laboratory Tool for Teaching Research in Diagnosis of Electronic Systems. Proc. of 2009 International Conf. on Microelectronic Systems Education (MSE'09), San Francisco, July 25.-27, 2009, pp.12-15.
28. A.Schneider, E.Ivask, P.Mikloš, J.Raik, K.H.Diener, R.Ubar, T.Cibakova, E.Gramatova. Internet-based Collaborative Test Generation with MOSCITO. IEEE Proc. of Design Automation and Test in Europe - DATE'02. Paris, March 4-8, 2002, pp. 221-226.
29. R.Ubar. Teadusemees. Mälestused. TTÜ Kirjastus, Tallinn 2011, 480 lk.