



EESTI VABARIIGI TEADUSPREEMIAD

2001

TALLINN, 2001

Raamat sai ilmuda tänu

TARTU ÜLIKOOLI
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI
EESTI VABARIIGI HARIDUSMINISREERIUMI ja
ÕIGUSINSTITUUDI

toetustele

Jüri ENGELBRECHT (vastutav toimetaja)
Eesti Vabariigi teaduspreemiate komisjoni esimees

Helle-Liis HELP, Galina VARLAMOVA

Kaante kujundamisel kasutati 2001. a teaduspreemiate laureaaside
diplomi fotosid (Tõnu KRÜNVALD)

SISUKORD

Saateks	5
<i>Mart Laar</i> Eesti Vabariigi peaministri tervitus teadus- ja kultuuripreemiade üleandmisel 24.02.2001	7
<i>Tõnis Lukas</i> Eesti Vabariigi haridusministri tervitus teadus- ja kultuuripreemiade üleandmisel 24.02.2001	9
<i>Karl Rebane</i> teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest	12
<i>Eve Oja</i> teaduspreemia täppisteaduste alal tööde tsükli "Banachi ruumide aproksimatsiooniomadused ja kaasruumide geomeetria" eest	22
<i>Matī Karelson</i> teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal monograafia "Molekulaardeskriptorid kvantitatiivsetes struktuur-omadus sõltuvustes" eest	30
<i>Rein Munter</i> (kollektiivi juht), <i>Juha Kallas</i> , <i>Sergei Preis</i> , <i>Marina Trapido</i> teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli "Täiustatud oksüdatsiooni protsessid loodusvee varude kaitseks ja vee säästvaks kasutamiseks " eest <i>Osoonimine ja täiustatud oksüdatsiooni protsessid - 21. sajandi veepuhastus- tehnoloogia.</i>	34
<i>Aleksander Žarkovski</i> (kollektiivi juht), <i>Anti Kalda</i> , <i>Allen Kaasik</i> teaduspreemia arstiteaduse alal tööde tsükli "Närvirakkude kahjustus ja ravim sõltuvus: molekulaarsed mehhanismid ja farmakoloogiline preventsioon" eest	46
<i>Dimitri Kaljo</i> (kollektiivi juht), <i>Leho Ainsaar</i> , <i>Linda Hints</i> , <i>Tõnu Martma</i> , <i>Jaak Nõlvak</i> teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal uurimistööde tsükli "Isotoop- uuringute tulemusi Eesti paleosoilise arenguloo selgitamisel (ordoviit- siumi ja siluri stratigraafia, klimatoloogia ja okeanoloogia)" eest	52
<i>Ülo Mander</i> (kollektiivi juht), <i>Valdo Kuusemets</i> , <i>Krista Lõhmus</i> , <i>Ain Kull</i> , <i>Hannes Palang</i> teaduspreemia põllumajandusteaduste alal tööde tsükli "Põllumajandus- maastike muutused: mõju aineringle ja selle reguleerimine ökotehno- loogiliste võtetega" eest	60

Talis Bachmann

teaduspreemia sotsiaalteaduste alal monograafia "Mikrogeneetiline lähenemine teadvustatud psüühikale" ja teiste publikatsioonide eest . . . 66

Peeter Torop

teaduspreemia humanitaarteaduste alal uurimuste eest slavistika, tõlketeooria ja semiootika valdkonnas
Humanitaarsemiootika 80

Tänased teaduspreemiad peegeldavad möödunud sajandi lõpu teadusmõtteid. Kogu maailmas pööratakse ikka suuremat tähelepanu teadusele ja teadusrakendustele. Eriti tuntav on ju arvutite ja geeniuuringute võidukäik. Nii need kui ka paljud muud tulemused lubavad inimkonnal tulevikus elu kindlasti paremaks muuta. Seda kindlasti ka Eestis, hoolimata meie väikisusest ja nappidest võimalustest. On ju teadusuuringutes kõige olulisem liikumapanev jõud ikkagi loov mõistus, mis vormitakse hariduse radadel. Kui täna räägime elukestvast õppest, siis teadlastele on see mõttekäik loomulik – ei saa avastada midagi uut teadmiste ja teadmatuse piiril, kui ise pidevalt ei õpi!

Riigi teaduspreemiate komisjon mõtleb ka tulevikule, nii nagu Eesti tervikuna, nii nagu “Teadmistepõhine Eesti” sihte seab. Me arvame, et koos muutustega algavas sajandis peavad muutuma ka mitmed tavad. Kui oleme kokku leppinud võtmevaldkondades teaduses ja arenduses, siis peaksime seda meelt seadma ka teaduspreemiate põhimõtted. Kuid alati, määrav on ikka särav tulemus ja seda kindlasti rahvusvahelises võrdluses.

Me autasustame väljapaistvaid teadlasi ja teadlaskollektiive. Keerulised uuringud, nende õnnestumine ja ebaõnnestumine, pole kunagi laia publiku tähelepanu keskpunktis, vajab ju arusaamine nendest ettevalmistust, süvenemist, õppimist. Selles on teaduse iseärasus, ometi on uutest teadmistest tulenev inimkonna elu mõjutanud nii minevikus, praegu kui ka tulevikus, tulevikus aga ikka ning ikka rohkem! Ja nii ei rökka publik õnnestunud teoreemi tõestuse ega õnnestunud eksperimendi peale, võtab uue tulemusegi teinekord umbusklikult vastu – kuid üsna ruttu ei kujuta elu enam teisiti ette.

Täna on aga see päev, mil meie riik sünnipäeva peab ja mil peaminister annab üle preemiad ja sellega väärtustab tulemused. Teadus on tihti kollektiivne töö, seda näeme tänagi. Ometi tahan ma eriti väärtustada tööühikute juhte, sest ilma nendeta poleks neid preemiaid. Premeeritavaid teadustulemusi iseloomustab ühelt poolt süvauuringutele nii omane sisusse tungimine kas aine struktuuri või üldistatud abstraktsete omaduste kaudu, olgu tegemist siis eluta ainega või taju-mehhanismiga. Teiselt poolt on tegemist uuringute juba käegakatsutavate rakendustega, kas siis ravimite, joogivee või põllumajandusmaastike näol, lisaks veel seletus, kuidas inimene kõigest sellest aru saab.

Enne laureaaside nimede ettelugemist tahaksin tänada Riigi teaduspreemiate komisjoni suure töö eest. Nagu tavaks teadustulemuste hindamisel, olid kasutusel ka eksperthinnangud, suur tänu ka ekspertidele!

Jüri Engelbrecht

Eesti Riigi teaduspreemiate komisjoni esimehe tervitus
24. veebruaril 2001

Tervitus teadus- ja kultuuripreemiade üleandmisel 24.02.2001

Austatud akadeemikud, head kohalviibijad, lugupeetud laureaadid!

Lubage mul tänavuste Eesti teadus- ja kultuuripreemiade laureaatide autasustamisel teha formaalsete preemiade üleandmise kõrval ka sügav kummardus Teie kõigi ees. Täna, Eesti Vabariigi iseseisvuspäeval oleme taas kord tõdemas seda mõne aja eest uskumatuna tundunud unistust iseseisvast Eestist. Kui mälestustes, lootustes ja salasoovides heiaustus ta meile kõigile ühel või teisel kujul, sai ta teoks justkui üleöö ning siis oli eelkõige põhjust olla tänulik selle eest, et inimesed, kes on oma elu pühendanud teadusele ja kultuurile, olid eneses kaasas kandnud ja jaganud neid värskelt iseseisvunud riigile nii olulisi teadmisi ja oskusi. Teadus ja kultuur on suutnud läbi Teie edastada meid kõiki sisemiselt ühendavaid tähendusi, kuid ka aidanud Eestil kinnistuda maailma-kaardile.

Eesti on oma arengus püüdnud teadmisi kõrgelt väärtustavaks ning innovatsiooni omastavaks, avatud riigiks, kus üle kõige väärtustatakse inimesi, nende ammendamatu võimet luua pidevalt uut. Jätkusuutlikkus majanduses, kuid veelgi olulisemana jätkusuutlikkus ühiskonnas tervikuna, toetub nii praegu kui ka tulevikus teadusele ja kultuurile. Nüüd, mil hoiame end siirdeperioodi esimese kümnendi järel makromajanduslikult üsna kindlatel jalgadel tasakaalus, on tekkinud võimalus ka planeerida pikemas perspektiivis ning esimese mahukama valdkonnana on valitsus heaks kiitnud Teadus- ja Arendustegevuse keskpika strateegia ja tegevuskava, milles püüame nii oma finantseerimise mahult kui ka kirjeldatud prioriteetidelt asuda teadlikult tugevdama oma võimalusi tuleviku eduks ja heaoluks.

Maailma areng on kui pooleliolev malemäng, kus järgmist käiku pole veel tehtud. Neid käike ei otsusta meie eest väljaspoolsed vääramatud jõud, vaid meie ise. Edukad otsused tulevatest käikudest ei sünni aga mitte kulli ja kirja viskamisega, vaid eeldavad teadmistel põhinemist.

Tänavuste laureaate seas hakkab mulle silma nii koolkondlik paljusus, kuid ka põlvkondade vaheline side. Järjepidevuse olemasolu kõige erinevates valdkondades on kindlasti fenomenaalne sedavõrd väikese riigi ja rahvuse puhul ning seda tuleb meil säilitada ja kinnistada.

Head kohalviibijad, lubage mul veel kord Teid kõiki tänada, soovida edu nii praegustele kui ka tulevastele laureaatele.

Palju õnne, Eesti Vabariik, need laureaadid on sulle parimaks kingituseks.

Tervitus teadus- ja kultuuripreemiade üleandmisel 24.02.2001

“Pelle tõusis voodis tikksirgelt istukile ja jätkas õhinal:

“Tead, see Petter armastab loomi, täpselt nagu minagi. Ja ta on teadlane. Ta tegeleb kogu aeg loomadega ja uurib kõike, mis nende kohta käib. Kui ma suureks saan, hakkam samasuguseks.”

Varem polnud Pelle tahtnud üldse kellekski saada, nüüd sai ta äkitselt kuulda, et on olemas elukutseid ka neile, kes tahavad muudkui jälgida loomi. See oli nii, nagu oleks suurde pimedusse lastud sisse tohtu valgusvoog. Nüüd leidis midagi, mida ta tahtis teha ja see tundus suure kergendusena.”

Nii kirjutab oma raamatus “Väike Tjorven, Pootsman ja Mooses” Astrid Lindgren, kes on kindlasti omamoodi pedagoogika professor.

Ja Robert March oma raamatus “Physics for Poets”, mis “Füüsika võluna” on eelmisest aastast Ilmamaa väljaandes ka eesti keeles olemas, kirjutab, et teadust peetakse suureks seikluseks. Küllap ta ongi. Põnevamate avastusteni jõutakse alles ajapikku. Algul tehtav tõsine töö võib juba õppuridki uuringutest kui millestki ränkraskest, eemale peletada. On küsitav, kui palju jääks muusikaarmastajaid, kui igaüks neist peaks tundide viisi klimberdama heliredeleid, enne kui ta lastakse klaverisonaati kuulama.

Õnneks saavad teised inimesed maitsta teaduse vilju ilma et nad kõike ise teadlastega samal tasemel lahti mõtestada suudavad. Käivitad lihtsalt pesumasinat ja tunned elust mõnu.

Aga teadlaste tööst peab ühiskond huvituma siiski, ja seda au sees pidama, sest muidu ei liiguks mõte ja seiskuks ühiskonna areng.

Riigikogu murrab praegu pead teadus- ja arendustegevuse korralduse seaduse uue versiooni kallal ja hakkab õige pea tegelema teadus- ja arendustegevuse arengustrateegiaga, mille valitsus koos teiega on välja töötanud. Nii et teadustegevuse ja finantseerimise korraldus on hetkel riigi tähelepanu all rohkem kui ehk paljud teised valdkonnad. Ja on erilise tähelepanu all ka Haridusministeeriumi uues, ümberkorraldatavas struktuuris.

Te teate, et ministeeriumi ümberkujundamise ja Tartusse üle kandmise kulud ei tule ühegi hariduskulutuse arvelt. Nende kulude katmiseks otsustas Riigikogu maha müüa ministeeriumi hooned Tallinnas. Et aga Tartus ministeeriumi sisseseadmine on odavam, otsustati üle jääv raha panna täiendavalt teaduskulutusteks, muuhulgas teaduse tippkeskuste väljaselgitamiseks ja rahaliseks toetamiseks. Sel aastal alustatavast teaduse tippkeskuste väljaselgitamisest ja väljaarendamisest tuleb kujundada uus traditsiooniline tugevate teaduskeskuste toetamise viis.

Mida siis tähendab teaduslik objektiivsus? Sugugi mitte tuimust ja külmust. Teadlane võib innukalt uskuda oma seisukoha õigsust, kuid vastuväited tuleb

tal siiski arvesse võtta. Vastukäivad faktid tuleb kaalule panna – neid ei tohi ignoreerida, surnuks vaikida, kuigi see võib esmapilgul ehk lihtsam tunduda. Selles mõttes peaksid teadlastelt õppima nii poliitikud kui ajakirjanikud.

Teadlased suudavad alati kahelda ja ka oma vigu tunnistada. See, mis enne tundus ainus tõeline olevat, võib mõne avastuse läbi osutuda vaid osaliselt tõeks või koguni valeks. Teadlane olla – see tähendab aina kahelda ja aina küsida. Julgeda kogu aeg küsimusi esitada. Ja nii joondub kogu elu teie järgi.

Kui vaadata eelmiste aastatuhandete inimeste unistuste peale tagasi, mõelda tagasi nn ulmekirjanduse peale, peab tõdema, et suurem osa neist oma ajas täiesti teostamatutest unelmatest on mingil kombel ellu läinud ja ülejäänud küllap läheb ka, kuigi see praegu kõhedust tekitab – kuni orgaanika nn võltsimiseni välja.

Eesti teadlased ei jõua olla maailmateaduse lipulaevadeks väga paljudel aladel. Aga maailmateaduse ühistöös arvestatavad ja mitte mahajäävad partnerid olete te olnud ja saate olla ka edaspidi. Täna esile tõstetud teadlased ja teaduskollektiivid on selles ühistöös kindlasti osalised.

Aitäh Teile selle eest – igale ühele tema alal.

EESTI VABARIIK



RIIGI
TEADUSPREEMIA

24. veebruar 2001

Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest



*Karl
Rebane*

Sündinud 11. aprillil 1926 Pärnus

- 1947 Tallinna Reaalkool (Tallinna Polütehnilise Instituudi ettevalmistusosakonna kaudu)
- 1952 Peterburi Riiklik Ülikool
- 1955 füüsika-matemaatikakandidaat, Peterburi Riiklik Ülikool
- 1961 Eesti Teaduste Akadeemia liige
- 1965 füüsika-matemaatikadoktor, Valgevene TA Füüsika Instituut
- 1968 professor, teoreetiline ja matemaatiline füüsika ning tahke keha füüsika
- 1976 NSV Liidu Teaduste Akadeemia kirjavahetajaliige
- 1987 NSV Liidu (aastast 1992 Venemaa) TA akadeemik (optika)
- 1991 Euroopa Kunstide ja Teaduste Akadeemia liige (füüsika)
- 1993 Euroopa Akadeemia (London) liige
- 1998 New Yorgi Teaduste Akadeemia liige

A. F. Joffe nim Füüsika-Tehnika Instituudi (St.Petersburg) auliige, Eesti Füüsika Seltsi liige, Itaalia Füüsika Seltsi liige, Ettore Majorana nim Rahvusvahelise Teaduskultuuri Keskuse (Erice, Itaalia) liige.

Ametid Tartu Ülikoolis: 1958–1968 teoreetilise füüsika vanemõpetaja, dotsent, eksperimentaalfüüsika kateedri organiseerija ja juhataja, teoreetilise füüsika lektor; 1976–1993 FI-ga laseroptika ühiskateedri organiseerija ja

juhataja (viimased kaks ametit ühiskondliku töö korras); alates 1994 emeriit-professor.

Ametid Eesti Teaduste Akadeemias: 1956–1964 Füüsika ja Astronoomia Instituudi vanemteadur ja teadusala asedirektor, 1964–1968 Füüsika, Matemaatika ja Tehnikateaduste Osakonna akadeemiksekretär, 1968–1973 asepresident, 1973–1990 president; 1973–1976 Füüsika Instituudi esimene direktor, 1990–1992 laboratooriumijuhataja ja peateadur; 1993–1996 Kosmoseuringute Kes-kuse ja Eesti Biokeskuse peateadur.

Alates 1996 vabakutseline teadustöötaja.

Avaldanud üle 250 teaduspublikatsiooni.

Minu eluteel ja elutöös (loodan, et mõlemast on jupike veel ees) on olnud vedamisi, õnnestumisi, ebaõnnestumisi ja läbikukkumisi. Viimaste seas väga ränki pole olnud, sest olen ju elus ning kutsu-tud ja võimeline käesolevat kirjutama.

Suurim vedamine oli, et tulin sõjast elu ja peagu kogu tervisega tagasi. Olin 1944. aasta sügisel 18-aastase poisina Eesti Laskur-korpuse 917. polgu 45 mm otsesihhimise tankitõrje patareiga Sõr-ve lahingutes. Otsesihhimine tähendab, et meie koht oli jalaväe hulgas, päris ees lahinguliinil, mitte mõni kilomeeter tagalas, nagu suurema kaliibriga kahureil. Nagu ette nähtud, toetasime jalaväge oma kohalolekuga, vahetevahel ka tulega. Sellal oli Sõrve arvukate kiviaedadega maastikul tavalisest hoopis suurem autoriteet. Oli veel üks roll, määrustikes muidugi nimetamata: tõmmata endale "eelistatult" vaenlase tähelepanu ja tulejõudu.

Meie patareis oli minekul Saaremaa lahingutesse 105 meest. Kui Torgu küla alt keskhommikul haavatuna minema koperdasin, oli alles kolmandik, õhtuks olevat jäänud viiendik.

*Suur õnnestumine ülisuure vedamise – ellujäämisega – kaasnevalt oli, et sain haavata täpselt parajal määral: küllalt vähe, et tervis siiski säilis (kuigi korvpallurit minust enam polnud) ja küllalt raskelt, et olla pool aastat haiglas, jääda välja Kuramaa lahing-
guist, hiljem aga, pärast 3 aastat 7 päeva sõjaväes, 20-aastase Isamaasõja invaliidina eraellu tagasi tulla. Invaliidsuseta tulnuks veel aastat 5–7 teenida, sest olime noorim aastakäik sõjaväes. Vaevalt siis veel jätkunuks kannatust pärisharidust taotlema.*

Haridust oli mul 8 klassi. Ka sellel oli õnnelik külg: klass või kaks rohkem tähendamaks tollal soliidset taset ja ahvatlenuks sõjaväe võimukandjaid tegema minust mõnda sorti poliittöötajat või eri-teenistuste meest. Nii, et mul vedas kolmekordselt.

Sain (üle raskuste) Tallinna Polütehnilise instituudi ettevalmis-tusosakonda õppima. Seal oli ministipendium, mis koos veel vähema invaliidsuspensioniga võimaldas supertagasihoidlikku elamist. Elu tundus ja oligi tore, õppimine oli tõeliselt vaimustav. Pärast kahte kursust TPI elektrotehnika osakonnas läksin Lenin-gradi Ülikooli füüsikateaduskonda. Seal on minu füüsiku haridus koos tahtmise ja võimega midagi ikka juurde õppida, eelkõige inimestega suhtlemise teel.

Esimene teadustöö mõõtu tegu oli 48 aasta tagune diplomitöö. Kui ma selle suure kiiruga tegin (olin olnud kaks kuud sanatooriumis ja tugevasti maha jäänud), ei tulnud trükis avaldamine mõttessegi. Kuid paar aastat hiljem publitseeriti (autor praegune Ukraina TA akadeemik) NL keskses füüsikaajakirjas täpselt sama valem, mis oli minu töös (laetud osakese pidurdumine aine kaugeimat mõju arvestades; kui osakese kiirus on suurem valguse kiirusest aines, tekib pidurdav Tšerenkovi kiirguse taoline koonus). Ju siis diplomitöö ikka oli teaduslik.

Minu ja minu teadusliku lähikonna temaatika kandetala on olnud ja on foononvabad jooned lisanditega aktiveeritud tahkiste spektrites [Sild, Haller, 1988; Ребане, 1964, 1968]. Argitust sain ülevaateartiklitest Nobeli füüsika-preemia andmise puhul Rudolf Mössbauerile. TÜ eksperimentaalfüüsika kateedri juhatajana olin viiekümnendate lõpul käivitanud lõpukursuse füüsikutele loengud “Tänapäeva füüsika probleeme”. Selle raames võtsin ette tunni või kahese loengu Mössbaueri efektist – foononvabast joonest tahkise γ -kiirguse spektrites. Lugesin tähelepanelikult, mis oli publitseeritud. Selgus, et analoogiliste omadustega joon peaks olema ka optilistes spektrites. Tolleaegne aspirant Vladimir Hižnjakov ütles kohe, et midugi peab olema. Seda kinnitasid peagi tema kvantmehaanika alusel arvutused.

Julgen väita, et olime esimesed, kes foononvaba joone (FVJ) tähendust ja väljavaateid sügavalt mõistsid, ja järgneval paaril aastakümnel oli minu teoreetikute minirühm järjekindlaim FVJ tulevikku uskumise kandja. Organiseerisin NSV Liidu olude kohta lühikese ajaga, tingimused ka eksperimentideks FI-s. Alustpaneel V. Hižnjakovi ja minu teoreetiline artikkel ilmus 1962 [Ребане, Хижняков 1962, 1963a; Хижняков, Ребане, 1963] ja sellest alates on FVJ uuringud jõudsasti edasi läinud nii laiuti kui sügavuti, kusjuures raskuspunkt on kandunud eksperimentaalsetele töödele. Seda nii meil Tartus kui ka välismaa laboratooriumides.

Väljaspool FVJ temaatikat olen üht-teist leidnud elektroni olekute kohta mitteperioodilistes struktuurides, optiliste katete teoorias (arvestades ka pidevalt muutuva murdumisnäitaja ja valgustneelava katteaine juhtu). On jällegi meeldiv õnnestumine, et viimane on nüüd oluliseks koostisosaks üsnagi “popis” temaatikas – footonkristallides. Mul on siin isegi üks väike uus publikatsioon [Ребане, 1999].

FI direktor Kristjan Haller mainis mulle hiljuti tunnustavalt, et foononvabad jooned on meie teadussuundade lipulaev. Selles oleme temaga ühel nõul. Kuid lipulaevale on jäänud (FI-s) kapten-eksadmiraal Karl Rebane ja esimene tüürimees Viktor Palm (jun.), kes on kohakaasluses ühtlasi pootsman, ainuke madrus ja üldse kogu meeskond. Ma ei räägi siin kiiluvees seilavatest paatidest, kus mehi samuti vähevõitu, väärt arenguideid pahatihti veelgi vähem. Rahasid seadmepargi töös hoidmiseks, kokku ligi miljon krooni, oleme saanud allikatest väljastpoolt Eestit, sihtsuunitlusega minu FVJ-alaste eksperimentide elushoidmiseks.

Foononvabad jooned on alusmüüriks ja kandekonstruktsiooniks kolmele tänapäeva spektroskoopia ja optika teaduslikult huvitavale, hoogsalt laienevale ja praktikas rakendust pakkuvale valdkonnale [Ребане, 1994]: 1. ülikõrge lahutu-

sega lisandimolekulide ja -atomite spektroskoopia; 2. ühe lisandimolekuli spektroskoopia; 3. spektrite püsisälkamine.

FVJ laiuse mõõdetud alampiir on praegu 78 Hz, mis annab optika jaoks suurepärase hüveteguri 10^{12} – 10^{13} (s.o valguse sagedus jagatud joone laiusega).

Ühe lisandimolekuli spektroskoopia, sündinud kõigest kümne aasta eest, on kasvanud arvestatavaks ülitäpseks meetodiks füüsikas, keemias, bioloogias. Mullu jaanuarist ilmub ajakiri "Single molecule", ridamisi on nõupidamisi ja peatükke suuremate konverentside raames.

1987. aastal korraldasime Tallinnas rahvusvahelise nõupidamise, mille kandev temaatika oli FVJ ja spektraalsälkamine [Abstracts, 1987]. Sellest kasvas välja seeria järgnevate näol USA-s, Šveitsis, Jaapanis, Prantsusmaal. Järjekorras seitsmes on tänava novembris Taipeis, Taiwani pealinnas. Ülejärgmisele, nagu eelmisele, on juba mitu korraldada soovijat. Oleme neil FI töödega senini küllaltki kaalukalt esinenud, kuid selgelt on tunda kasvava mahajäämise tendentsi korralike riikide rikestest ja meist kümneid kordi suuremate koosseisudega laboritest. Muide, oleme neile ja mitmetele väiksematele laboritele FVJ ja spektraalsälkamise arengusseviimisega kenakese teene osutanud – näidanud kätte tänuväärse tänapäevase laseroptika tegevusalad füüsikas, keemias, bioloogias. Seda enam läks see "hästi peale", et mitmel pool olid laserid, madalate temperatuuride saamise ja footonite loendamise aparatuur kui moodne tehnika juba muretsetud, kuid väärt tööpoldu neile veel polnud.

Spektrite püsisälkamisel (SPS) [Sild, Haller, 1988; Ребане, 1986], mille leidmisel olime üks kahest peategelasest, on minu meelest erakordselt head väljavaated teaduses ja praktikas. Tänapäevane seis on huvitav ja lootustandev: kõik olulisemad teooriad lähtuvad ettepanekud on laboratooriumi tingimustes teostatud. Valdav enamus neist prioriteetselt meil FI-s, kuid vist mitte midagi pole jõudnud kaubana avalikule turule. Nimetaksin optilist infosalvestust ja -töötlust, sealhulgas aeg-ruum holograafiat ja siit tulenevaid arvukaid ülihuvitavaid nähtusi ja rakendusi (viimasel ajal ka kontekstis kvantarvutamise), tahkise sisedeformatsioonide avarate võimalustega uuel tasemel mõõtmist, kõrge selektiivsuse ja laia vaateväljaga spektraalfiltreid ja valguse modulaatoreid.

Turuleviijad kardavad madalate temperatuuride (vedel heelium, temperatuur 2–4 K piires) vajadust. Kahjuks ei ole kõrgematel asi enam mäekõrguselt efektiivne. Tegelikult pole madalad temperatuurid täna enam kuigi eksoteetilised ja kättesaamatult kallid. Minu meelest on asi selles, et praegu pole veel väga vajalikke olulisi ülesandeid, milleks spektraalsälkamise informaatika tingimata vajalik.

SPS on optikainsenerluse uus lehekülg ja kvalitatiivselt kõrgem tase: valguse abil muudetakse aine (lisanditega aktiveeritud tahkiste) neeldumiskoeffitsienti ja koos sellega Kramers-Kronigi valemi kaudu sellega seotud murdumisnäitajat.

SPS-l põhinev infosalvestus ja -töötlus on ammendavalt paralleelne, mälu on assotsiatiivne (SPS aeg-ruum (AR) holograafias nii ruumis kui ajas), suuresti isekorrigeeriv, "vastutulelik" infootsingul. Need ilusad omadused, mida kvantarvutamine näeb praegu helesinise tulevikuunistusena, on eksperimen-

taalselt näidatud meil FI-s juba kaheksakümnendatel [Moerner, 1988; Rebane, Rebane, 1996]. Peale selle on AR holograafias tehtud veel sedagi, millest kvantarvutamine pole veel rääkima hakanudki: sündmuste järjestus ajas (aja nool) ja sellega manipuleerimine, tehissündmuste produtseerimine (valgus-impulsi etteantud kuju saavutamine selleks vastavalt laservalgusega moduleeritud läbilaskvusega SPS plaadi abil), ülikiire valgusekatik jm.

SPS AR holograafia väga oluline eelis on, et siin on vaja faasimälu rikkumatust üksnes info üleskirjutamise ajaks. Säilimisaeg on määratud põhiliselt tahkise struktuuri püsimise ajaga, s.t aatomite difusiooniprotsessidega. Need võivad võtta aega aastaid ja madalatel temperatuuridel aastasadugi. Sama kaua saab säilitada SPS infot. Seda võib soovitud ajahetkedel korduvalt välja lugeda. Kvantarvutamine vajab faasimälu püsimist kogu tsükli jooksul – salvestamisel, säilitamisel, väljalugemisel. Viimane, nagu teada, hävitab ühtlasi kogu üleskirjutise.

FVJ, SPS, ÜMS on kindlalt sees ülikoolide loengukursustes ja laborite seminarides keemikutele ja füüsikutele, on algamas minek ka (molekulaar-) bioloogide haridusse. Esimene maailmas loengukursus ÜMS kohta loeti 1991/92 õppeaasta sügissemestril TÜ teoreetilise füüsika kateedris, 1992. aasta alguses oli üks esimesi FVJ, SPS ja ÜMS kohta Šveitsi Föderaalsetes Tehnoloogia Instituudis Zürichis. Nad on jõudnud ka entsüklopeediasse nii ida- kui läänepool.

FVJ, SPS ja ÜMS alased tööd on leidnud ridamisi tunnustust rahvusvahelisel tasemel teaduspreemiate näol. Neist senini kaalukaimad on NSVL Riiklik preemia 1986 FI-st – R.Avarmaa, A.Gorohovski, J.Kikas, L.Rebane; Rahvusvaheline Optikakomisjoni Preemia 1993 (A.Rebane, FI ja ETH). Eestimaal on FVJ ja sellest väljakasvanud tööd saanud 3 vabariiklikku preemiat: 1965, 1973 ja 1995. Eks minugi elutöö eest preemia on siit pärit. Rahvusvaheline Luminestsentsikomisjoni preemia – 1990, R.MacFarlane, IBM San Jose. Päris mitu preemiat Saksamaal. Täielikku ülevaadet pole, kuid preemiate ja tunnustuste koguarv maailmas ulatub kümnetesse ning näib jõudsast kasvavat, eriti SPS osas, millel on häid väljavaateid praktikasse jõuda. Seetõttu on SPS välismaal väga hästi rahastatud, nüüd ka ÜMS.

Mul on kümme NL autoritunnistust, üks NL-s registreeritud avastus (koos V.Hižnjakovi ja P.Saariga), üks EV patenditaotlus. Avastus on päris kena asja kohta, kuid vormistasin selle ikkagi üksnes omamaks argumenti füüsika ja Eestimaa teaduse eest seismisel admin- ja parteiringkondades. Olin koos teiste mõistlike akadeemikutega NL TA-s arvamisel, et see avastuste spetsregistreerimine NSVL-s oli üsnagi tühi tegevus. Leian praegu, et autoritunnistustes on nii mõnigi väärt idee, mis võib tulevikus küll kasutamist leida, näiteks [Ребане, Хижняков, 1963, 1963a; Kikas, Rebane, 1983].

FVJ suund on kestnud FI-s 40 aastat. Potentsiaal on ikka veel jätkuvalt värske. Julgen väita, et praegu on optiliste FVJ seis teaduses võrreldav Mössbaueri FVJ-tega γ -kiirte spektrites. Praktiliste rakenduste poolest tulevikus on optiliste FVJ võimalused isegi paremad: spektraalsäilkamise abil saame aine oma- dusi muuta, s.o juhtida optiliste protsesside kulgu valguse abil (vt [Rebane, 2000] ja viited seal).

Teaduspublikatsioonid on mul üsna palju. Ja kirjutan neid ikka veel juurde. Artikleid teadusajakirjades on tänaseks ca 250. Ettekannete teese teadus-
asjalisi minipabereid, mis ühel või teisel moel avaldatud, peaks olema teist
niipalju. Tööde tsiteeritavus, mida praegu meil jällegi kriteeriumina võetakse,
oli aastaid päris heas lähenduses üks viide nädalas. Värske loendus näitas, et
1975. aastast alates on viiteid kokku olnud 2000. Varasemate arv peaks olema
200–300, seega kokku 2200. Paha on, et praegustel loendamistel arvatakse
sisse autori enese viited tema varasematele töödele. Omal ajal saime (dr. Helle
Martinsonilt) arvud, millest eneseviited välja filtreeritud. Praegune arvestus
võimendab autori loomulikku tungi panna kirjanduse loetellu võimalikult kõik
viited iseoma üpris vähe asjasse puutuvatele töödele, kuigi pahatihti on neilt
mitmete nimetamise vajadus null. Tsiteeritavus on üks asjalikest töö taseme
näitajaist. Kuid just nimelt AINULT ÜKS NEIST. Inimlikult on arusaadav, et seda
armastavad kõrgelttsiteeritavad ja püüavad hoolega vaikusetsoonis hoida
pisitsiteeritavad. Äsja sain kurbusttekitavalt teada, et FI juhtkond on otsus-
tanud peatselt tulevatele töö hindajatele esitatavast andmete suurraamatust
tsiteeritavuse näitajad välja jätta.

Minu teadusalal – füüsikas – on alatasa uut ja huvitavat tulnud. Sellepärast on
ohtu ja küllap vist olnud mul ka kalduvust temaatikas laiali valguda. Viimast
on karmilt piiranud teaduskorralduse koormast tulnud ajapuudus. Ühest küljest
hea. Teisest – kui oluks lähedalt aega, vast oleksin kirjutanud rohkem ja
põhjalikumalt artikleid, võimalik, et ka umbes viie aasta kohta raamatu. Minu
doktoritöö (kirjutatud ja kaitstud 1964) alusel kirjutatud raamat “Элементар-
ная теория колебательной структуры спектров примесных центров
кристаллов”. Наука, 1968 [Ребане, 1968] ja selle inglise keelde tõlgitud
täiendatud variant “Impurity Spectra of Solids”, Plenum Press 1970 [Rebane,
1970] on kogunud kahepeale üle pooltuhanda viite ja koguvad praegugi.

Eesti TA-sse ja FI-sse pandud mõte, energia ja tööaeg on populismilainetes
suures osas tühja jooksnud. Eriti just kõige vaevarikama ja riskantsema töö
viljad – aparaadiehitus, töökohad füüsikutele Eestimaal.

Teaduse organiseerimisele läks mul pikki aastaid tublisti rohkem aega ja
tähelepanu kui mu enda teadusetegemisele. Seda nii Tartu Ülikooli, Füüsika
Instituudi, Eestimaa kui ka NSV Liidu ja rahvusvahelisel areenil. Näen nüüd
selgelt, et tegin seda üsna raskelt, närvi- ja tervisekuluga. Ega kergesti poleks
vast saanudki – eesmärkideks oli teha uut, aidata kaasa kõrgema taseme,
teadusele ja majandusele kasulikuma saavutamisele. Tuli tegutseda entroopia
lokaalse vähendamise nimel, vastuvoolu entroopia kasvutendentsile. Selleks on
teatavasti tingimata vaja vahendeid, ressursse, vastutava tegija tööd ja
vaimupinget. Julgen väita, et saavutasime ka tulemusi. Mina liikusin teaduse
ametiredelil üsnagi edukalt kõrgemale. Korduvalt tuli konkureerida. Oli
õnnelik füüsikapõllu kiire laienemise aeg. Ei olnud tarvis, ja mulle ei tulnud
pähegi, oodata ametikohtade vabanemist kellegi alt või tegutseda viimase
kiirendamise nimel.

Ajad olid niisugused, et erinevalt eelnevatest (10–15 aastat pärast sõja lõppu;
mõnes teaduses, pseudoteaduslikes nurgatagustes ka hiljem ja üsnagi
permanentselt) ja hilisematest (praegusest 12 aastat tagasi), ei olnud kuigi
võimalik teaduses silma paista ja karjääri teha olemasoleva mahalõhkumise ja
selle ümber käratsemisega, mis on pahatihti üsnagi eufooriliselt semulik,

asjatundmatu, vastutustundetult mõistusevaba sekeldamine. Kahjuks on füüsika seisukohast sellisel sehkendamisel võimas tugi – termodünaamika II seadus. Mahasahkerdamine, minnalaskmine, lõhkumine on hõlpsad, sest lähevad entroopia kasvu suunas ja selle vägeval toetusel. Selleks polegi tarvis midagi organiseerida – allakäik ja lagunemine lähevad iseenesest, loodusjõuna. Seda loodusjõudu saab küll “väärata”, modifitseerides tegutsemistingimusi, kuid see on, nagu juba mainitud, raske ja kulukas, sest tuleb töötada vastu entroopia kasvule pürgimisele.

Entroopiaseadus keskkonnahoius ja -kasutamises ning selle kaudu majanduses ja elus üldse on olnud mu kõrvalharrastuseks [Rebane, 1998]. Pean oluliseks järeldust, et keskkonnahoid on objektiivselt raske seetõttu, et olemusvõitluses jäävad eelistatult peale need, kes keskkonda rohkem ja hoolimatult kasutavad ja saastavad. Siinjuures õpetlik moment: täppisteadus paneb diagnoosi, aga ravivõimalused jäävad ühiskonnakorralduse kätte.

Raamatuke “Energia, entroopia, elukeskkond” (Valgus, 1980; vene keeles 1984) mulle endale meeldib küll. Seni kättesaamatuks on jäänud selle täiendamine ja ümberpanemine inglise keelde. Viimane oleks kena ja vajalik, sest suur tühemik “entroopiaprobleemid keskkonnahoius” on hakanud täituma hiljutiste, minu omadest kümnekond aastat hilisemate, arvan ka, et pealiskaudsemate kirjutistega.

Teaduskorralduslikust koormusest sündinud mind ligemale neli aastakümnet kurnanud alalist ajapuudust olen päris edukalt kompenseerinud kõnelustes ja aruteludes heade, väga heade ja üliheade teadlastega. Seda nii Eestimaa, rahvusvahelisel kui meie perekonna nivool. Vanemalt vennalt Jaanilt, filosoofiadoktorilt ja Eesti TA akadeemikult, sain nii mõndagi õpetlikku ja kasulikku tänapäeva pärisfilosoofiast, aga ka klassikast. Noorem vend Toomas on füüsika-teoreetik minu teadustegemisele lähedastel aladel, ekstraklassi asjatundja aatomite ja molekulide kvantmehaanikas, Peterburi Ülikooli professor, saab lisaks palgakesele Venemaa silmapaistva teadlase stipendiumi. Noorem vend Jüri oli matemaatik. Temast jäi poolrühmade algebrasse Rebane-Cohn nimeline teoreem. Minu kadunud abikaasa Ljubov Rebane (Šagalova) oli füüsik-eksperimentaator optikas ja spektroskoopias, TÜ professor, NSV Liidu Riikliku preemia laureaat spektraalsätkamise ja foononvabade joonte alal. Poeg Aleksander, professor, juhatab Montana Ülikoolis ta enda loodud laseroptika minilaboratooriumit, mis on spektraalsätkamise ja femtosekundite informaatikas maailmateaduse lõiketeral. Tütar Inna on FI vanemteadur, tema teadustulemused käsitlevad ajast sõltuvaid spektreid, spektraalsätkamise ja ühe molekuli spektroskoopiat.

Minu 120-st kursusekaaslasest omaaegses Leningradi Riikliku Ülikooli füüsika-teaduskonnas on saanud mitukümmend doktorit-professorit, kaks NSV Liidu (Vene) TA akadeemikut ja üks korrespondentliige, kaks Ukraina TA akadeemikut. Häid tuttavaid ja teadusmõttekaaslasi akadeemilis-test ringkondadest on kõigi nelja ilmakaare poole. Üks vana tuttav ja sinasõber on värske Nobeli füüsikapreemia laureaat (pooljuht-heterosiirete eest).

Ma ei nimetaks siinkohal kedagi Eesti TA ja NSV Liidu TA akadeemikuist, kes on pikki aastaid olnud mulle eriti lähedaseks ja kõrgasjatundlikuks keskkonnaks – tuleks palju nimesid ja ikkagi poleks võimalik õiglast lõpujoont tõmmata.

Lähemaid kaastöölisi, kellela teaduses tehtu oleks suurusjärg väiksem, on mul omal ajal olnud kümnekond. Teooria arendamisel, meie oma teooria tegemisel, akadeemik Vladimir Hižnjakov ja doktor Olev Sild. Eksperimentides ja selleks vajaliku laboratoorse baasi loomise rasketel algusaegadel – professor Ljubov Rebane (surnud 1991), akadeemik Peeter Saari (ka teoorias), doktor Enn Realo, doktor Rein Avarmaa (surnud 1987), professor Jaak Kikas; professor Anshel Gorohhovski (nüüd New York City University); “uuemal ajal” s.t juba käivitatud laseroptika labori edasiviimisel – professor Aleksander Rebane (Montana State University), doktor Raivo Jaaniso, doktor Viktor Palm (jun.).

Teaduskorralduse ja -administreerimise peenelt varjatud ohtudega Eestimaa teaduse tööpõllul on mind aidanud ja toetanud akadeemikud Harald Keres (oli TÜ teoreetilise füüsika kateedri juhataja, mis oli mu esimene töökoht Tartus), Aksel Kipper, Fjodor Klement (tõi mu pärast aspirantuuri Leningradi RÜ-s tööle Tartu Ülikooli).

Olen neile kõigile sügavalt tänulik.

Kirjandus

Abstracts Symp. Modern methods of laser spectroscopy of molecule in low-temperature media. 1987, Tallinn, May 19-21, 55-56.

Moerner, W.E. (Ed.) 1988. Persistent spectral hole-burning: Science and applications. Topics in current physics, Vol. 44. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 17-77.

Rebane, K.K. 1970. Impurity spectra of solids: Elementary theory of vibrational structure. Plenum Press, New York-London, 1970.

Rebane, K. 1980. Energia, entroopia, elukeskkond. Valgus, Tallinn, 126 lk.

Rebane, K. 1991. The search for extraterrestrial intelligence and ecological problems. Astronomical society of the pacific conference series. San Fransisco: Third Decennial US-USSR Conf. on SETI, Santa-Gruz, California, Aug. 5-9.

Rebane, K.K. 1994. Zero-phonon line as the foundation stone of high-resolution matrix spectroscopy, persistent spectral hole burning, single impurity molecule spectroscopy. Invited review paper for special issue on matrix isolation spectroscopy. J. Chem. Phys., 189, 139-148.

Rebane, K.K. 1995. Energy, entropy, environment: why is protection of the environment objectively difficult? Ecological Economics, 13, 1, 89-92.

Rebane, K.K. 1999. Two remarks on photonic crystals. Optics and Spectrosc., 86, 887-888.

Rebane, K.K. 2000. Zero-phonon line selective spectroscopy: where do we stand now? Concluding talk at the 6th International Conference on hole burning and related spectroscopies HBR99, Hourtin, France, Sept. 18-23, 1999. *J. of Luminescence*, 86, 167-173.

Rebane, K.K., Rebane, A. 1996. Persistent spectral hole burning: time-and-space domain holography. Chapter 13. *Molecular Electronics. From Basic Principles to Preliminary Applications*. Mahler, G., Schreiber, M., May, V. (Eds.), Marcell-Dekker Inc., New York, Basel, Hong-Kong, 257-302.

Sild, O., Haller, K. (Eds.) 1988. Zero-phonon lines and spectral hole burning in spectroscopy and photochemistry. Springer-Verlag.

Кикас Я.В., Ребане К.К. 1983. Носитель информации. Свидетельство о приоритете Но 3591437.24 от 28.11.1983. Авторское свидетельство Но 1105942 от 01.04.84. с приоритетом от 26.05.83.

Ребане К.К. 1964. Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук «Метод моментов и колебательная структура спектров примесных кристаллов». ИФ АН БССР, Минск.

Ребане К.К. 1968. Элементарная теория колебательной структуры спектров примесных центров кристаллов. Наука, Москва.

Ребане К.К. 1984. Энергия, энтропия, среда обитания. Валгус, Таллинн, 159 стр.

Ребане К.К. 1986. О безфононных линиях и их роли в спектроскопии и фотохимии примесных твердотельных систем (On zero-phonon lines and their role in spectroscopy and photochemistry of doped solid systems). Тр. ИФ АН ЭССР, 59, 7-30.

Ребане К.К. 1998. Энергия, энтропия, экономика, экология, окружающая среда, Исследование земли из космоса, 5, 29-41.

Ребане К.К. 1999. Два замечания о фотонных кристаллах. Опт. и спектроск., 86, 988-989.

Ребане К.К. Обещания квантовой информатики в свете сравнения с пространственно-временной голографией, основанной на выжигании спектральных провалов. Опт. и спектроск. (In press).

Ребане К.К., Хижняков В.В. 1962. К теории эффекта Шпольского (On the theory of the Shpolsky effect.). Тр. Ин-та физики и астрономии АН ЭССР, 21, 276-278.

Ребане К.К., Хижняков В.В. 1962а. Теоретические возможности усиления мягких γ -лучей на основе использования эффекта Моссбауера. Свидетельство о приоритете Nr. 61 489, от 15.12.62.

Ребане К.К., Хижняков В.В. 1963. Теория квазилинейчатых электронно-колебательных спектров в кристаллах. II Сравнение эффекта Шпольского с эффектом Мессбауэра" (Theory of the quasiline electron-vibrational spectra of impurities in crystals. II. Comparison of Shpolsky effect with the Mössbauer effect). Опт. и спектроск., 14, 4, 491-494.

Ребане К.К., Хижняков В.В., 1963а. Теоретическая возможность генерации сверхмягких γ -лучей на основе использования эффекта Мессбауера. Свидетельство о приоритете. No 61741 от 22.08.63.

Хижняков В.В., Ребане К.К. 1963b. Теория квазилинейчатых спектров в кристаллах. I Теория эффекта Шпольского (Theory of the quasiline electron-vibrational spectra of impurities in crystal. I. Theory of the Shpolsky effect.). Опт. и спектроск., 14, 3, 362-370.

Teaduspreemia täppisteaduste alal tööde tsükli
"Banachi ruumide apromatsiooniomadused ja
kaasruumide geomeetria" eest



Eve Oja

Sündinud 10. oktoobril 1948 Tallinnas

- 1967 Gustav Adolphi Gümnaasium
- 1972 Tartu Ülikool, rakendusmatemaatika
- 1975 füüsika-matemaatikakandidaat, Tartu Ülikool
- 1992 professor, funktsionaalanalüüs

Alates 1975 Tartu Ülikool: assistent, vanemõpetaja, dotsent, korraline professor; aastatel 1994 ja 1998 puhta matemaatika instituudi juhataja. Aastatel 1977–1978 Mali Vabariigi Rahvusliku Inseneride Kooli õppejõud.

American Mathematical Society liige, Eesti Matemaatika Seltsi liige, ajakirja *Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis de Mathematica* peatoimetaja.

Avaldanud 46 teaduspublikatsiooni eelretsenseeritavates ajakirjades.

“Auklik” matemaatika

Hea insener tunneb piisavalt hästi rakendusmatemaatikat selleks, et rakendusmatemaatiku abiga sõnastada oma probleem. Nii saab inseneriprobleemist rakendusmatemaatikaprobleem. Hea rakendusmatemaatik tunneb piisavalt hästi matemaatikat selleks, et oma probleemide lahendamiseks valida sobivat aparatuuri ja vahendeid puhta matemaatika vallast. Et see aga võimalik oleks, peab matemaatika selle koha pealt, mida rakendusmatemaatik kasutada soovib, olema valmis, olema terviklik. Kuid isegi matemaatika klassikaline osa ei ole valmis. Ehkki esmapilgul terviklik ja sile, on ta täis aukusid – lahendamata probleemid – justkui šveitsi juust.

Matemaatikategemiseks on põhimõtteliselt kaks võimalust: kas “lappida aukusid” või arendada edasi mingit matemaatika “aukudeta” osa, ümbritsedes ennast üha üldisemate mõistete labürindiga. “Augulappimine”, kui see õnnestub, on enamasti seotud sügavamate ja täpsemate meetodite (isegi teooriate) leidmisega. Sageli võimaldavad uued meetodid haarata endasse eelnevat ning asendada lihtsamatega endisi liigkeerulisi arutlusi. Käesoleva uurimuste tsükli puhul ongi tegemist sedasorti “augulappimisega”.

Banachi ruumide keskkond

Uurimuste tsükkel “Banachi ruumide aproksimatsiooniomadused ja kaasruumide geomeetria” tegeleb matemaatika alusuuringutega ja kuulub funktsionaalanalüüsi valdkonda. Funktsionaalanalüüs on intensiivselt arenev fundamentaalne matemaatikaharu, mis leiab rakendamist arvutusmatemaatikas, diferentsiaal- ja integraalvõrrandite teoorias, teoreetilises füüsikas, tõenäosusteoorias jm. Kaasaegse funktsionaalanalüüsi sünniaastaks peetakse aastat 1932, mil ilmus Stefan Banachi monograafia *Théorie des opérations linéaires* (Lineaarsete operatsioonide teooria). Käesoleva uurimuste tsükli keskkonnaks on Banachi nime kandvad ruumid – Banachi ruumid.

Banachi ruumi mõistet on võimalik tajuda koolimatemaatika baasil. Igäühel meist on olemas intuiitvne ettekujutus *hulgast* kui mingist objektide ehk elementide kogumist (näiteks: kõigi punktide hulk tasandil, kõigi reaalarvude hulk \mathbb{R}). *Banachi ruumiks* nimetatakse niisugust hulka, mille elemente saab liita ja arvudega korrutada (s.t tegemist on vektorruumiga) ning mille iga elemendi x jaoks on defineeritud norm $\|x\|$ – elemendi x “pikkus” (norm ongi oma olemuselt vektori pikkuse üldistus). Lisaks kehtib nn täielikkuse aksiom, mis kirjeldab selles ruumis koonduvaid jadasid (jada (x_n) koondub, kui $\lim \|x_n - x_m\| = 0$).

Toome mõned Banachi ruumide näited. Eukleidiline tasand \mathbb{R}^2 on Banachi ruum, kus vektori $x = (a_1, a_2) \in \mathbb{R}^2$ norm on defineeritud tema pikkusena:

$$\|x\| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}.$$

Banachi ruumi moodustavad lõigus $[a, b]$ pidevad funktsioonid, kui funktsiooni $x = x(t)$ norm defineerida maksimumi abil:

$$\|x\| = \max_{a \leq t \leq b} |x(t)|.$$

Seda ruumi tähistatakse $C[a,b]$ ning ta on funktsionaalanalüüsi arvukates rakendustes kõige enam kasutatav ruum.

Enamuse funktsionaalanalüüsi rakenduste jaoks on Banachi ruumide keskkond just see kõige sobivam keskkond – piisavalt üldine, aga samal ajal ka mitte nii üldine keskkond, et seal enam küllaldaselt konkreetseid sisukaid tulemusi ei tekiks. Paljusid Banachi ruumide teooria tulemusi ja probleeme on võimalik sõnastada elementaarselt, tavalist ülikoolimatemaatikat kasutades. Seetõttu pakuvad need huvi väga paljudele matemaatikutele. Ka kaks viimast Rahvusvahelist Matemaatikute Kongressi on tunnustanud Banachi ruumide uurimusi Fieldsi preemiatega (J. Bourgain 1994; W. T. Gowers 1998).

Kaasruumid

Auhinnatud tööde tsükli pealkirjas figureerivatest mõistetest on veel tutvustamata “kaasruum” ja “aprosimatsiooniomadus”. Ka kaasruumi mõiste peaks olema koolimatemaatika baasil küllaltki hästi tajutav. Seetõttu peatumegi kõigepealt töödetsükli sellel osal, mis käsitleb põhiliselt kaasruume ning esialgu ei puuduta veel aprosimatsiooniomadusi.

Banachi ruumi X kaasruumi X^* moodustavad kõikvõimalikud ruumil X määratud arvulise väärtusega funktsioonid, mis on lineaarsed (s.t säilitavad liitmise ja arvuga korrutamise) ja pidevad (s.t säilitavad jadade koonduvuse). Kaasruum osutub ka ise Banachi ruumiks. See asjaolu võimaldab kaasruumile X^* omakorda moodustada kaasruumi X^{**} – ruumi X teise kaasruumi. Niiviisi jätkates tekivad lähteruumi X korral, tema kaasruumist X^* edasi minnes, teine kaasruum X^{**} , kolmas kaasruum X^{***} jne. Seejuures osutub, et ruum X paikneb alati oma teises kaasruumis. Kui X peaks aga enda alla haarama kogu oma teise kaasruumi, siis öeldakse, et ruum X on *refleksiivne*. Näiteks \mathbb{R}^2 on refleksiivne, kuid $C[a,b]$ ei ole refleksiivne ruum.

Enamasti on nii, et kui kaasruumil X^* on mingi hea omadus, siis on see omadus ka lähteruumil X . Vastupidi aga üldiselt mitte. Kui ruum ei ole refleksiivne, siis mida kõrgemale tema kaasruumidesse tõusta, seda keerulisemaks muutub ruumide struktuur. Isegi rakendustes kõige enam kasutatavate ning kõige põhjalikumalt läbiuuritud ruumide korral osatakse kaasruume täielikult kirjeldada maksimaalselt kuni kolmanda kaasruumini. Kaasruumide kas või osaline kirjeldamine on olnud üheks funktsionaalanalüüsi klassikaliseks ülesandeks alates 1930. aastatest kuni tänapäevani välja.

Käesolevas töödetsükklis kirjeldatakse kaasruume niisuguste geomeetriliste mõistete kaudu nagu M -ideaalid, ühesusomadused U , SU ja HB , $M(r,s)$ -võrratust rahuldavad ideaalid ning u - ja h -ideaalid. Uurimuslikuks lähtekohaks on siin Alfseni ja Effrose fundamentaalne töö (1972, *Ann. Math.* 96). Artiklites [Oja, 1997] ja [Oja, Põldvere, 1999] antakse üksikasjalik käsitus ühesusomadusele U (Phelps 1960, *Trans. Amer. Math. Soc.* 95) ja tugevale ühesusomadusele SU (Oja 1988, *Mat. Zametki* 43) Banachi ruumide sisemise geomeetria kaudu (kerade lõikumisomadused ning nende analüütilised analoogid) ning Goduni hulga (Godefroy, Kalton, Saphar 1993, *Studia Math.* 104) üldistuse kaudu Banachi ruumidelt operaatorruumidele. Rakendusena tõestatakse näiteks üks Lima hüpoteese (1983, *Math. Scand.* 53) ühesusomaduse HB (Hennefeld 1979, *Indiana Univ. Math. J.* 28) püüdnud kohta. Artiklis [Haller, Oja, 1997] iseloomustatakse $M(r,s)$ -võrratust rahuldavaid ideaale Banachi

ruumi ühiksfääri geomeetrilise struktuuri kaudu ning töös [Cabello jt, 1998] uuritakse, millisel määral on ruumi omadused determineeritud arviliste parameetrite r ja s poolt. Ehkki $M(r,s)$ -võrratust rahuldavad ideaalid üldistavad M -ideaale, ei rakendu neile vaadeldavas valdkonnas M -ideaalide teooria meetodid. Seetõttu on siin välja töötatud uus uurimismetoodika, mis põhineb teatud elementaarsete funktsionaalide ühesel jätkamisel. Rakendusena tehakse kindlaks $M(r,s)$ -võrratuste seos ruumise ilmnevate aproksimatsiooniomadustega. Tööd [Ausekle, Oja, 1997], [Ausekle, Oja, 1998] ja [Oja, 1998a] käsitlevad kaasruumide kirjeldamise üht tähtsamat klassikalist ülesannet – ruumide refleksiivsuse kindlakstegemist. Muuhulgas on tuletatud efektiivsed kriteeriumid Lorentzi ja Orliczi jadaruumides tegutsevate operaatorite ruumide refleksiivsuseks.

Ma ei hakkaks lugejat koormama eelmises lõigus mainitud mõistete ja tulemuste matemaatilise sisu avamisega. Küll aga peatuksin mõneti erandlikul artiklil [Oja, 1998a], mis ilmus ajakirja *Proceedings of the American Mathematical Society* eriliste nõudmistega rubriigis *Shorter Notes*. Sellesse rubriiki sobimiseks peab artikkel näiteks andma uue elegantse tõestuse mõnele juba klassikaliseks saanud teoreemile või ümber lükkama mõne tõepäraseks peetava kauapüsinud hüpoteesi. Lisaks on artiklile seatud väga tugev vormiline kitsendus: ta peab ära mahtuma kahele leheküljele ning tema esituslaad peab olema üksikasjaline ja põhjalik. Kitsendused rubriiki *Shorter Notes* pääsemiseks on niivõrd tugevad, et neid tingimusi täitvaid artikleid ilmub aastas ainult mõni ning tõenäosus, et eesti matemaatiku töö sinna pääseks, on kaduvväike.

Artiklis [Oja, 1998a] on esitatud lühike ja lihtne tõestus kuulsale Jamesi refleksiivusteoreemile (1964, *Israel J. Math.* 2). Mäletatavasti nimetatakse ruumi refleksiivseks, kui ta täidab kogu oma teise kaasruumi. Refleksiivsus defineeritakse seega kaasruumide terminites. Jamesi teoreemi võlu seisneb selles, et ta iseloomustab refleksiivsust ruumi enese terminites, ilma kaasruumidesse väljumata. Jamesi teoreemi sõnastus on matemaatilises mõttes äärmiselt elementaarne: ta kasutab üksnes funktsionaalanalüüsi algmõisteid. Samal ajal olid kõik siiaeni ilmunud Jamesi teoreemi tõestused, mida ka mitmes monograafias (*Beauzamy* 1982, *North-Holland*; *Guerre-Delabrière* 1992, *Marcel Dekker*; *Megginson* 1998, *Springer*) lihvitud, küllaltki pikad ning kaugel igasugusest elementaarsusest. Artiklis [Oja, 1998a] sisalduv Jamesi teoreemi tõestus on aga sama elementaarne nagu selle teoreemi sõnastuski ning võtab enda alla kõigest pool lehekülge.

Aproksimatsiooni-probleem ja valge hani

Matemaatilisele rangusele lõivu makstes võib öelda, et *aproksimatsiooniomadus* tähendab seda, et ruumi elemente on võimalik lähendada elementidega teatud lõplikumõõtmelistest alamruumidest. Niisugune lähendamisvõimalus avab tee arvutite kasutamisele, mistõttu aproksimatsiooniomadusega ruumid on olulised mitmesugustes funktsionaalanalüüsi rakendustes.

Kas igal Banachi ruumil on aproksimatsiooniomadus? Selle nn *aproksimatsiooni-probleemi* pani kirja Mazur (Banachi õpilane ja kaastööline) kuulsasse *Šoti raamatusse* 1936. aastal, lubades probleemi lahenduse eest auhinnaks elava hane.

Šoti raamat on üks omapärasemaid matemaatikaprobleemide kogusid. Tema tekkelugu on järgmine. Lvovis, mis enne II ilmasõda oli Poola linn, asub joogi- ja söögikoht nimega “Šoti kohvik”. 1930. aastatel kogunes “Šoti kohvikusse” pea igal õhtupoolikul matemaatikute seltskond eesotsas Banachi, Steinhausi, Mazuri ja Ulamiga. Söödi, joodi (mitte üksnes kohvi) ning “tehti” matemaatikat. Matemaatikategemise käigus kattusid kohviku marmorlauakesed valemitte kribu-krabuga, mis järgmiseks hommikuks loomulikult maha pestud said. Legend (Steinhausi mälestused) räägib, et kord olivat üks selline “istung” kestnud ühtejärgi 17 tundi. Tulemuseks olevat olnud suurepärase teoreemi, mille tõestus, nagu tavaliselt, lauaplaadile kirjutati ning mis, nagu tavaliselt, järgmiseks hommikuks sealt ka kadunud oli. Kuna aga mitte keegi ei olevat suutnud tõestust taastada, siis olevatki see suurepärase teoreemi kaotsi läinud. Et niisugust õnnetust enam ei juhtuks, ostis proua Banach paksu klade, mida säilitati kohvikus ning anti matemaatikutele, kui neil tekkis tahtmine midagi olulist kirja panna. Seda kladet hakatigi kutsuma *Šoti raamatuks*. *Šoti raamat* sisaldab 193 matemaatilist probleemi. Probleemipüstitajad lubasid nii mõnigi kord ka auhindasid: näiteks väike tass musta kohvi, 2 suurt õlut, pudel veini jne. Aproximatsiooniprobleemi lahenduse eest lubas Mazur, nagu juba öeldud, elava hane.

Aproximatsiooniprobleemile lahenduse otsimisega tegelesid tuhanded matemaatikud. Enamasti usuti probleemi positiivsesse lahendusse ning püüti tõestada, et igal Banachi ruumil on aproximatsiooniomadus. Paljud matemaatikud pühendasid nendele uuringutele kogu oma energia. Dramaatiline lahendus saabus 1972. aastal: noor rootsi matemaatik Per Enflo konstrueeris niisuguse Banachi ruumi, millel ei olnud aproximatsiooniomadust. Enflo sai ka Mazuri lubatud auhinna – elava hane. *Kaluža* raamatus *The Life of Stefan Banach* (1996, *Birkhäuser*) on foto, kus tollal ligi 70-aastane Mazur ulatab naeratavale Enflore punutud korvi valge hanega, kes tundub pildil sama tõsine ja asjalik nagu Mazur isegi.

Aproximatsiooniomadus ja Afganistani sõda

See, et aproximatsiooniprobleemi lahendus osutus negatiivseks, tähendas eelkõige seda, et Banachi ruumide teooria on palju keerulisem ja rikkalikum, kui esialgu aimata võis. Selgus, et aproximatsiooniomadust puudutavate probleemide spekter on vägagi lai. Mis tõukas aga aproximatsiooniomadusega tegelema käesolevate ridade autorit? Võib öelda, et kummalisel kombel oli selleks NSV Liidu poolt vallapäästetud Afganistani sõda.

1980–81 õppeaasta veetsin ma NSV Liidu stažöörina ning ühtlasi Prantsuse Vabariigi stipendiaadina Marseille’s. Sinna sattusin ma aga just seoses Afganistani sõjaga. Ise soovisin küll Pariisi ning NSV Liidu poolne taotlus oli ka Pariisi, kuid maailmakuulus matemaatik (Fieldsi preemia 1950) Laurent Schwartz, kes Afganistani sõja asjus aktiivselt NSV Liidu vastu välja astus, olevat soovinud vaenuliku riigi stažööri iseendast ja seega ka Pariisist võimalikult kaugele saata. Sellest Marseille’sse pagendamise loost rääkis mulle professor Billard, kelle juurde Marseille’sse Schwartz mind suunaski.

Professor Billard’i seminaris uuriti aga parajasti üht Retherfordi ja Stegalli fundamentaalset tööd, kus igal sammul oli mängus aproximatsiooniomadus. Mäletan, kuidas professor Billard, silmad säramas ja ümar pealagi piljardikuu-

lina läikimas (*billard* – “piljard” pr.k), aeg-ajalt hüüatas: “Madam Ožaa, vaadake siia, vaadake siia! Juba jälle kasutavad nad seda tuumaoperaatorite kohta käivat väidet eeldusel, et teisel kaasruumil on aproksimatsiooniomadus. See on ju tõestamata!” Tõepoolest, kõnealune väide, mis sisaldub Alexander Grothendiecki (Fieldsi preemia 1966) 1955. aastal ilmunud põhjanevas monograafias *Produits tensoriels topologiques et espaces nucléaires*, nn *Grothendiecki memuaaris*, oligi tõestamata. *Grothendiecki memuaaris* on üksnes kirjas, et see väide on tõestatav (eelmise arutlusega) sümmeetrilise arutluse teel. Kuid nagu ütles Billard: “Meie siin oleme korduvalt proovinud seda sümmeetrilist arutlust läbi teha, aga see ei anna mitte kui midagi. Proovige ka, madam Ožaa, proovige ka!” Ja nii ma proovisingi. Tulemuseks oli koostöös Leningradi matemaatiku Oleg Reinoviga kirjutatud artikkel, mis ilmus Pariisi Teaduste Akadeemia toimetistes 1987. aastal, kus me konstrueerisime Grothendieckile kontranäite ning tõestasime, et see tuumaoperaatorite kohta käiv väide ei kehti, kui eeldada aproksimatsiooniomadust *teiselt* kaasruumilt, kuid väide kehtib, kui eeldada aproksimatsiooniomadust *kolmandalt* kaasruumilt. Aproksimatsiooniomaduste vallas tegutsedes on ka viimastel aastatel õnnestunud nii mõndagi ära teha. Mida nimelt, seda püüak-singi järgnevas põgusalt kirjeldada.

Aproksimatsiooniomaduse olemus

Osas “Kaasruumid” tutvusime auhinnatud uurimuste tsükli nende tööde ja tulemustega, mida oli võimalik kirjeldada, kasutades suhteliselt üldarusaadavaid mõisteid nagu “Banachi ruum” ja “kaasruum”. Kuigi ka nendes töodes on tunda aproksimatsiooniomaduse kohalolekut, pole seal aproksimatsiooniomaduse olemus uurimisobjektiks omaette. Uurimuste tsükli ülejäänud artiklid on aga nii või teisiti pühendatud aproksimatsiooniomaduse olemuse avamisele.

Aproksimatsiooniomaduse olemuslike uuringute käigus (alates 1930. aastate algusest kuni tänapäevani välja) on kasutatud väga palju erinevaid matemaatilisi mõisteid ning loodud uusi teooriaid. Näiteks *Grothendiecki memuaar* kirjeldab aproksimatsiooniomadust kaheksa kvalitatiivselt erineva tingimuse kaudu, millest igaüks on samaväärne aproksimatsiooniomadusega. Et oma kirjeldustega edasi minna, peaksime end varustama vähemalt operaatori mõistega. Operaator on koolimatemaatikast tuntud funktsiooni üldistus: *operaator* on niisugune funktsioon, mille määramispiirkonnaks on mingi Banachi ruum ja ka muutumispiirkonnaks on mingi Banachi ruum. Lisaks eeldatakse operaatorilt lineaarsust ja pidevust. Kui operaatori väärtuste hulk on lõplikumõõtmeline, siis räägitakse *lõplikumõõtmelisest operaatorist*. Topoloogiliste mõistete “hulga kompaktsus” ja “hulga nõrk kompaktsus” abil defineeritakse *kompaktsed ja nõrgalt kompaktsed operaatorid*. Kõigi kompaktsete operaatorite hulk ja kõigi nõrgalt kompaktsete operaatorite hulk kujutavad endast Banachi ruume. Lõplikumõõtmelised operaatorid paiknevad seejuures kompaktsete operaatorite ruumis, mis omakorda asetseb nõrgalt kompaktsete operaatorite ruumis.

Üks *Grothendiecki memuaari* kuulsamaid aproksimatsiooniomadusega samaväärseid tingimusi väljendub lõplikumõõtmeliste operaatorite asendis kompaktsete operaatorite ruumis: lõplikumõõtmelised operaatorid paiknevad seal kõikjal tihedalt. Artiklis [Lima, Oja, 1999] iseloomustatakse nii Banachi ruumi kui ka tema kaasruumi aproksimatsiooniomadusi lõplikumõõtmeliste operaatorite

torite asendi kaudu kompaktsete operaatorite ruumis, kuid erinevalt Grothendiecki tingimusest väljendatakse siin operaatorite ruumide kaasruumide geometria kaudu, kasutades kerade lõikumisomadusi ja ideaalide terminoloogiat (Godefroy, Kalton, Saphar 1993, *Studia Math.* 104).

Artikli [Lima jt, 2000] esialgseks eesmärgiks oli iseloomustada aproksimatsiooniomadust lõplikumõõtmeliste operaatorite asendi kaudu nõrgalt kompaktsete operaatorite ruumis (mis on oluliselt suurem ruum, kui kompaktsete operaatorite ruum). Uuringud selle eesmärgi realiseerimise nimel võtsid aga tunduvalt ulatuslikuma iseloomu ning tulemusena võib öelda, et lisaks põhieesmärgi realiseerimisele sisaldub kirjeldatavas artiklis veel vähemalt kolm fundamentaalse tähtsusega tulemust. Esiteks, tõestatakse Davis-Figiel-Johnson-Pełczyński (1974, *J. Funct. Anal.* 17) kuulsa faktoriseerimisteoreemi isomeetriline ja ühtlane variant. Teiseks, selle rakendusena luuakse teooria Banachi ruumide ja nende kaasruumide aproksimatsiooniomaduste iseloomustamiseks nõrgalt kompaktsete operaatorite ruumi kaasruumi geometria kaudu. Kolmandaks, on leitud ühtne ja efektiivne meetod meetriliste aproksimatsiooniomaduste kindlakstegemiseks juhul, kui ruumidel ilmnevad aproksimatsiooniomadused. Kirjeldatava artikli üheks kõige meeldivamaks tulemuseks on teoreem, mis oluliselt täiendab *Grothendiecki memuaari*: Banachi ruumi aproksimatsiooniomadus on samaväärne tingimusega, et lõplikumõõtmelised operaatorid, mille norm on ≤ 1 , paiknevad nõrgalt kompaktsete operaatorite ruumi ühikkeras kõikjal tihedalt (tugeva operaatoritopoloogia mõttes). Meetodid, mida kasutas Grothendieck, võimaldasid tal tõestada üksnes selle tingimuse tarvilikkuse kaasruumi (isegi mitte ruumi enda!) aproksimatsiooniomaduse jaoks.

Öeldakse, et Banachi ruum on *separaabel*, kui temas leidub niisugune elementide jada, mis paikneb selles ruumis kõikjal tihedalt. Separaablite ruumide uurimiseks on olemas rikkalik spetsiifiliste meetodite varasalg. Nii mõnigi kord juhtub, et neid meetodeid kasutades õnnestub tõestada mingi üldine teoreem separaablite ruumide jaoks. Siis püstitub kohe loomulik küsimus: kas see teoreem kehtib ka üldistes, sh mitteseparaablites, Banachi ruumides? Sedasorti küsimustele vastatakse artiklis [Oja, 1998b], kus, kasutades aproksimatsiooniomadusi, üldistatakse separaablilt Banachi ruumidelt üldistele Banachi ruumidele rida põhitulemusi artiklitest Kalton, D. Werner 1995, *J. reine angew. Math.* 461, Payá, W. Werner 1991, *Proc. Amer. Math. Soc.* 111, Lima, Oja, Rao, D. Werner 1994, *Michigan Math. J.* 41.

Aproksimatsiooniomadust saab alati kirjeldada teatud lõplikumõõtmeliste operaatorite perede – aproksimeerivate perede – kaudu. Töös [Oja, 2000] on loodud uus ühtne teooria, mille üks põhitulemusi väidab, et aproksimeerivate perede kvantitatiivsed omadused on olemuslikult ja adekvaatselt seotud Banachi ruumide kaasruumide sisemise geometriaga. Seejuures osutub, et vaadeldavad aproksimeerivate perede kvantitatiivsed omadused on jadaltselt määratud. Ülalmainitud teoorias mängib olulist osa klassikaline Simonsi võrratus, millele artiklis [Oja, 1998c] antakse lühike ja elementaarne tõestus. Teooria rakendusena arendatakse välja alternatiivne ja ühtne ning olemasolevast tunduvalt lihtsam meetod kompaktsete operaatorite M -, u - ja h -ideaalide teooriate ülesehitamiseks (varem kasutati kõigil kolmel juhul täiesti erinevaid spetsiifilisi meetodeid), mis erinevalt varasematest meetoditest rakendub võrdselt ka mitteseparaablitele ruumidele. Muuhulgas üldistatakse

või parendatakse näiteks Cabello, Casazza, Cho, Godefroy, Johnsoni, Kaltoni, Lima, Nieto, Saphari, Simonsi, D. Weneri ja W. Weneri valdavalt aastatel 1990–1995 ilmunud tulemusi. Teooria põhiteesid [Oja, 1999] ilmusid Pariisi Teaduste Akadeemia toimetistes, mis on tuntud oma ülima selektiivsuse poolest: sealne artikkel peab olema “*the first report of an important discovery or a significant result*”.

Kirjandus

- Ausekle, J., Oja, E. 1997. Pitt's theorem for Lorentz and Orlicz sequence spaces. *Mat. Zametki*, 61, 18-25 (in Russian); *Math. Notes*, 61, 16-21 (in English).
- Ausekle, J., Oja, E. 1998. Compactness of operators acting from a Lorentz sequence space to an Orlicz sequence space. *Arkiv Mat.*, 36, 233-239.
- Cabello, J. C., Nieto, E., Oja, E. 1998. On ideals of compact operators satisfying the $M(r,s)$ -inequality. *J. Math. Anal. Appl.* 220, 334-348.
- Haller, R., Oja, E. 1997. Geometric characterizations of positions of Banach spaces in their biduals. *Archiv Math.*, 69, 227-233.
- Lima, Å., Nygaard, O., Oja, E. 2000. Isometric factorization of weakly compact operators and the approximation property. *Israel J. Math.*, 119, 325-348.
- Lima, Å., Oja, E. 1999. Ideals of finite rank operators, intersection properties of balls, and the approximation property. *Studia Math.*, 133, 175-186.
- Oja, E. 1997. HB-subspaces and Godun sets of subspaces in Banach spaces. *Mathematika*, 44, 120-132.
- Oja, E. 1998a. A short proof of a characterization of reflexivity of James. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 126, 2507-2508.
- Oja, E. 1998b. M-ideals of compact operators are separably determined. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 126, 2747-2753.
- Oja, E. 1998c. A proof of the Simons inequality. *Acta Comment. Univ. Tartuensis Math.*, 2, 27-28.
- Oja, E. 1999. Géométrie des espaces de Banach ayant des approximations de l'identité contractantes. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. I*, 328, 1167-1170.
- Oja, E. 2000. Geometry of Banach spaces having shrinking approximations of the identity. *Trans. Amer. Math. Soc.*, 352, 2801-2823.
- Oja, E., Põldvere, M. 1999. Intersection properties of ball sequences and uniqueness of Hahn-Banach extensions. *Proc. Royal Soc. Edinburgh*, 129A, 1251-1262.

*Teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal monograafia
"Molekulaardeskriptorid kvantitatiivsetes
struktuur-omadus sõltuvustes" eest*



*Mati
Karelson*

Sündinud 27. detsembril 1948 Tartus

1967 Tartu 5. Keskkool

1972 Tartu Ülikool, füüsika-keemiateaduskond

1975 keemiakandidaat

1992 professor

Alates 1972 Tartu Ülikool: nooremteadur, vanemteadur, sektorijuhataja, keemilise kineetika ja katalüüsi laboratooriumi juhataja, teoreetilise keemia korraline professor, Tartu Ülikooli Tehnoloogiakeskuse direktor (alates 1999).

Florida Ülikooli (USA) välisprofessor, Ameerika Keemiaseltsi liige, Rahvusvahelise Kvantbioloogia ja Kvantfarmakoloogia Seltsi liige.

Avaldanud üle 150 teaduspublikatsiooni.

Kaasaegne keemiline ja biotehnoloogia, nanotehnoloogia, uute ravimite ja kõrgtehnoloogiliste materjalide väljatöötamine ning paljud teised valdkonnad vajavad usaldusväärseid ja korrektsid andmeid keemiliste ühendite ja molekulaarsete struktuuride sisemise ehituse ning omaduste kohta. Arvutustehnika ja arvutiteaduse tormiline areng 20. sajandi lõpukümnenditel avas täiesti uued rajajooned teoreetilise lähenemise kasutamiseks paljudes loodusteaduslikes ja rakendusuuringutes. Taolistest rakendustest on eriti märkimisväärset kasu saanud keemia ning sellega piirnevad molekulaarteadused, sest uute ühendite ja materjalide süntees või eraldamine looduskeskkonnast on tihti palju aega- ja rahanõudev, mõnikord lausa ohtlik.

Kaasaegne molekulide kvantteooria – kvantkeemia – võimaldab arvutada suhteliselt väikeste molekulide omadusi eksperimendiga võrreldava täpsusega. Vastavat programmivarustust rakendatakse laialdaselt nii akadeemilistes kui ka tööstuslikes uurimislaborites. Täpsed kvantmehhaanilised meetodid on aga välja töötatud vaid aatomite ja suhteliselt väikeste molekulide (molekulaarsete süsteemide) omaduste arvutamiseks absoluutse nulltemperatuuri juures. Enamik tööstuslikult tähtsaid protsesse ja praktiliselt kõik biokeemilised reaktsioonid elusorganismides toimuvad aga nn korrapäratutes kondenseeritud keskkondades (lahused, membraanid, polümeerid jne) suhteliselt kõrgetel temperatuuridel. Molekulide vastasmõju selliste keskkondadega võib esile kutsuda olulisi muutusi nende struktuuris ning vastavalt muuta ainete füüsikalisi ja optilisi omadusi, keemiliste reaktsioonide mehhanismi, kiirust ja tasakaalu. Teisalt on paljud uudsed tehnoloogilised protsessid ja materjalid ning bioloogilise regulatsiooni süsteemid sedavõrd keerukad, et nende *ad hoc* teoreetiline kirjeldamine osutub praktiliselt võimatuks.

Seetõttu on kaasaegse teoreetilise keemia üheks tähtsamaks suunaks kujunenud alternatiivsete arvutikeemia meetodite väljaarendamine kondenseeritud keskkondades olevate molekulide struktuuri adekvaatseks kirjeldamiseks ning nende rakendamine ainete omaduste usaldusväärseks ennustamiseks nendes keskkondades, ennekõike lähtuvalt nn kvantitatiivsetest struktuur-omadus sõltuvustest ja kaasaegsetest tehisintellekti meetoditest. Hetkeseisu põhjalik analüüs 1990. aastate keskel näitas selgelt, et arvutikeemias tervikuna oodatavad olulised läbimurded võimaldavad sellel uurimissuunal kujuneda oluliseks jõuks uute keskkonnasõbralike tehnoloogiate ja materjalide väljatöötamisel, uudsete ravimite ja bioaktiivsete ainete rakendamisel ning reas teistes valdkondades.

Teaduspreemiaga auhinnatud raamatus [Karelson, 2000] on kajastatud meie viimaste aastate saavutusi kahes olulises arvutikeemia valdkonnas. Esiteks kirjeldame uudset, teoreetilistel molekulaardeskriptoritel põhinevat ekspert-süsteemi keerukate molekulaarsete süsteemide ja materjalide omaduste kirjeldamiseks ja ennustamiseks. Teiseks käsitleme uusi teoreetilisi meetodeid molekulaarsete süsteemide ruumilise ehituse ja elektronstruktuuri kirjeldamiseks korrapäratutes kondenseeritud keskkondades. Vastavaid originaalseid arvutiprogramme oleme rakendatud kõige erinevates keemia, molekulaar- ja keemilise tehnoloogia ning biomeditsiini valdkondades. Monograafia kaasandeks on CD-ROM, millel paiknebki originaalne tarkvara ning ulatuslik molekulaardeskriptorite andmebaas.

Nii oleme väljatöötatud meetodeid edukalt kasutanud väga erinevatesse keemiliste ühendite klassidesse kuuluvate ainete tehnoloogiliste omaduste ennustamiseks [Karelson jt, 1999, 1999a, Katritzky jt, 2000]. Taolisteks omadusteks on näiteks ainete tihedus, nende keemis- ja sulamistemperatuur, kriitiline temperatuur, leektäpp, lahustuvus ja gaasifaasiline reaktsioonivõime [Karelson, Perkson, 1999; Hiob, Karelson, 2000]. Rakendatud uuedes molekulaardeskriptorid ja vastavad kvantitatiivsed struktuur-aktiivsus sõltuvused on võimaldanud samuti edukalt kirjeldada ja ennustada uute potentsiaalsete ravimite ja bioretseptorite vastasmõju selektiivsust, nende sidumise afiinsust ja efektiivsust [Menziani jt, 1999]. Väga oluliseks tuleb pidada edusamme keemiliste ainete ja materjalide mürgisuse (toksilisuse) usaldusväärsel ennustamisel [Karelson jt, 2000]. Töö selles valdkonnas jätkub Euroopa Liidu 5. Raamprogrammi koostööõrgustiku IMAGETOX ühe partnerina.

Üheks peamiseks saavutuseks loeme seda, et esmakordselt õnnestus meil edukalt rakendada teoreetilisi deskriptoreid suure molekulaarse keerukusega tehnoloogiliste süsteemide omaduste kirjeldamiseks ja ennustamiseks. Taolisteks omadusteks olid keskkonnatehnoloogias suurt tähtsust omavad neutraalsete ja anioonsete pindaktiivsete ühendite kriitilised mitsellitekke kontsentratsioonid, uute tehismaterjalidena kasutatavate mitmesuguste polümeeride ja plastikute klaasistumistemperatuurid ja optilised omadused ning kummi vulkaniseerimisel kasutatavate katalüsaatorite efektiivsus [Ignatz-Hoover jt, 1999].

Teise peamise arvutikeemia suunana oleme püüdnud välja arendada üldist lähenemist keemiliste ühendite solvatatsiooni ja keskkonnaefektide teoreetiliseks kirjeldamiseks. Meie lähenemine põhineb komplekssete mudelite kasutamisel erinevate molekulidevaheliste vastasmõjude hindamiseks korrapärates keskkondades (vedelikud, lahused, polümeerid jne). Viimastel aastatel teostatud uuringud nii *ab initio* kui ka poolempiirilisel kvantteooria tasemel on võimaldanud saada olulist uut teavet ühendite keemiliste ja füüsikaliste omaduste kohta lahustes ja vedelikes [Karelson 1997a; Karelson, Diercksen, 1997].

Nii näiteks võib Born-Oppenheimeri lähenduses arvatud polaarsete molekulide tasakaaluline geomeetria märgatavalt sõltuda kondenseeritud faasis molekuli ümbritsevast polariseeritavast keskkonnast. Molekulide laengujaotus, nende dipoolmomentid, aga ka reaktsioonivõime võivad samuti olla oluliselt mõjustatud ümbritseva keskkonna poolt [Karelson, 1997]. Väljatöötatud meetodid on väga laialdase rakendatavusega keemias, füüsikas ning nendega piirnevates valdkondades, võimaldades adekvaatselt kirjeldada keemiliste ühendite paljusid omadusi erinevates keskkondades [Karelson, 2000a].

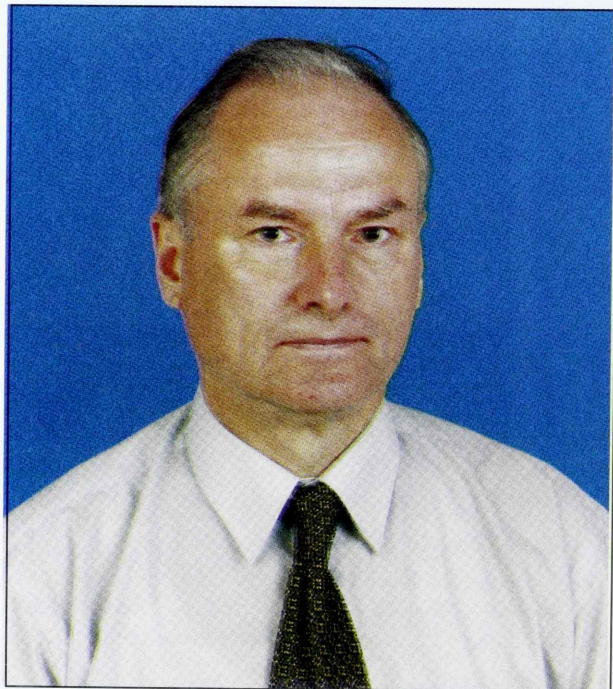
Kokkuvõtteks tuleb nentida, et töö selles väga kiiresti arenevas teadusvaldkonnas on pakkunud suurt loomingulist rahuldust, ennekõike tänu noortele ja aktiivsetele kaastöötajatele ja üliõpilastele.

Kirjandus

Hiob, R., Karelson, M., 2000. Quantitative relationship between rate constants of the gas phase homolysis of C - X bonds and molecular descriptors, J. Chem. Inf. Comput. Sci., 40, 1062-1071.

- Ignatz-Hoover, F., Katritzky, A.R., Lobanov, V.S., Karelson, M., 1999. Insights into sulfur vulcanization from QSPR studies, *Rubber Chem. and Technol.* 72, 318-333.
- Karelson, M. 1997. Quantum chemical treatment of molecules in condensed disordered media, *Adv. Quant. Chem.*, 28, 142-159.
- Karelson, M. 1997a. Molecular properties and spectra in solution. Wilson, S., Diercksen, G.H.F. (Eds.) *Problem Solving in Computational Molecular Science: Molecules in Different Environments*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1997, 353-387.
- Karelson, M., 2000. *Molecular descriptors in QSAR/QSPR*, J. Wiley & Sons, New York, 2000, 430 pp.
- Karelson, M., 2000a. Theoretical treatment of solvent effects on electronic and vibrational spectra of compounds in condensed media. Wypych, G. (Ed.) *Handbook of Solvents*, ChemTec Publishing, Toronto, 2000, pp. 607-647.
- Karelson, M., Diercksen, G.H.F. 1997. Models for simulating molecular properties in condensed systems. Wilson, S., Diercksen G.H.F. (Eds.) *Problem Solving in Computational Molecular Science: Molecules in Different Environments*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1997, 215-248.
- Karelson, M., Perkson, A., 1999. QSPR prediction of densities of organic liquids, *Computers & Chemistry*, 23, 49-59.
- Karelson, M., Maran, U., Wang, Y., Katritzky, A.R., 1999. QSPR and QSAR models derived with CODESSA multipurpose statistical analysis software, *AAAI Tech. Report*, SS-99-01, 12-23.
- Karelson, M., Maran, U., Wang, Y., Katritzky, A.R., 1999a. QSPR and QSAR models derived using large descriptor spaces, *Collect. Czech. Chem. Commun.*, 64, 1551-1571.
- Karelson, M., Sild, S., Maran, U., 2000. Non-linear QSAR treatment of genotoxicity, *Molecular Simulations*, 24, 229-242.
- Katritzky, A.R., Maran, U., Lobanov, V.S., Karelson, M., 2000. Structurally diverse QSPR correlations of technologically relevant physical properties, *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, 40, 1-18.
- Leis, J., Klika, K.D., Karelson, M., 1998. Solvent polarity effects on the E/Z conformational equilibrium of N-1-naphthylamides, *Tetrahedron*, 54, 7497-7504.
- Menziani, M.C., Montorsi, M., De Benedetti, P.G., Karelson, M., 1999. Relevance of theoretical descriptors in QSAR analysis of G-protein receptor antagonists, *Bioorg. & Med. Chem.*, 7, 2437-2451.

*Teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli
"Täiustatud oksüdatsiooni protsessid loodusvee varude
kaitseks ja vee säästvaks kasutamiseks " eest*



**Rein
Munter**
Kollektiivi juht

Sündinud 23. detsembril 1936 Tallinnas

1955 Tallinna 17. Keskkool

1960 Tallinna Tehnikaülikool, keemiateaduskond, keemiline tehnoloogia

1968 tehnikakandidaat (vee tehnoloogia), Tallinna Tehnikaülikool

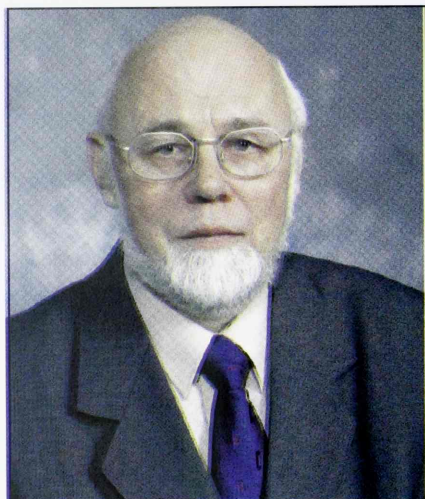
1991 tehnikadoktor (vee keemia ja tehnoloogia), Kiievi Vee ja Kolloidkeemia
Instituut

1991 professor

Alates 1965. aastast Tallinna Tehnikaülikool: assistent, vanemõpetaja, dotsent,
keemia- ja keskkonnakaitse tehnoloogia õppetooli juhataja, alates 1997 kee-
miatehnika instituudi direktor.

Rahvusvahelise Osooni Assotsiatsiooni (IOA) Nõukogu liige, Läänemere
Ülikooli (Uppsala, Rootsi) Direktooriumi liige, ajakirja "Ozone: Sci. and Eng."
toimetuskolleegiumi liige.

Avaldanud üle 115 teaduspublikatsiooni, sh 3 raamatut.



Juha Kallas

Sündinud 18.01.1941 Tallinnas

1959 Tallinna 7. Keskkool

1964 Tallinna Tehnikaülikool, keemiline tehnoloogia

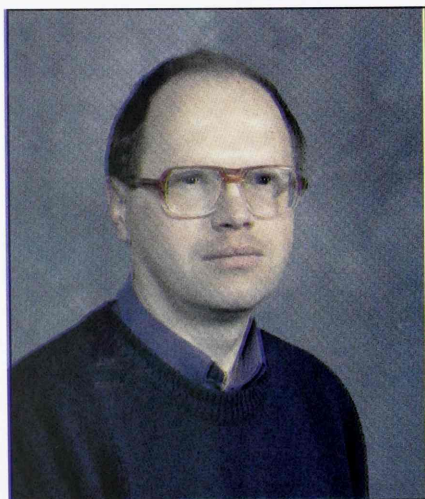
1973 tehnikakandidaat

1986 tehnikadoktor

1987 professor

Tallinna Tehnikaülikooli vanemteadur

Avaldanud üle 100 teaduspublikatsiooni.



Sergei Preis

Sündinud 31.05.1959 Tallinnas

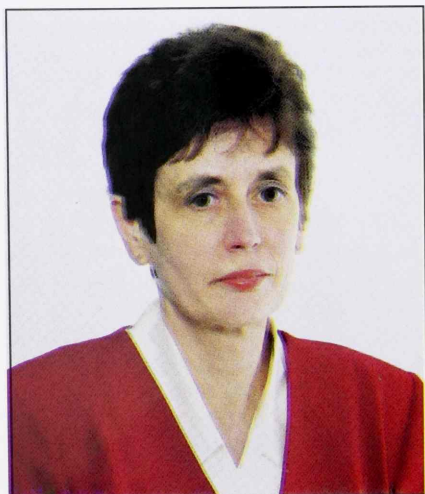
1976 Tallinna 19. Keskkool

1981 Tallinna Tehnikaülikool, insener-keemik-tehnoloog

1988 tehnikakandidaat

Tallinna Tehnikaülikooli vanemteadur

Avaldanud 16 teaduspublikatsiooni; 2 autoritunnistust.



Marina Trapido

Sündinud 9.06.1952 Tallinnas

1969 Tallinna 19. Keskkool

1974 Tallinna Tehnikaülikool, insener-keemik-tehnoloog

1986 bioloogiakandidaat

Tallinna Tehnikaülikooli Keemia Instituudi vanemteadur

Avaldanud üle 125 teaduspublikatsiooni.

Osoonimine ja täiustatud oksüdatsiooni protsessid - 21. sajandi veepuhastustehnoloogia

Ehkki vesi katab umbes 70% maakera pinnast, moodustab inimesele kõige kättesaadavama mageda pinnavee osa vaid 0,002%. Põhjavesi on sageli raskesti kättesaadav ning tema varud uuenevad väga aeglaselt. Tänapäeval aga iseloomustab nii ühte kui teist tugev saastumine erinevate mürgiste ainetega. Seega peame vett kasutades alati silmas pidama, et vesi on küll taastuv, kuid samal ajal siiski väga piiratud, hindamatu loodusvara.

Inim- või tööstuslikus (ka põllumajanduslikus) kasutuses olnud vee füüsikalised omadused ja keemiline koostis on esialgsega üsna tihti suurel määral muutunud ning seda vett nimetatakse olme- või tootmisreoveeks. 1950.–1960. aastatel pandi reovee puhastamisel kogu maailmas suuri lootusi aeroobsele bioloogilisele puhastusele, oodates, et selle meetodiga on võimalik vähendada orgaaniliste reostusainete sisaldust peaaegu 80–90% ulatuses. Kahjuks tuli nendes ootustes pettuda. Pärast II maailmasõda algas teatavasti väga erinevate sünteetiliste kemikaalide tootmise ja kasutamise buum. Tulemuseks oli paljude mürgiste ainete laialdane levik atmosfääris, vees ja pinnases. Enamus neist läbis biopuhastuses kasutatavad seadmed (aerotankid) nn “transiidina” või, mis veel hullem, mürgitas pikajaks aktiivmuda (mikroorganismid) aerotankides. Päevakorda tõusis bioloogiliselt puhastatud reovee järelpuhastamise küsimus.

Keskkonna analüüsi meetodika ja aparatuuri täiustumine 1960.–1970. aastatel viis jahmatavate tulemusteni. Avastati, et peaaegu kogu meid lähemalt ümbritsev loodus on saastatud. 1962 ilmus Rachel Carsoni kuulus, inimestes tõsist ärevust tekitav raamat “Vaikne kevad” (“Silent Spring”). Atlandi ookeani ja Läänemere kalades avastati mürgist pestitsiidi DDT, selle kõrval ka kloororgaanilisi ühendeid ja raskmetalle. Selgus, et meile lähedase Läänemere hüljeste ja teiste veeloomade paljunemist ja arengut pidurdavad mürgised polükloorbifenüülid (PCB) ja tselluloositööstusest pärinevad kloororgaanilised ained (AOX) jne. 1970. aastatel tuvastati USA-s ja mitmes teises riigis, et kloori kasutamisel joogiveepuhastuses tekivad vees kantserogeensed kloororgaanilised kõrvalained (kloroform, dibromoklorometaan, diklorobromometaan).

1980.–1990. aastatel nihkus maailmas veevarude saastumise problemaatika tulipunkti põhjavesi. Selgus, et see oli reostatud kas tootmistegevuses kasutatavate trikloor- ja tetraklooreteeniga, BTEX grupi ainetega (benseen, tolupeen, etüülbenseen, ksüleen), fenoolidega (kloorfenoolid, nitrofenoolid jt.) või militaarpiirkondades lõhkeainete (trinitrotolueen, TNT) ja lennuki- või raketikütuse komponentidega. Kõik see, nii biopuhastusseadmete ebapiisav efektiivsus paljude oluliste saasteainete osas, pinna- ja põhjaveevarude saastumine uute, ohtlike kemikaalidega kui ka kantserogeensete kloororgaaniliste ainete teke joogivees sundis uurijaid ja veeala spetsialiste kriitiliselt üle vaatama kogu seni tuntud veepuhastustehnoloogiat. Hakati intensiivselt otsima nn keskkonnasõbralikke veetöötlusreagente ja uusi, efektiivsemaid veepuhastusprotsesse.

Minnes tagasi Tallinnas enne ja pärast II maailmasõda kasutatud joogivee puhastuse tehnoloogia juurde, tuleks märkida, et 1927 briti firma “W. Patterson & Co” poolt ehitatud ja käikulastud Tallinna Veepuhastusjaamas kasutati vee

töötlemiseks ja desinfitseerimiseks kloori, kuna see oli tollal väga odav reagent. Samal ajal paljud Euroopa riigid (Holland, Prantsusmaa, Saksamaa, Itaalia, Šveits jt.) võtsid kloori asemel kasutusele osooni juba 20. sajandi algusaastail (1900–1907). Ka Tallinnas olevat enne 1927 arutusel olnud osooni kasutamine, kuid et kloor oli siis osoonist palju odavam, tehti otsus ikka esimese kasuks. Seega määrati Tallinna elanikkond 70-ks aastaks jooma vett, milles olid kantserogeensed kloororgaanilised ained. Ainsaks vabanduseks on, et tollal neist kahjulikest ainetest keegi midagi ei teadnud ega saanudki teada, sest vastavad analüütilised võimalused puudusid. Aastatel 1992–1995 läbi viidud joogivee analüüsid näitasid, et kloroformi sisaldus selles on ulatunud kuni 0,35 mg/l, ületades Eesti ja EU normi ligi kaks korda.

1960. aastate algul alustati tollase TPI keemiatööstuse protsesside ja aparateid kateedris (praeguses TTÜ keemiatehnika instituudis) prof Enno Siirde initsiatiivil ja juhendamisel osooni-alaseid uuringuid. Teda toetas igati uuenduste aldis energiline Tallinna Veepuhastusjaama tollane juhataja Johannes Sutt. Nüüd sellele ajale tagasi vaadates tuleb nentida, et need uuringud olid siis oma ajast vähemalt parkümmend aastat ees. Uurimisobjektiks valiti Ülemiste järve vesi. Määrati osooni toime järvevee värvusele, hägususele, lõhnale, maitsele jt näitajatele. Tehti kindlaks vajalikud vetteviidavad osooni doosid erinevatel aastaaegadel. Mõõdeti osooni lagunemise ja reaktsiooni kiirusi vees. Uuriti ja katsetati erinevaid kontaktaparaate osooni ja vee segamiseks. Selle tulemusena valmisid Rein Munteri, Hilja Looritsa ja Sergei Preisi kandidaaditööd, Sven Kamenevi magistritöö ning lõpuks Rein Munteri doktoritöö.

Kujunes nn osooniuurijate koolkond, kel peale teadustöö probleemide tuli tegeleda ka “lobby”-tööga, tõrjuda tagasi osooni vastaste pidevaid rünnakuid ja kaitsta oma seisukohti ajakirjanduses. Osooni vastaseid leidis aga nii iga tasandi bürokraatide kui ka erialaspetsialistide hulgas. Nende vastuväiteid võiks kokku võtta järgmiselt: “Osoon on kallis, osoon tekitab vees tundmatuid aineid ja sööb Tallinna veetorud läbi ning üleüldse tuleks Ülemiste järve vee kasutamine lõpetada ning täielikult üle minna põhjaveele”.

Mis puutub osooni tootmise ja kasutamise maksumusse, siis viis tollane TTÜ majandusteaduskonna professor Heino Levald läbi võrdlusarvutused, mis näitasid, et vee töötlemise kulud osooniga Tallinna Veepuhastusjaamas tulevad peaaegu samad, mis kloori kasutamisel, kuna osoon võimaldab kokku hoida koagulanti (talvel piisaks ainult vee filtrimisest ja osoonimisest). Veetorusid läbi süüa osoon aga ei oleks saanud ka kõige parema tahtmise juures, sest ta laguneb vees väga kiiresti ja linnavõrku antavas vees teda kunagi ei ole. Kõige raskem oli meil tollal tagasi tõrjuda oponentide süüdistusi tundmatute ainete tekitamises vees, sest analüüsiseadmed olid kallid ja meil tollal neid polnud. Saime toetuda ainult teiste uurijate töödele, kus veenvalt tõestati, et osoon tekitab vees väikestes kontsentratsioonides kõiki neid oksüdatsiooni vaheprodukte, mis kloorgi (aldehüüdid, ketoonid, karboonhapped, näiteks, sipelg-hape, äädikhape, oksaalhape jt), kuid erinevalt kloorist ei tekita kantserogeenseid kloroformi-tüüpi ühendeid.

Võitlus osooni eest lõppes sellega, et Tallinna linnavalitsuse osooni komisjon otsustas tellida prantsuse firmalt “Trailigaz” kaks tööstuslikku osoonigeneraatorit, kumbki tootlikkusega 50 kg osooni tunnis, ning tollane linnapea Jaak Tamm kirjutas lepingule alla. 15. novembril 1997 saabus pidulik hetk –

osoonitsehhi avamine. Eelsooni kasutamine eelkloori asemel võimaldas Tallinna joogivee põhinäitajad viia vastavusse euronormidega [Munter jt, 1998]. Osoonitud vesi erineb klooritud veest eelkõige oma organoleptiliste omaduste poolest – ta on meeldiva, värske lõhna ning maitsega ja õrninaka värvusega.

Üks etapp prof E. Siirde ja tema õpilaste töödes ja tegemistes oli seega lõppenud edukalt – laboratooriumis ja pilootseadmetel saadud tulemused olid juurutatud praktikasse täies ulatuses. Aga peaaegu viis aastat enne seda hakkasid meid üha enam huvitama ühed uued keemilise oksüdatsiooni meetodid, mida kogu maailmas hakati varsti kutsuma täiustatud oksüdatsiooni protsessideks (advanced oxidation processes, AOP). Ette rutates võib öelda, et need on vee/heitvee kombineeritud töötlusprotsessid, kus osooni kasutatakse koos vesinikperoksiidi, ultraviolettkiirguse (UV) või tahke katalüsaatoriga, aga mitte ainult. AOP protsesside hulka kuuluvad ka näiteks süsteemid, kus osoon üldse puudub, nagu näiteks vesinikperoksiid koos UV-kiirgusega, vesinikperoksiid koos raudkatalüsaatoriga (nn Fenton süsteem), elektronikiirguse kasutamine jt. Kõigepealt võime aga täie õigusega lugeda täiustatud oksüdatsiooni protsessiks ka tavalist vee osoonimist ennast juhul, kui see kulgeb mitte happelises, vaid neutraalses või leelises keskkonnas. Miks? Mis ühendab kõiki neid eelpool loetletud oksüdeerijate kombinatsioone? See ühisnimetaja on hüdroksüülradikaalid ($^{\circ}\text{OH}$). Need üliaktiivsed väga lühikese elueaga osakesed, mis reageerivad orgaaniliste saasteainetega vees sadu tuhandeid kordi (!) kiiremini kui osoon, tekivadki kõigepealt osooni enda lagunemisel vees (mida kõrgem vee pH, seda suurem on osooni lagunemise kiirus), aga ka erinevate oksüdeerijate kombinatsioonide kasutamisel.

Samal ajal ei saa öelda, et vee/heitvee puhastusefekt oleneks ainult tekkinud $^{\circ}\text{OH}$ -radikaalide kontsentratsioonist. Asi on palju keerulisem, sest vesi kui looduslik keskkond ise on väga keerulise ioonse koostisega süsteem. Igas loodusvees on alati lahustunud karbonaat- ja bikarbonaatioone (CO_3^{2-} ja HCO_3^-) ning ammoniaaki. Need on nn $^{\circ}\text{OH}$ -radikaalide passiiverijad (scavengers), mis, reageerides radikaalidega peaaegu sama kiiresti kui vees olevad saasteained, tekitavad keemiliselt täiesti passiivseid osakesi ning oodatud efekt jääb tihti saavutamata. Kirjeldades siinkohal lühidalt mõningaid radikaalseid reaktsioone vees ei saa jätta märkimata kahe silmapaistva uurija teeneid AOP protsesside reaktsioonimehhanismide uurimisel. Need on Šveitsi Zürichi Föderaalne Keskkonna- ja Tehnoloogia Instituudi emeriitprofessor Jürg Hoigne [Hoigne, Bader, 1975] ja USA Põhja-Carolina Ülikooli keskkonnatehnika instituudi professor William Glaze [Glaze jt, 1987]. Mõlemaid mehi tuleb pidada uute, täiustatud oksüdatsiooni protsesside samaaegseteks loojateks ja väljaarendajateks. Seejuures on esimese teadlase tööd sügavalt teoreetilise iseloomuga ning teise omad samal ajal ka kindla praktilise suunitlusega. Kolm aastat tagasi teatasid Jans ja Hoigne [1998] ajakirjas “Ozone: Sci.&Eng.”, et lisades osooni sisaldavasse vette mõni milligramm liitri kohta aktiivsütt, saab $^{\circ}\text{OH}$ -radikaale tekitada aktiivsöe ja vee piirkelmes ning jõuda sisuliselt samade tulemusteni, mis osooni ja vesinikperoksiidi või osooni ja UV-kiirguse kooskasutamisel. Autorid tegid ettepaneku hakata uut AOP protsessi nimetama “Carbozone” protsessiks.

Jansile ja Hoignele oponeerivad hollandi uurijad [Kaptijn, 1997], kes väidavad, et süsteemis osoon-aktiivsüsi ei teki mitte $^{\circ}\text{OH}$ -radikaalid, vaid osooni ja hap-

niku radikaalid. Nad juurutasid nimetatud protsessi Ecoclear protsessi nime all heitvee ja prügilate nõrgvee puhastamiseks tööstuslikus mastaabis. Seega on antud süsteemi reaalne puhastusefekt vaieldamatu, kuid selle teoreetilised tagamaad seni ebaselged.

Miks need protsessid on saanud maailmas veela teadlaste nii suure tähelepanu osaliseks? Sellele võiks vastata ka ühe lausega – kõik, mis on piisavalt segane, on huvitav! Ja need AOP protsessid on piisavalt segased. Ühelt poolt on jõutud nende protsesside rakenduseni tööstuslikus mastaabis, nimetused nagu ULTROX, RAYOX, WEDECO, UVOX, ECOCLEAR jt on kujunenud kaubamärkideks, teiselt poolt oleme üsna tihti sunnitud endale tunnistama, et me ei tunne nende protsesside reaktsioonimehhanisme ja tekkivaid oksüdatsiooni vaheprodukte veel piisavalt hästi. See on toonud vahel ka tagasilööke, nagu osooni ja vesinikperoksiidi kombinatsiooni kasutamine Pariisis Seine'i jõe vee puhastamisel pestitsiididest, kus töödeldud vee täpsema analüüsiga tuvastati vees aineid, mille mõju inimese tervisele pole seni uuritud. Sageli on nende protsesside tööstuslikule rakendamisele osutunud takistuseks puhastuse liiga kõrge omahind. Meenutades jälle osooni – nii oli see kord ka osooni puhul. Kaasaegsed osoonigeneraatorid tarbivad aga kaks korda vähem elektrienergiat kui nende eelkäijad mitukümmend aastat tagasi (10–12 kWh 1 kg sünteesitud osooni kohta 22–25 kWh asemel). Ka AOP protsessid ise täiustuvad pidevalt ja muutuvad odavamaks ning on täiesti kindel, et tulevik on nende päralt.

Mida me teame nende AOP protsesside uurimisest ja kasutamisest maailmas? Millele on sellealane uurimistöö suunatud praegu? Kui alustada praktilistest rakendustest, siis võiks tuua pika rea väga erinevaid keemilisi aineid, mida nende protsesside abil on edukalt vees kahjutustatud: hüdrasiin, trikloroeteen, tetrakloroeteen, metüületüülketoon, 1,4-dioksaan, nitrosodimetüülamiin, fenoolid, benseen, toluen, etüülbenseen, ksüleen, trinitrotolueen, vinüülkloriid, nitroglütseriin, kloroform, süsiniktetrakloriid, polüaromaatsed süsivesinikud jt. Seejuures on oluline, et AOP protsessid võimaldavad lagundada bioloogiliselt resistenteid saasteaineid praktiliselt kuni süsihappegaasini, ammoniaagini, kloriidini, sulfaadini, veeni, st neid peaaegu täielikult mineraliseerida. Esialgse saasteaine kontsentratsiooni on võimalik viia allapoole 0,005 mg/l, kui lähtekontsentratsioon ei ületa 50 mg/l. Seda ei võimalda ükski senituntud vee/heitvee puhastusprotsess ja see on ka ilmselt põhjuseks, miks kõnealuseid protsesse nimetatakse 21. SAJANDI VEEPUHASTUSPROTSESSIDEKS. Eriti efektiivseks on need protsessid osutunud väikese ja keskmise tootlikkusega põhjavee puhastusjaamades madala leelisusega (vähe °OH-radikaalide passiivseid) vee puhastamisel orgaanilistest saasteainetest. Tänu nende protsesside kõrgele efektiivsusele on võimalik välja töötada saastatud tööstusvee taaskasutuse ja retsirkulatsiooni skeeme ning jõuda lõpuks säästva veemajanduseni tegelikkuses.

Agasida siis veel uurida? Uurida on veel palju. On vaja saada palju täpsem ülevaade nende protsesside kulgemise reaktsioonimehhanismidest, tekkivatest kõrvalproduktidest, nende toksilisusest, koostada nende protsesside matemaatilised mudelid, mis võimaldaksid protsessi simuleerida, optimeerida, õigesti kujundada ning läbi viia mastaap-üleminekut. Ka meie uurimisgrupp on püüdnud siin anda oma panuse.

Kuna AOP protsessid võivad olla väga võimsaks vahendiks püsivate saasteainete, ka väga toksiliste ühendite lagundamiseks, oleme asunud uurima erinevate AOP-de sobivust ning efektiivsust USA Keskkonnakaitse Agentuuri (EPA) prioriteetsete saasteainete nimekirja kuuluvate ühendite lagundamiseks. Nende hulgas olid polüaromaatsed süsivesinikud, mis on tuntud mutageensete ning kantserogeensete omadustega ainetühm, kloro- ning nitrofenoolid, mida on maailmas laialt kasutatud insektitsiidi ja fungitsiidina ning orgaanilises sünteesis, ja teised fenoolsed ning aromaatsed ühendid, mis on olulised saasteained Eesti keskkonnas. AOP protsessid on selektiivsed. See tähendab, et üks ja sama protsess teatud tingimustes võib olla väga efektiivne mõnede ainete lagundamiseks, kuid osutub ebaefektiivseks teiste ainete puhul. Sellepärast määrasime eespool nimetatud ainete lagunemise kiiruskonstandid ning teised olulised parameetrid (näiteks osoonikulu) erinevates täiustatud oksüdatsiooni süsteemides (O_3 , O_3/H_2O_2 ; $O_3/H_2O_2/UV$, UV , H_2O_2/UV , O_3/UV , TiO_2/UV jt.) erinevatel pH väärtustel, et leida oksüdatsiooni optimaalsed tingimused. Tegime endale selgemaks reaktsioonide kulgemise mehhanisme eelpool toodud süsteemides ning määrasime ka mõningaid lagunemisprodukte [Trapido jt, 1994, 1996, 1998, 2000]. Saadud andmed võimaldavad pakkuda tehnoloogilisi lahendusi erinevate heitvete puhastamiseks, kasutades AOP protsesse. Väga huvitavaid tulemusi saadi, kasutades Fenton'i reaktiivi erinevate ainete lagundamisel. Kuigi Fenton'i reaktiiv (vesinikperoksiidi ning katalüsaatori – kahevalentse raua kombinatsioon) on tuntud aastast 1894, tekkis suur huvi selle vastu viimase 10–15 aasta jooksul, kui leiti, et Fenton'i süsteem ning selle modifikatsioonid võimaldavad edukalt töödelda erinevate ainetega saastatud vett. Osutus, et ka Fenton'i protsessis tekivad väga reaktsioonivõimelised hüdroksüülradikaalid. Meie uuringud näitasid, et Fenton'i reaktiiv ning selle modifikatsioonid võimaldavad lagundada efektiivselt ning, mis on äärmiselt tähtis, võrdlemisi odavalt mitmeid aromaatsaid aineid, sealhulgas erinevaid fenole.

Oksüdatsiooni produktide uurimine näitas, et enamikul juhtudest tekkisid kinooni-tüüpi ühendid ja orgaanilised happed (sipelghape, äädikhape, oblikhape, glüoksaalhappe jt) ning vesinikperoksiid. Oksüdatsiooni produktid osutsid *Daphnia magna* testi järgi reeglina mittetoksilisteks või tunduvalt vähem toksilisteks kui algühendid. Produktide biodegradeeritavus paranes märgatavalt, mis loob eeldused praktikas AOP protsesside kombineerimiseks biopuhastusega [Trapido, Veressinina, 1999; Hirvonen jt, 2000].

Et viia laboratoorsete katsete tulemusi üle tööstuslikku mastaapi, on vaja koostada protsessi matemaatiline mudel. Nii tööstuses kui ka joogivee puhastamisel kasutatavate AOP-protsesside juures tuleb silmas pidada, et nendes aset leidvate nähtuste kirjeldamine matemaatiliste meetoditega on ainus teadaolev tee, mis käsikäes katse- ja analüüsitehnika täiustamisega lubab luua intensiivsemaid seadmeid ja ka uusi protsesside kombinatsioone. Sellist lähenemisviisi oleme püüdnud viljeleda oma uuringutes, milles suurt rolli on mänginud TTÜ ja Lappeenranta Tehnikülikooli keemiatehnika instituutide teaduslik koostöö, mis algas juba 1990. aastal ja jätkub ning süveneb pidevalt.

Kirjeldasime matemaatiliselt osooni massiülekanne oksüdatsiooni protsessides ning koostasime erinevate protsesside ja kontaktaparaatide matemaatilised mudelid [Hautaniemi jt. 1998a,b,c; Kallas jt, 2000]. Seejuures ulatus keemiliste reaktsioonide võrrandite arv mudelis mõnikord 35-ni, kuna tuli arvesse võtta

kõiki võimalikke reaktsioone molekulaarse osooni, vabade radikaalide, nende passivaatorite ja orgaaniliste ainete vahel. Koostatud mudelite alusel simuleerisime oksüdatsiooniprotsesside käiku, reaktsiooniproductide moodustumist, oksüdantide kontsentratsiooni muutusi vedel- ja gaasifaasis.

Töötasime välja originaalse, kõrge massivahetuse intensiivsusega staatilise seguri osooni ja vee segamiseks, milles osooni kasutusaste gaasi järgi ulatus Ülemiste järve vee osoonimisel kuni 98%-ni. Viisime läbi selle edukad tööstuslikud katsetused Tallinna Veepuhastusjaamas. Üks 30 cm läbimõõduga ning 50 cm kõrgusega perforeeritud vahepõhjadega kolonn lasi läbi 650 m³/h vett, kusjuures aparraadi hüdrauliline takistus oli alla 0,15 at [Munter jt, 1990, 1993]. Oleks kahtlemata olnud loogiline rakendada seda tüüpi kontaktaparaate Tallinna Osooni projektis. Kahjuks ei osutunud see võimalikuks, kuna sel juhul oleks Tallinna linn kaotanud osoonigeneraatoreid tarninud prantsuse firma garantii kogu osoonimise tehnoloogiale. Aasta hiljem aga selgus, et prantsuse tehnoloogias kasutatud tavalises osoonimise barbotaažbasseinis oli osooni kasutusaste gaasi järgi ainult 80-90% ning äratöötanud jääkgaasi puhastamiseks osoonist enne selle juhtimist atmosfääri tuli kasutada termilisi lõhusteid. Oli rõõm tõdeda, et jälle kord olime olnud õigel teel – tänapäeval täiustatakse kogu maailmas madala efektiivsusega 4–5 m sügavusega osoonimise barbotaažbasseine staatiliste seguritega.

Modelleerimise käigus selgus, et olenevalt vesilahuse pH-st võis molekulaarse osooni ja orgaanilise saasteaine (näiteks, fenoolide) vaheline reaktsiooni kiirus mõnikord (leelises keskkonnas) ületada °OH-radikaalide ja orgaanilise aine vahelise reaktsiooni kiiruse palju kordi, kuna °OH radikaalide kontsentratsioon osutus oodatust tunduvalt väiksemaks. Reaktsioon osooni ja orgaanilise aine vahel kulges sel juhul juba vesilahuse piirkelmes. Samuti selgus, et mitte kõikide protsessist osavõtivate ainete kontsentratsioonide muutust ei õnnestu ühesuguse eduga koostatud mudeli alusel matemaatiliselt simuleerida. Näiteks ei tahtnud hästi kokku langeda reaktorist väljuvas gaasis tegelikult mõõdetud ja arvatud osooni kontsentratsioonid, mis viitas mudeli korrigeerimise ja täiustamise vajadusele. Katsetasime ka neurovõrke klassikaliste mudelite asemel, mis andis sageli paremaid tulemusi [Hautaniemi jt, 1999].

Kasutades erinevaid täiustatud oksüdatsiooni protsesse, töötasime välja Kohtla-Järve põlevkivitööstuse bioloogiliselt puhastatud üldheitvee ja tuhamägede heitvee süvapuuhastuse teoreetilised alused ja praktilised soovituselised tehnoloogilise vee viimiseks ringlusse ning värske vee kulu vähendamiseks. Hindasime erinevate puhastusvariantide majanduslikkust [Preis jt, 1994, 1995, 1997a; Kamenev jt, 1995; Trapido jt, 1997].

Väga huvitavaks AOP protsesside valdkonnaks on fotokatalüüs. Fotokatalüsaatorina kasutatakse tavaliselt titaandioksiidi (TiO₂) anataas kristallvormi. Titaandioksiid on keemiliselt väga püsiv klassikaline pooljuht nõrga sidemega elektroni ja kristallstruktuuri vahel. Piisava energiaga valguse – antud juhul pehme ultraviolettkiirguse – kvant on võimeline elektroni kristallstruktuurist välja lööma, tekitades pooljuhi kristalli pinnal vaba elektroni ja positiivsel laetud augu.

Sõltuvalt tingimustest võib niisuguses süsteemis kulgeda nii oksüdatsiooni kui ka taandamise protsess. Hapniku juuresolekul ühinevad vabad elektronid hapnikuga ja kulgeb oksüdatsioon. Nii saabki orgaanilisi saasteaineid vees

oksüdeerida. Siinkohal peab märkima, et positiivselt laetud auk on tugevaim oksüdant looduses, mis on võimeline oksüdeerima praktiliselt kõike, mida vähegi oksüdeerida saab [Matthews, 1986].

Teine fotokatalüütilise oksüdatsiooni eelis seisneb selles, et antud protsessis on võimalik vahetult, otseselt kasutada umbes 4% päikeseenergiast: just nii palju moodustab pehme ultraviolettkiirgus päikese energia üldspektrist. Muidugi on siin ka oma probleemid. Positiivselt laetud auk on nagu ülitugev hiiglane lühikeste kätega: oksüdeerida saab ainult titaandioksiidi pinnale adsorbeerunud aineid. Samal ajal kristallstruktuurist välja löödud elektron rekombineerub kiiresti auguga: väljalöömise ja rekombineerumise tsükkel toimub *ca* 10^{12} korda sekundis, mis teeb protsessi efektiivsust iseloomustava kvantsaagise väga madalaks. Viimane asjaolu muudab fotokatalüütilise protsessi majanduslikult vastuvõetavaks ainult päikeseenergia kasutamisel. Viimase voog aga on aasta lõikes ebahütlane.

Meil õnnestusid hästi pooltööstuslikud katsed Keila-Joa raketikütuse komponentidega saastatud põhjavee fotokatalüütilisel puhastamisel (Päikese UV-kiirgus/TiO₂ katalüsaator) [Preis jt, 1997b, 2000]. On saadud ka esimesi positiivseid tulemusi väga mürgise bensiniisandi metüülterbutüüleetri (MTBE) lagundamisel vees ja õhus.

Eespool rääkisime joogivee probleemidest ja osooni kohast nende lahendamisel. Samal ajal on maailmas mitmeid tööstusharusid, mis tarbivad suurel määral looduslikku vett, saates seda loodusesse tagasi muutunud keemilise koosseisuga ja saastunult. Üheks selliseks palju vett tarvivateks tööstusharuks on paberitööstus. Veel 10 aastat tagasi arvati, et arvutibuum maailmas toob kaasa paberi vajaduse vähenemise, aga on läinud vastupidi. Üks keskmine paberi tehase tarbib ja saastab sama palju vett, kui poolemiljoniline linn keskmise veekulutusega 200 l vett elaniku kohta ööpäevas.

Paberitööstuse vesi saastub üheltpoolt puupäritoluga ainetega: ligniinid, lignaanid, rasvhapped, steroidid jne, aga teiselt poolt ka tehnoloogias kasutatavate kemikaalidega, eriti mehaanilise massi või tselluloosi pleegituse kemikaalidega. Selle kõige tõttu on värske vee kulu vähendamine ja tehaste veetsükli sulgemine tõusnud kogu maailmas viimastel aastatel päevakorda. Ka siin on oma tulevik AOP-protsessidel, mille roll on nii raskesti biohajuvate orgaaniliste ainete keemiline hapendamine kui ka tagasisuunatud vee desinfitseerimine. Eriti oluline tähtsus on siinjuures AOP-protsesside käigus moodustuvatel keskkonnasõbralikel vahe- ja lõppproduktidel.

Uurimistöö jätkub. Meiega on liitunud noored, aktiivsed magistrandid (Anna Goi, Ave Dello, Heli Ojaste jt) ja doktorandid (Janek Reinik, Marina Kritševskaja). Näib küll paradoksaalne, aga oleme selgesti tunnetanud ühe hästituntud tõe paikapidavust – mida rohkem me teame (teada saame), seda paremini saame aru, kui vähe me veel tegelikult teame. Aga eks see tõdemus olegi üks teadustöö stimulaatoreid alati olnud. Ja nii nagu kunagi osooni puhul, oleme ka ilmselt nüüd Eestis oma uurimistööga parasjagu ajast ees, mis tähendab, et kiiret juurutamist praktikasse on meil vara loota. Aga kes teab, ajad on muutunud – Eesti tõenäoline astumine Euroopa Liitu toob paratamatult kaasa rangemad keskkonnanõuded ja kõrged trahvid ning lihtsalt sunnib saastatud vett või reovett paremini puhastama.

Käesolev meile suurt huvi ja rahuldust pakkunud uurimistöö on saanud võimalikuks tänu riiklikule sihtfinantseerimisele (teema nr. 0140248), Eesti Teadusfondi grantidele (grandid nr. 1759, 2637, 3605, 3647, 4263) ning Soome Maj ja Tor Nessling Fondi korduvatele toetustele.

Kirjandus

Glaze, W., Kang, J-W., Chapin, D.H. 1987. The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. *Ozone Sci.Eng.*, 9, 335-352.

Hautaniemi, M., Kallas, J., Munter, R., Trapido, M. 1998a. Modelling of chlorophenol treatment in aqueous solutions. 1. Ozonation and ozonation combined with UV radiation under acidic conditions. *Ozone Sci.Eng.*, 20, 259-282.

Hautaniemi, M., Kallas, J., Munter, R., Trapido, M., Laari A. 1998b. Modelling of chlorophenol treatment in aqueous solutions. 2. Ozonation under basic conditions. *Ozone Sci. Eng.*, 20, 283-302.

Hautaniemi, M., Kallas, J., Laari, A., Trapido, M., Munter, R. 1998c. Modelling of fast ozonation reactions in aqueous solutions. Proceedings of the Regional Conference on Ozone Generation and Application to Water and Waste Water Treatment. Moscow, Russia, 26-28 May, 145-160.

Hautaniemi, M., Kallas, J., Palosaari, S., Korhonen, S., Tuhkanen, T., Munter, R. 1999. Modelling of ozonation of EDTA in aqueous solutions in semicontinuous bubble columns – comparison: fundamental model vs. neural networks. Proceedings of the 14-th Ozone Congress, Dearborn, Michigan, USA, 2, 405-420.

Hirvonen, A., Trapido, M., Hentunen J., Tarhanen, J. 2000. Formation of hydroxylated and dimeric intermediates during oxidation of chlorinated phenols in aqueous solution. *Chemosphere*, 8, 1211-1218.

Hoigne, J., Bader, H. 1975. Ozonation of water: role of hydroxy radicals as oxidizing intermediates. *Science*, 190, 782-784.

Jans, U., Hoigne, J. 1998. Activated carbon and carbon black catalyzed transformation of aqueous ozone into $^{\circ}\text{OH}$ -radicals. *Ozone Sci.Eng.*, 20, 67-90.

Kallas, J., Trapido, M., Munter, R. 2000. Kinetics and modelling of advanced oxidation of toxic and carcinogenic aromatic compounds. Fundamentals and engineering concepts for ozone reactor design. International specialized Symposium, March 1-3, Toulouse, France, 79-82.

Kamenev, S., Kallas, J., Munter, R., Trapido, M. 1995. Chemical oxidation of biologically treated phenolic effluents. *Waste Management (USA)*, 15, 203-208.

Kaptijn, J.P. 1997. The Ecoclear process. Results from full-scale installations. *Ozone Sci.Eng.* 19, 297-305.

Matthews, R.W. 1986. Photo-oxidation of organic material in aqueous suspensions of titanium dioxide. *Wat. Res.*, 20, 569-578.

Munter, R., Kamenev, S., Sarv, L. 1990. Design and modelling of a staged downflow bubble reactor. *Ozone Sci. Eng.*, 12, 30-39.

Munter, R., Preis, S., Kamenev, S., Siirde, E. 1993. Methodology of ozone introduction into water and wastewater treatment. *Ozone: Sci. Eng.*, 15, 149-165.

Munter, R., Kamenev, S., Kallas, J., Maripuu, L. 1998. Using of ozone in high quality drinking water production. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 28, 81-86.

Preis, S., Kamenev, S., Kallas, J. 1994. Oxidative purification of wastewater containing phenolic compounds from oil shale treatment. *Environ. Tech.*, 15, 135-144.

Preis, S., Kamenev, S., Kallas, J., Munter, R. 1995. Advanced oxidation processes against phenolic compounds in wastewater treatment. *Ozone: Sci. Eng.*, 17, 399-418.

Preis, S., Terentyeva, Y., Rozkov, A. 1997a. Photocatalytic oxidation of phenolic compounds in wastewater from oil shale treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 35, 165-174.

Preis, S., Krichevskaya, M., Kharchenko, A. 1997b. Photocatalytic oxidation of aromatic aminocompounds in aqueous solutions and groundwater from abandoned military bases. *Wat. Sci. Tech.*, 35, 265-272.

Preis, S., Krichevskaya, M., Terentyeva, Y., Moiseev, A., Kallas J. 2000. Treatment of phenolic and aromatic aminocompounds in polluted waters by photocatalytical oxidation. *Adv. Oxid. Technol.*, 5, 1-8.

Trapido, M., Kallas, J. 2000. Advanced oxidation processes for the degradation and detoxification of 4-nitrophenol. *Environmental Technology*, 21, 799-808.

Trapido, M., Veressinina, Y. 1999. Daphnia Magna test for the estimation of the toxicity of the by-products of ozonation of phenols and chlorophenols. *ALTA*, 27, 425 - 431.

Trapido, M., Veressinina, Y., Munter, R. 1994. Ozonation and AOP treatment of phenanthrene in aqueous solutions. *Ozone: Sci. and Eng.*, 16, 475-485.

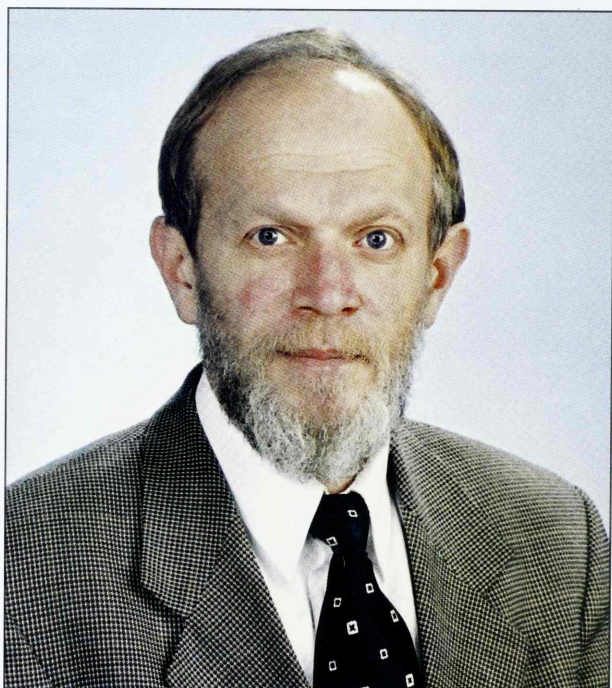
Trapido, M., Veressinina, Y., Munter, R. 1996. Ozonation as a method for destruction of PAH and substituted phenols. *Proc. 1st Australasian Conference of IOA*. Sydney, Australia, 12-15 February, 2, II-2-III-10.

Trapido, M., Veressinina, J., Munter, R. 1997. Ozonation, ozone/UV and UV destruction of some environmental pollutants - A comparative study. *Proc. of the Second International Symposium "Environmental Applications of Advanced Oxidation Technologies"*, February 28 - March 1, San Francisco, California, Electric Power Research Institute, 4-90- 4-101.

Trapido, M., Veressinina, Y., Munter, R. 1998. Advanced oxidation processes for degradation of 2,4-dichlorophenol and 2,4- dimethylphenol. *Journal of Environ.Eng.*, 124, 690-694.

Trapido, M., Munter, R., Veressinina, Y., Goi, A. 2000. Ozonation and advanced oxidation for degradation of phenols and phenols containing wastewater. *International conference Eco-Balt 2000*, Riga, 26-27 May, 1, 36-41.

*Teaduspreemia arstiteaduse alal tööde tsükli
"Närvirakkude kahjustus ja ravim sõltuvus: molekulaar-
sed mehhanismid ja farmakoloogiline preventatsioon" eest*



*Aleksander
Žarkovski*

Kollektiivi juht

Sündinud 31. jaanuaril 1950 Gomelis, Valgevenemaal

1974 Tartu Ülikool, arstiteaduskond, ravi eriala

1988 meditsiinidoktor

1991 farmakoterapia ja toksikoloogia korraline professor

Alates 1978 Tartu Ülikooli farmakoloogia instituut: teadur, õpetaja, vanemõpetaja, dotsent, vanemteadur.

Eesti Farmakoloogia Seltsi ja Eesti Toksikoloogia Seltsi liige.

Avaldanud üle 100 teaduspublikatsiooni.



Anti Kalda (esimene vasakult)

Sündinud 23. juulil 1965 Tallinnas

1983 Tallinna 47. Keskkool

1991 Tartu Ülikool, arstiteaduskond, ravi eriala

1999 meditsiinidoktor

Tartu Ülikooli farmakoloogia instituudi vanemteadur

Eesti Farmakoloogi Seltsi ja Eesti Toksikoloogia Seltsi liige.

Avaldanud 47 teaduspublikatsiooni.

Allen Kaasik (kolmas vasakult)

Sündinud 23. augustil 1970 Tallinnas

1988 Tallinna 3. Keskkool

1992 Tartu Ülikool, bioloogia-geograafiateaduskond

1998 meditsiinidoktor

Tartu Ülikooli farmakoloogia instituudi vanemteadur

Eesti Farmakoloogia Seltsi ja Eesti Biokeemia seltsi liige.

Avaldanud 53 teaduspublikatsiooni.

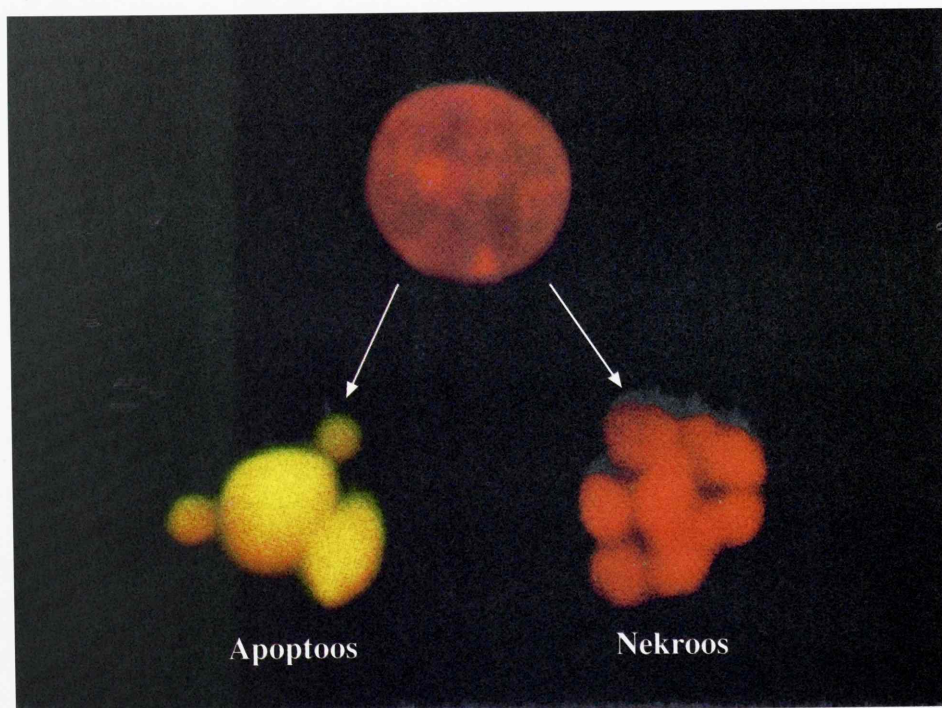
Seoses inimkonna pideva vananemisega suureneb neurodegeneratiivsete (sh Alzheimeri, Parkinsoni, Huntingtoni tõbi ja amüotroofiline lateraalskleroos) ja ajuvereringe patoloogiatega seotud haiguste osakaal. Lisaks meditsiinilistele probleemidele kaasnevad nende haigustega ka suured sotsiaalmajanduslikud probleemid. Kõikide nende haiguste ühiseks tunnusoonteks on närvirakkude enneaegne surm, sageli veel teadmata põhjustel. Kuni viimase ajani käsitleti närvirakkude surma kui paratamatut ja mittemõjutatavat protsessi. Viimase aastakümne eksperimentaalsed uuringud näitavad siiski, et närvirakkude surm on teatud juhtudel farmakonidega mõjutatav. See tuleneb otseselt programmeeritud surma hüpoteesist. Programmeeritud rakusurm e apoptoos on geneetiliselt determineeritud protsess, mille käigus rakk aktiveerib rakusisese surma programmi ja surmab ennast ise kontrollitud viisil. Nii aju isheemiliste kui neurodegeneratiivsete haiguste korral võivad erinevad faktorid (ka geneetilised) kutsuda esile selle närvirakkude enneaegset surma põhjustava programmi käivitumise. Kriitiliseks küsimuseks on see, kuidas sellist surmaprotsessi peatada.

Kaua aega arvati, et aju isheemilise kahjustuse järgselt surevad närvirakud nekroosi teel, mida iseloomustab spetsiifiliste patomorfoloogiliste muutustega raku lagunemine (raku ja rakuorganellide turse). Möödunud kümnendil aga hakkasid ilmuma tööd, kus näidati, et aju isheemiline kahjustus võib vallandada ka apoptootilise rakusurma. Meie poolt läbi viidud eksperimendid näitavad, et tugeva isheemilise kahjustuse korral surevad neuronid nekroosi teel, samas mõõduka ja nõrga kahjustuse korral domineerib apoptootiline rakusurm [Kalda jt, 1998]. Seega on aju isheemilise kahjustuse ravi aspektist oluline ära hoida nii nekrootilist rakusurma kui pärssida apoptoosi.

Meie grupi üheks oluliseks suunaks on olnud uute perspektiivsete närvirakkude surma mõjutavate ravimirühmade otsing. Kaheks ainetegrupiks, mida üritatakse ka kliinikus rakendada, on polü-ADP-riboosi polümeraasi (PARP) inhibiitorid ja glutamaadiretseptori antagonistid. PARP on ensüüm, mis füsioloogilistes tingimustes osaleb DNA kahjustuse parandamisel, kulutades selleks energiat. Aju isheemilise kahjustuse korral esineva energia defitsiidi foonil põhjustab PARP'i aktivatsioon raku energiavarude ammendamise ja viib sageli raku surmani. PARP'i pärssimisega loodetakse närvirakkude surma vältida. Samas võib DNA parandamise blokeerimine avaldada ka kahjulikku mõju, kuid sellest probleemist on tänini mööda vaadatud. Meie tulemused näitavad, et aju tugeva isheemilise kahjustuse korral võimendab PARP'i inhibiitor rakkude kahjustust. Selle põhjuseks on DNA ühe ahela kahjustuste akumulereerumine, mis omakorda aktiveerib valke lõhustavatest ensüümidest (kaspas-3) sõltuva apoptoosikaskaadi tekke ja lõpptulemusena põhjustab rakusurma [Kaasik jt, 2001].

Ioonkanalitega seotud glutamaadiretseptori antagonistide peetakse närvirakke kaitsvateks aineteks (neuroprotektant), kuna nad vähendavad glutamaadi kahjulikku toimet kesknärvisüsteemi patoloogiate korral. Samas näitavad meie katsed, et tugev neuroprotektant N-methüül-D-aspartaadi antagonist MK-801 (disotsilpiin) pärssib küll nekrootilist surma, kuid suurendab samas apoptootilist rakusurma [Kaasik jt, 1999]. Seega võivad neuroprotektandid avaldada loodetava närvirakke kaitsva toime asemel ka närvirakke kahjustavat toimet: nekrootilise "surma küüsisist päästetud" rakud surevad ikkagi apoptootilise surma läbi.

Eelpool toodu sundis meid valima teist strateegiat – otsima aineid, mis ei pidurdaks otseselt juba käivitunud surma protsessi, vaid pigem suurendaksid resistentsust seda põhjustavate tegurite suhtes. Seetõttu hakkasime otsima aineid, mis avaldaksid neuroprotektiivset toimet troofilisi protsesse aktiveerides. Püstitasime hüpoteesi, et erutusmediaator glutamaat, toimides N-metüül-D-aspartaadi retseptoritele, avaldab toksilist toimet ning võib samal ajal avaldada ka troofilist (rakkude elutegevust säilitavat) toimet metabotroopsete retseptorite kaudu. Testisime erinevates kesknärvisüsteemi patoloogiate mudelites mitmeid metabotroopse (G-valkudega seotud) glutamaadireseptori agoniste ja antagonistide. Katsete tulemused näitasid, et metabotroopse retseptori agonistid (ACPD, DHPG, DCG) avaldavad neuroprotektiivset toimet nii närvirakkude isheemia mudelis kui neurodegeneratsiooni mudelisis. Morfoloogilised ja molekulaarbioloogilised uuringud viitasid, et metabotroopse glutamaadireseptori agonistid pärsvivad apoptootilist surma eelkõige üle sekundaarsete virgatsainete (nt protiiini kinaas C, adenülaadi tsüklaasi inhibeerimine) [Kalda, Zharkovsky, 1999; Kalda jt, 2000].



Laserkonfokaalmikroskoobi pilt normaalsetest apoptootilisest ja nekrootilisest närvirakkude tuumadest, värvitud propiidiidum-iodiidiga.

Teiseks perspektiivseks, raku resistentsust surma suhtes suurendavaks aineks on dehidroepiandrosteroon. Kuigi dehidroepiandrosteroon on organismis kõige levinum steroidhormoon, on tema funktsioon ikkagi ebaselge. On näidatud, et dehidroepiandrosteroon avaldab närvirakkudele troofilist toimet. Hüpoteesina on teadlased pakkunud, et dehidroepiandrosteroon kaitseb neuroneid ja ka teisi rakke kahjustuste eest, mis muidu lõppeksid raku surmaga. Vananedes väheneb selle hormooni sisaldus veres üle viie korra ja see võibki olla põhju-

seks, miks suureneb vananeva aju tundlikkus isheemia ja muude kahjustuste suhtes. Selle hüpoteesi tõestamiseks viisime läbi uuringud, mis näitasid, et dehüdroepiandrosteroon kaitseb peaaegu neuroneid isheemilise kahjustuse korral [Kaasik jt, 2001]. Samas on veel välja selgitamata dehüdroepiandrosterooni toimemehhanism. Taotlejate esialgsed, veel avaldamata tulemused näitavad, et see võib toimuda mitokondrite tasemel. Seega võib järeldada, et osa troofilist toimet omavaid aineid omavad ka neuroprotektiivset toimet.

Teiseks väga oluliseks uuringute suunaks meie laboris on ravimsõltuvuse molekulaarsete mehhanismide väljaselgitamine. Narkomaania (ravimsõltuvus ja alkoholism) on tänapäeva ühiskonna üks olulisemaid valupunkte. Efektive narkomaaniavastase farmakoteraapia eelduseks on selle neurobioloogiliste mehhanismide tundmine. Kuigi narkomaaniat võivad põhjustada mitmed erineva toimemehhanismiga ained, on nende neurobioloogilistes mehhanismides palju sarnaseid aspekte. Viimastel aastatel on meie uuringud kontsentreerunud glutamaadi ja L-tüüpi kaltsiumikanalite osale ravimsõltuvuse tekkes.

Meie eksperimendid näitasid, et sõltuvuse tekkes mängib olulist rolli glutamaatergilise süsteemi aktivatsiooniga kaasnev lämmastikoksiidi (NO) vabanemine. NO teket pärssivad ained pärssisid ka ravimsõltuvuse väljakujunemist [Vassiljev jt, 1998]. Kuna glutamaadireseptorid osalevad rakusiseses kaltsiumi kontsentratsiooni regulatsioonis, uurisime ka L-tüüpi kaltsiumikanalite regulaatoreid. Füsioloogilistes tingimustes mängivad L-tüüpi kaltsiumikanalid närvirakkudes minimaalset rolli. Meie uuringud näitasid, et ravimsõltuvuse tekkimisel suureneb nende ekspressioon ning osatähtsus kaltsiumi sisenemisel rakkudele. Seega näitasid uuringud, et L-tüüpi kaltsiumikanalid osalevad morfiini ja etanooli suhtes tolerantsuse ning abstinentsi tekkes. Kaltsiumikanalid võivad niisiis olla ründepunktiks uutele ravimsõltuvuse ravile suunatud ravimitele [Piepponen jt., 1997, 1999a,b].

Meie tulemused näitavad, et ravimsõltuvuse tekkemehhanismid on väga sarnased neurodegeneratsiooni mehhanismidega. Seega võivad ravimsõltuvusega närvisüsteemis kaasned ka degeneratiivsed muutused. Uuringud viitavad sellele, et etanooli abstinentsi korral surevad neuronid apoptoosi teel. See lubab püstitada hüpoteesi, et alkoholism ja võimalik, et ka teised ravimsõltuvused, võivad lisaks käitumishäiretele põhjustada ka neurodegeneratsiooni.

Käesolevale tööle on kaasa aidanud paljud Tartu Ülikooli farmakoloogia instituudi töötajad. Meie sügav tänu kuulub kolleegidele Ulla Petersonile, Paavo Pokile, Toomas Kivastikule, Elo Eristele, Vitali Vassiljevile, Külli Jaakole ja Elle Põldojale. Samuti sooviks tänada mõistva ja toetava suhtumise eest Farmakoloogia instituudi juhatajat professor Lembit Allikmetsa ja teisi töötajaid.

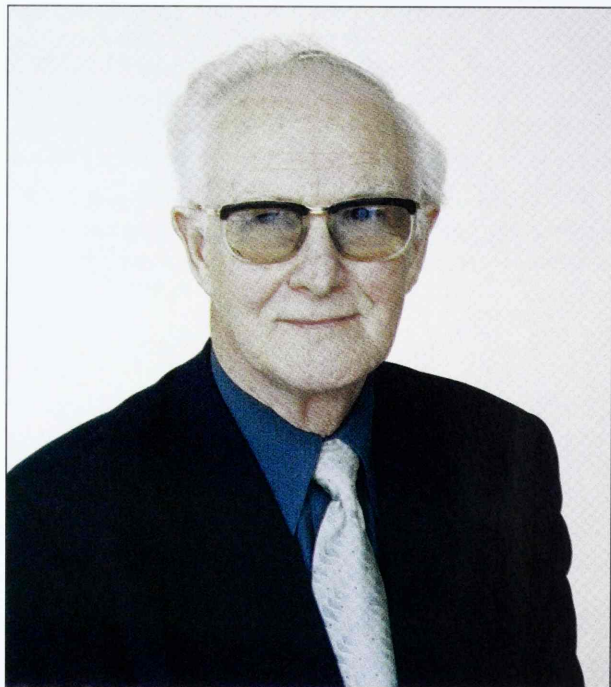
Materiaalse abi eest täname TÜ arstiteaduskonda. Eri projekte on toetanud EV Haridusministeerium (sihtfinantseerimine TARFR 0415), Eesti Teadusfond (grandid nr. 2373, 3949).

Kirjandus

Kaasik, A., Vassiljev, V., Poldoja, E., Kalda, A., Zharkovsky, A. 1999. Do nuclear condensation or fragmentation and DNA fragmentation reflect the mode of neuronal death? *Neuroreport*. 10, 9, 1937-42.

- Kaasik, A., Kalda, A., Jaako, K., Zharkovsky, A. 2001. Dehydro-epiandrosterone sulphate prevents oxygen-glucose deprivation-induced injury in cerebellar granule cell culture. *Neuroscience*, 102, 2, 427-432
- Kalda, A., Zharkovsky, A. 1999. Metabotropic glutamate receptor agonists protect from oxygen-glucose deprivation- and colchicine-induced apoptosis in primary cultures of cerebellar granule cells. *Neuroscience*. 92, 1, 7-14.
- Kalda, A., Eriste, E., Vassiljev, V., Zharkovsky, A. 1998. Medium transitory oxygen-glucose deprivation induced both apoptosis and necrosis in cerebellar granule cells. *Neurosci Lett*. 240, 1, 21-4.
- Kalda, A., Kaasik, A., Vassiljev, V., Pokk, P., Zharkovsky, A. 2000. Neuroprotective action of group I metabotropic glutamate receptor agonists against oxygen-glucose deprivation-induced neuronal death. *Brain Res.*, 853, 2, 370-3.
- Katajamaki, J., Honkanen, A., Piepponen, T., Linden, I., Zharkovsky, A., Ahtee, L. 1998. Conditioned place preference induced by a combination of L-dopa and a COMT inhibitor, entacapone, in rats. *Pharmacol Biochem Behav.*, 60, 1, 23-6.
- Piepponen, T., Kivastik, T., Katajamaki, J., Zharkovsky, A., Ahtee, L. 1997. Involvement of opioid mu 1 receptors in morphine-induced conditioned place preference in rats. *Pharmacol Biochem Behav.*, 58, 1, 275-9.
- Piepponen, T., Zharkovsky, A., Kivastik, T., Ahtee, L. 1999a. Effects of morphine in rats withdrawn from repeated nifedipine administration. *Eur J Pharmacol.*, 365, 2-3, 159-64.
- Piepponen, T., Honkanen, A., Kivastik, T., Zharkovsky, A., Turtia, A., Mikkola, J., Ahtee, L. 1999b. Involvement of opioid mu1-receptors in opioid-induced acceleration of striatal and limbic dopaminergic transmission. *Pharmacol Biochem Behav.*, 63, 2, 245-52.
- Zharkovsky, A., Katajamaki, J., Seppala, T., Ahtee, L. 1999. Morphine-induced analgesia in rats withdrawn from concurrent nimodipine and morphine treatment. *Pain.*, 79, 2-3, 217-22.
- Vassiljev, V., Kalda, A., Pokk, P., Väli, M., Zharkovsky, A. 1998. The effects of the nitric oxide synthase inhibitor 7-nitroindazole on ethanol pharmacokinetics in rats after acute and chronic ethanol administration. *Alcohol & Alcoholism*, 33, 6, 609-615.

*Teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal tööde tsükli
Isotoopuuringute tulemusi Eesti paleosoilise arenguloo
selgitamisel (ordoviitsiumi ja siluri stratigraafia,
kliimatoloogia ja okeanoloogia) eest*



*Dimitri
Kaljo*
Kollektiivi juht

Sündinud 12. oktoobril 1928 Haapsalus

- 1948 Tallinna I Keskkool
- 1953 Tartu Ülikool, geoloogia;
- 1957 geoloogia-mineraloogiakandidaat, Tartu Ülikool;
- 1978 geoloogia-mineraloogiadoktor, NSVL TA Geoloogia Instituut
- 1983 Eesti TA liige
- 1986 professor
- 1987 Londoni Geoloogia Seltsi auliige

1956–57 Tartu Ülikooli mineraloogia kateedri assistent, alates 1957 Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituut (praegu Tallinna Tehnikaülikooli GI): teadussekretär, sektorijuhataja, teadusdirektor, 1969–1989 direktor, 1990. aastast aluspõhja osakonna juhataja.

1989–1999 Eesti Teaduste Akadeemia Bioloogia, Geoloogia ja Keemia Osakonna juhataja, 1999. aastast juhatuse liige, välissuhete koordinaator.

Avaldanud üle 300 teaduspublikatsiooni.



Leho Ainsaar

Sündinud 10. juunil 1963 Tartus

1981 Tartu 5. Keskkool

1986 Tartu Ülikool, geoloogia

1992 geoloogiamagister, Tartu Ülikool

Tartu Ülikooli geoloogia instituudi lektor

Avaldanud 14 teaduspublikatsiooni.



Linda Hints

Sündinud 24. jaanuaril 1940 Tallinnas

1958 Tallinna 17. Keskkool

1963 Tartu Ülikool, geoloogia

1972 geoloogia-mineraloogiakandidaat

Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi teadusfondide osakonna juhataja

Üle 60 teaduspublikatsiooni.



Tõnu Martma

Sündinud 5. märtsil 1955

1973 Nõo Keskkool

1978 Tallinna Tehnikaülikool, elektroonika

1998 geökoloogia magister, Tallinna Pedagoogikaülikool

Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi teadur

Avaldanud üle 40 teaduspublikatsiooni.



Jaak Nõlvak

Sündinud 16. juunil 1944 Tallinnas

1962 Tallinna 21. Keskkool

1974 Tartu Ülikool, füüsiline geograafia

1992 geoloogiamagister, Tartu Ülikool

Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi teadur

Avaldanud üle 80 teaduspublikatsiooni.

Ajakirja "Nature" k.a 29. märtsi juhtkirjas tauniti USA äsjavalitud presidendi G. W. Bushi poliitikat Kyoto protokollis suhtes, kuigi samas nimetati protokolliga seatud ülesanded kasvuhoonegaaside emissiooni piiramisel ebarealistlikeks. Selles vastanduses on hästi näha ühe keerulise teadusliku probleemi ebaselgused, mis võimaldavad erinevaid ja tugevasti majandusega seotud poliitilisi manöövreid. Ilmselt on paljudes maades teaduse mõju poliitikale pigem tagasihoidlik kui silmapaistev, kuid vaevalt, et selgete juhtumite korral võiks mõni demokraat või vabariiklane endale liiga suuri hälbeid lubada.

Vihjatud probleem on tegelikult lihtsasti sõnastatav dilemma – kas kliima kaasagne soojenemine on põhjustatud tehnilisest kasvuhoonegaaside emissioonist või on tegu looduses loomulikult toimuva perioodilise muutumisega. Kahjuks on kliima kujunemist mõjutavaid tegureid palju ja nende omavahelised seosed tüslikud, mistõttu isegi veel 21. sajandi alguses ei teata, kas me elame "jäävaheaja" soojeneval episoodil, mis mingil hetkel asendub jahenevaga, või on inimkonna tegevus suutnud esile kutsuda pöördumatuid protsesse. Siiski uurimistöökäib laial rindel, mis ulatub kaasaegsest kuni maa ajaloo iidsete eppohhideni (vaata "Nature" viimaseid aastakäike) ja küllap selguski hakkab tulema. Samas suunas töötades oli meie uurimiste üheks ülesandeks vanaaegkonnas umbes 417–455 Ma (=mega annum, miljon aastat) tagasi olnud kliimamuutuste ajaloo ja põhjuste selgitamine. Lisaks nendele ka muud kitsamalt Eesti paleosoilise arenguloo tundmaõppimisega seotud uurimisülesanded, nagu ordoviitsiumi ja siluri kivimite stratigraafia (liigestus, vanus ja paiknemine) ning tekketingimused.

Eesti vanapaleosoiline aluspõhi, mis koosneb Põhja Eestis vendi ja kambriumi savidest ja liivakividest ning ordoviitsiumi ja siluri karbonaatsetest kivimitest (peamiselt mitmesugused lubjakivid ja dolomiidid) ning Lõuna-Eestis lisaks veel devoni liivakividest ja muudest terrigeensetest setenditest. Karbonaatkivimites on rohkesti hästi säilinud kivistisi, mis on paljudele geoloogide põlvkondadele olnud peamiseks abimeheks kivimite vanuse ja tekkega seotud probleemide lahendamisel. Hoolimata väga suurest vanusest (ligi pool miljardit aastat) on need settekivimid vähe või üldse mitte moonduvad, sest need pole olnud maetud maakoore kuumadesse süvakihtidesse ega ole sattunud mäetekkeliste protsessidega kaasnevate suurte rõhkude ja nihete mõjusfääri. Neil põhjusil on meie kivimites peale kivististe hästi säilinud ka mitmed tekkeskkonda iseloomustavad keemilised tunnused. See asjaolu viiski mõttele püüda kasutada hapniku ja süsiniku isotoope aluspõhja geoloogilise arengu uurimisel.

See idee on nüüdseks realiseerunud reas publikatsioonides, millest esimesed avaldati 1994. a. Olgu siinjuures märgitud, et meie töösuunal aluspõhja geoloogias on olemas olulised eelkäijad palju nooremate kesk- ja uusaegkonna, sh Eesti kvaternaari uurijate näol, kes on süsiniku ja hapniku isotoope edukalt rakendanud juba rea aastate vältel (J.-M. Punning, R. Vaikmäe jt). Paleosoiliste kivimite kasutatavus isotoopanalüüsiks oli aga kaua kahtluse all, mistõttu alles 1990. aastate algul ilmusid esimesed ordoviitsiumi ja siluri käsitlevad isotoopgeoloogilised artiklid Inglismaal ja Saksamaal.

Õeldut arvestades sai TTÜ (sel ajal Eesti TA) Geoloogia Instituudis alustatud tööde esimeseks ülesandeks meetodi töökõlblikkuse tõestamine Eesti aluspõhja uurimiseks ning see lahendati positiivselt. Juba esimeste siluri läbilõigete

(Ohesaare, Priekule) analüüsimine kogukivimi meetodil näitas veenvalt süsiniku ja hapniku stabiilsete isotoopide suhete ($\delta^{13}\text{C}$ ja $\delta^{18}\text{O}$) uurimisest tulenevaid võimalusi geoloogias, kuid osutas ka kivimite koosseisust (kaltsiidi ja dolomiidi sisalduse varieeruvusest) ning diagenetiliste muutuste ulatusest tingitud piirangutele. Kokkuvõttes õnnestus näidata [Kaljo jt, 1997, 1998; Marshall jt, 1997], et süsiniku stabiilsete isotoopide suhtvahekord on Eesti karbonaatkivimites üldiselt vähe mõjutatud diageneesist ning see peegeldab piisavalt tõepäraselt omaaegse merevee isotoopkoostist. Tänu puursüdamikete läbilõigete uurimisele on autorite andmerekad muudest oluliselt täielikumad ning maksimaalse pidevuse tagamiseks kasutatud kogukivimi meetod osutus süsiniku osas ka täiesti usaldusväärseks. Sama ei saa väita hapniku isotoopide uurimise kohta, kus hea tulemuse saamiseks on vaja analüüsida valitud (muutuste suhtes kontrollitud) skeletikaltsiiti.

Võttes aluseks arusaama meetodi kasutatavusest ordoviitsiumi ja siluri geoloogilise arenguloo selgitamisel kujunesid TTÜ Geoloogia Instituudi uurimisgrupil ühiste huvide alusel tihedad koostöösuhted kolleegidega TÜ Geoloogia Instituudist ja Liverpooli Ülikoolist. Viimaste panus hapniku isotoopide osas oli eriti oluline, kuivõrd meie laboratoorne baas diagenetiliste muutuste avastamiseks ei ole kahjuks piisav. Meie tööd soodustas oluliselt Eesti Geoloogiakeskuse toetus, mis võimaldas meil uurida ja proove võtta puursüdamiketest ning sellega tagada uurimisobjekti maksimaalselt võimaliku täielikkuse.

Uurimistöö tulemusi võib liigitada kolme peamisse valdkonda – stratigraafia, paleoklimatoloogia ja merelise keskkonna parameetrite interpreteerimine (paleo-oceanoloogia). Kui need märksõnad pisut lahti mõtestada, siis jutt on geoloogia peamistest probleemidest ja ülesannetest, s.o kivimite ja nende kihtide suhtelisest vanusest, omavahelistest ruumilis-ajalistest vahekordadest, nende teket mõjutavatest üldistest (kliima) ja regionaalsetest (faatsiesed) keskkonnatingimustest. Kui stratigraafilised tulemused on kõige enam vajalikud geoloogia igapäevastes rakendustes, siis teised ülalnimetatud aspektid astuvad esiplaanile üldisemate arengulooliste ülesannete lahendamisel. Konkeetsetest tulemustest märgime järgmisi:

1. NÄIDATI SÜSINIKU ISOTOOPIDE SISALDUSSUHTE MUUTUMISE ($\delta^{13}\text{C}$ KÕVERA) KASUTATAVUST STRATIGRAAFILISTEL EESMÄRKIDEL, sh läbilõigete korrelatsioonil, kivimite vanuse määramisel ja läbilõigetes esinevate lünkade avastamisel ning ulatuse määramisel. Isotoopanalüüsi andmete alusel täpsustati ja täiendati rea lademete stratigraafiat [Ainsaar jt, 1999; Hints jt, 2000; Kaljo jt, 1997, 1998]. Siinjuures on põhjust rõhutada autorite printsiipi, mis nõuab isotoopandmete ja biostratigraafiliste tõendite tihedat seostamist ja vastastikust kontrolli. Ilma täpse biostratigraafilise dateerimiseta või konkreetse geoloogilis-fatsiaalsesse situatsiooni asetamata on isotoopandmestik oluliselt vähem väärtuslik või isegi detailseks tööks kasutu. Neil motiividel on isotoopuuringute kõrval samaväärselt olulised ka paleontoloogilised tööd, mis tagavad esimeste biostratigraafiliselt korrektse ajalise tagapõhja.

2. SÜSINIKU JA HAPNIKU ISOTOOPE KASUTATI EDUKALT TEATUD PALEOKLIMATOLOOGILISTE REKONSTRUKTSIOONIDE PUHUL. Kõige suuremat tähelepanu osutati hilisordoviitsiumi lõpu nn Hirnantia ehk Sahaara

jäätumise ja sellega seotud keskkonnaprotsesside (ookeani veetaseme eustaatilised muutused, kliima soojenemine-jahenemine) ja bioloogiliste sündmuste (organismide väljasuremine, uute arenguridade ilmumine) selgitamisele [Marshall jt, 1997; Kaljo jt, 1998, 2001]. Järsud veetaseme kõikumised ja kaasnevad muutused setete isotoopkoostises varases hilisordoviitsiumis on viinud autorid oletusele, et jääaegadele iseloomuliku ookeanivee tsirkulatsiooniga episoodide esines meie planeedil juba umbes 10 miljonit aastat enne Sahaara jäätumist [Ainsaar jt, 1999; Meidla jt, 1999]. Kuid olulisi tulemusi on saadud ka varasiluri nn Brasiilia jätumiste kajastumise uurimisel Balti läbilõigetel [Kaljo jt, 1997, 1998; Kaljo, Martma, 2000], mis kõneleb märksa pikemast glatsiaalsest epohhist kui seni arvatud.

3. ISOTOOPANDMESTIKU ABIL INTERPRETEERITUD KESKKONNA PARAMETRITE KASUTAMINE ORGAANILISE MAAILMA MITMEKESISUSE UURIMISEL. Alustati paljude biootiliste sündmuste parema või halvema kokkulangevuse tuvastamisest $\delta^{13}\text{C}$ väärtuste kõvera tippude või miinimumidega, samuti mõnede teiste geokeemiliste ja geoloogiliste muutustega. Seejärel sai võimalikuks teha ka järeldusi ja oletusi teatud faunarühmade väljasuremise põhjuste kohta. Näiteks graptoliitide puhul võib lugeda küllalt tõenäoliseks, et selles mängis suurt rolli gaaside sisaldus merevees, ookeani veetaseme langusest tingitud elupaikade redutseerumine ja mõnel juhul ka veemassi dünaamika [Kaljo, 1998]. Väga huvitav on avastatud vetikate arvukuse pöördvõrdeline seos $\delta^{13}\text{C}$ maksimumidega Eesti hilisordoviitsiumi lademetes [Kaljo, jt, 1999], mis annab hea võimaluse hinnata kliima ja bioproduktiooni ning -mitmekesisuse põhjuslikke seoseid.

4. ISOTOOPANDMETE KASUTAMINE PALEO-OKEANOLOOGILISTE MUDELITE TÕEPÄRASUSE HINDAMISEL. Viimasel aastakümnel on leidnud reas tööd kasutamist L. Jeppssoni koostatud paleo-oceanoloogiline mudel jahedamate ja soojemate kliimaepisoodide vaheldumise mõjust protsessidele ookeanis ja selle elustiku arengule. Mudeli testimisel Balti siluri läbilõigete üksikasjaliku biostratigraafilise ja isotoopgeoloogilise analüüsi alusel näidati, et mudel ei ole piisavalt kooskõlas reaalse situatsiooniga ookeanis ning vajab reas punktides modifitseerimist.

Piirdudes esitatud geoloogiliste üksikasjadega meie uurimistööde iseloomustamiseks, pöördugem tagasi kliima tsükliliste muutuste juurde. Kliima regulaarne soojenemine-jahenemine, kas ainult aastaegade vahelduse või pikemaajaliste perioodidena on ammu teadmine. Fanerozoikumis, mille kestus on ligi 550 Ma, on alates jaheda kambriumiga esile tõstetud viis suurperioodi [Fischer, 1984]. Meie poolt uuritud ajavahemik (hilisordoviitsium – silur) kuulub järgneva sooja nn “kasvuhoone” perioodi keskossa ja praegune aeg, milles elame, jahedasse “külmuhoone” perioodi, mis algas alles umbes 1 Ma tagasi. Ometi räägitakse praegu kliima soojenemisest ja eespool esitasime andmeid ordoviitsiumi ja siluri jätumistest, mis vähemalt osalt ei jäänud territoriaalselt ulatuselt maha viimasest suurest mandrijätumisest kvaternaaris.

Need vasturääkivused Fischeri skeemiga on vaid illustratsiooniks sellele, et kliima väga pikaajalise tsüklilisuse foonil on alati olnud (ja pole põhjust teisiti arvata ka tänapäeva suhtes) lühemaid muutusi. Näiteks, meie andmetel esinesid hilisordoviitsiumis ja siluri alguses süsiniku isotoopide suhtkõvera positiivsed

tipud iga 8 Ma järel, hiljem siluris juba iga 4 Ma järel. Sealjuures on need muutused üllatavalt mastaapsed: Hirnantia jäätumisega seostuv $\delta^{13}\text{C}$ väärtuste muutus on 6–7 ‰ umbes 0,5 Ma jooksul, samasugune on muudatus Ludlow's, mõnevõrra madalam ja pikem (kuni 4–5 ‰ 1 Ma kohta) Wenlocki alguses, mis kajastab üht nn Brasiilia jäätumist. Kõik need jäätumised leidsid aset Gondwana suurmandril lõunapooluse lähistel, sel ajal kui Eesti-ala asus Baltika mandri koosseisus samuti lõunapoolkeral, kuid subtroopilistel laiustel. Teadaolevalt kasvasid $\delta^{13}\text{C}$ väärtused kambriumist permini umbes 5 ‰, kesk- ja uusaegkonnas on väärtuste tavaline kõikumine 2 ‰ piires [Veizer jt, 1999]. Nende andmete kõrvutamise suhteliselt lühiajaliste Hirnantia ja Brasiilia jäätumiste efektidega näitab, et silmatorkavad kliimamuutused võisid (ja võivad) toimuda ka looduslikes tingimustes geoloogilises mõttes väga kiiresti, näiteks kümnekonna kuni mõnesaja tuhande aasta jooksul. Seega on võimalik, et me praegu elame ühes külmhooneperioodi soojenevas episoodis ja oleks halb, kui me ise aitame protsesse kiirendada.

Kirjandus

- Ainsaar, L., Meidla, T., Martma, T. 1999. Evidence for a widespread carbon isotopic event associated with late Middle Ordovician sedimentological and faunal changes in Estonia. *Geological Magazine*, 136 (1), 49-62.
- Fischer, A. G. 1984. The two Phanerozoic supercycles. Berggren, W. A. and Van Couvering, J. A. (Eds.) *Catastrophes and Earth history*, Princeton Univ. Press, 129-150.
- Hints, L., Oraspõld, A., Kaljo, D. 2000. Stratotype of the Porkuni Stage with comments on the Rõa Member (uppermost Ordovician, Estonia). *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, 49, 177-199.
- Kaljo, D. 1998. Possible relationships of graptolite extinctions with environmental events in the Wenlock and Ludlow. Gutierrez-Marco, J.C., Rabano, I. (Eds.) *Proc. Sixth Intern. Grapt. Conf. and SW Iberia Field Meeting 1998 Intern. Subcom. Silurian Strat.*, Temas Geologico-Mineros ITGE, 23, 190-192.
- Kaljo, D., Hints, L., Hints, O., Martma, T. Nõlvak, J. 1999. Carbon isotope excursions and coeval environmental and biotic changes in the late Caradoc and Ashgill of Estonia. Kraft, P., Fatka, O. (Eds.) *Quo vadis Ordovician?* Acta Universitatis Carolinae, Geologica, 43, 507 – 510.
- Kaljo, D., Hints, L., Martma, T., Nõlvak, J. 2001. Carbon isotope stratigraphy in the latest Ordovician of Estonia. *Chemical Geology*, 175, 49-59.
- Kaljo, D., Kiipli, T., Martma, T. 1997. Carbon isotope event markers through the Wenlock-Pridoli sequence at Ohesaare (Estonia) and Priekule (Latvia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 132, 211-223.
- Kaljo, D., Kiipli, T., Martma, T., 1998. Correlation of carbon isotope events and environmental cyclicality in the East Baltic Silurian. Landing, E., Johnson, M.E. (Eds.) *Silurian Cycles. Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic, and Tectonic Changes*. New York State Museum Bull., 491, 297-312.

Kaljo, D., Martma, T. 2000. Carbon isotopic composition of Llandovery rocks (East Baltic Silurian) with environmental interpretation. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, 49, 267-283.

Marshall, J.D., Brenchley, P.J., Mason, P., Wolff, G.A., Hints, L., Meidla, T. 1997. Global carbon isotopic events associated with mass extinction and glaciation in the late Ordovician. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 132, 195-210.

Meidla, T., Ainsaar L., Hints L., Hints O., Martma T., Nõlvak J. 1999. The mid-Caradocian biotic and isotopic event in the Ordovician of the East Baltic. Kraft, P., Fatka, O. (Eds.). *Quo vadis Ordovician?* Acta Universitatis Carolinae, Geologica, 43, 503-506.

Veizer, J., Ala, D., Azmy, K. et al. 1999. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology*, 191, 59-88.

Riigi teaduspreemia põllumajandusteaduste alal tööde tsükli
"Põllumajandusmaastike muutused: mõju aineringle
ja selle reguleerimine ökotehnoloogiliste võtetega" eest



Ülo
Mander
Kollektiivi juht

Sündinud 11. jaanuaril 1954 Tartus

1972 Treffneri Gümnaasium
1977 Tartu Ülikool, füüsiline geograafia
1982 bioloogiakandidaat, Tartu Ülikool
1992 professor

1977–1991 Eesti Põllumajandusülikooli assistent, vanemõpetaja, dotsent.
Alates 1991 Tartu Ülikool: dotsent, geograafia osakonna juhataja, geograafia
instituudi juhataja, maastikuökoloogia ja loodusgeograafia korraline professor.

Rahvusvahelise Ökotehnoloogia Ühingu (IEES) juhatuse liige.

Avaldanud 175 teaduspublikatsiooni, neist 10 monograafiat.



Hannes Palang (esimene vasakult)

Sündinud 14. novembril 1968 Tapal
 1986 Rakvere I Keskkool
 1993 Tartu Ülikool, bakalaureusekraad
 loodusgeograafia alal
 1996 keskkonnakorralduse magister,
 Amsterdami Ülikool
 1998 PhD (maastikuökoloogia ja kesk-
 kornakaitse), Tartu Ülikool
 Tartu Ülikooli geograafia instituudi
 teadur
 Avaldanud 66 teaduspublikatsiooni.

Krista Lõhmus (kolmas vasakult)

Sündinud 5. novembril 1948 Rakveres
 1967 Rakvere I Keskkool
 1972 Tartu Ülikool, rakendusmate-
 maatika
 1987 bioloogiakandidaat, Tartu Üli-
 kool
 Tartu Ülikooli geograafia instituudi
 vanemteadur
 Avaldanud 55 teaduspublikatsiooni.

Ain Kull (teine vasakult)

Sündinud 7. augustil 1973 Tartus
 1991 Tartu V Keskkool
 1995 Tartu Ülikool, bakalaureusekraad
 maastikuökoloogia ja loodusgeog-
 raafia ning inimgeograafia alal
 1996 loodusgeograafia magister, Tartu
 Ülikool
 Tartu Ülikooli geograafia instituudi
 teadur
 Avaldanud 25 teaduspublikatsiooni.

Valdo Kuusemets (neljas vasakult)

Sündinud 17. septembril 1962 Raplas
 1981 Rapla Keskkool
 1986 Tartu Ülikool, füüsiline geog-
 raafia
 1999 PhD (maastikuökoloogia ja kesk-
 kornakaitse), Tartu Ülikool
 Tartu Ülikooli geograafia instituudi
 vanemteadur
 Avaldanud 30 teaduspublikatsiooni.

Ühelt poolt sõltub põllumajandus paljuski maastike omadustest, teisalt mõjub see inimtegevuse haru kõige enam maapiirkondade maastikke. Arvestades teema aktuaalsust on viimasel ajal põllumajandusmaastikke käsitlevate uurimuste arv kogu maailmas oluliselt suurenenud [Mander, Jongman, 1998, 2000a,b; Palang jt, 2000]. Üheks peamiseks põllumajandusmaastike muutuste tagajärjeks on aineringe, eriti biogeenide väljakande muutused ja transformatsioon. Erinevates valglates annab see erinevaid tulemusi, kuid üldises plaanis on aineringe dünaamika kirjeldatav nn kriitiliste saastekollete ja puhveralade kaudu [Mander, Forsberg, 2000; Mitsch, Mander, 1997].

Veekogude ja põhjavee seisundi halvenemine biogeenidega – eelkõige lämmastiku ja fosforiga – reostumise tõttu on tõsisemaid keskkonnaprobleeme nii Eestis kui kogu maailmas. Üheks põhjuseks Eestis on reoveepuhastuse halb olukord; olemasolevast enam kui tuhandest väikesest puhastussüsteemist on üle 60% töökõlbatud [Mander jt, 1997, 1997a; Mander, Muring, 1997]. Konventsionaalsetel tehiskel materjalidel ja seadmetel baseeruvate puhastusseadmete ehitamine ja eksploatatsioon on väga kallis ning Eesti praeguses majanduslikus olukorras võimalik enamasti tänu välisabile. Säästliku arengu põhimõtetest lähtuv võimalus ülalmainitud keskkonnaprobleemi lahendamiseks on erineva struktuuriga puhvervööndite ja looduslähedaste veepuhastussüsteemide säilitamine ja rajamine nii punkt- kui hajureostuse vähendamiseks [Kuusemets, Mander, 1999].

Põllumajandusmaastike muutus viimastel kümnenditel on olnud üheks olulisemaks keskkonnamuutuseks kogu Euroopas. Eesti maakasutuse ja põllumajandusmaastiku struktuuri muutuste analüüsist ilmnes, et XX sajandi vältel oli peamiseks tendentsiks põllumajandusliku maa (eriti rohumaade) osakaalu kahanemine ja metsade pindala üldine kasv [Mander, Palang, 1999]. Selle selgeilmelise trendi foonil on maastiku struktuuri mitmekesisust iseloomustavate näitajate muutus olnud väheoluline. Näiteks selgitati, et maastike struktuuri (musteri) mitmekesisust iseloomustavate indeksite ja näitajate väärtused terves Eestis on olnud suhteliselt stabiilsed, küll aga on nimetatud parameetrid muutunud Eesti erinevates piirkondades [Palang jt, 1998]. Selline maastiku mustri konservatiivsus võib seletuda kasutatud indeksite omadustega, kuid peegeldab ka suhteliselt hõreda asustustiheduse mõju [Mander, Palang, 1999]. Seniste maastiku muutuste tendentside analüüsi alusel on koostatud Eesti maastike võimalikud arengustsenaariumid [Palang jt, 2000].

Maastiku mitmekesisuse ja eriti maakasutuse muutuste mõjusid toitainete voogudele maastikus on üldistavalt käsitletud erinevate valglate näitel, analüüsides ökotehnoloogiliste abinõude rakendatavust toitainete väljakannete vähendamiseks. Kõrvuti kliimatiliste ja äravoolurežiimi muutustega on maakasutuse ja tootmise intensiivsuse muutused põhjustanud olulise biogeenide väljakande vähenemise Eesti põllumajanduslikest valglatest [Mander, Järvet, 1998; Mander jt, 1998, 2000a]. See olukord soodustab mahepõllumajanduse arendamist Eestis, mis juba iseenesest toetab bioloogilist ja maastikulist mitmekesisust [Mander jt, 1999]. Toitainete väljakande, vee äravoolurežiimi, maakasutuse struktuuri ja väetamisrežiimi pikaajaliste muutuste (1987–2000) uuringute baasil Porijõe valglas on koostatud valgla aineringe mudel, mis väiksemate põllumajanduslike alavalglate puhul kirjeldab 95–99% lämmastiku ja 69–93% fosfori väljakande

varieeruvusest [Mander jt, 2000]. Mudel on edukalt rakendatav analoogilistes mosaiikse maakasutusega valglates.

Valglate aineringe mõjutamise ökotehnoloogilistest abinõudest on enim uuritud veekoguäärsete kaitseribade ja -vööndite mõju lämmastiku ja fosfori väljakandele. Põllumajandusliku valga aineringe seisukohalt on oluline, milline peaks olema puhverala (veekogude puhvervööndi või looduslähedase reoveepuhastussüsteemi) kui polüfunktsionaalse põllumajandusmaastiku elemendi struktuur, tagamaks võimalikult suurt puhverduse efektiivsust. Konkreetsete maastikutingimuste alusel on koostatud mudel, mis määrab puhverkoosluste laiuse ja paigutuse sõltuvalt ala reljeefist, mullastikust ja hüdrogeoloogilistest tingimustest [Mander jt, 1997b].

Detailsem analüüs lisab aga puhverkoosluste dimensioneerimisel mitmeid puhastusmehhanismidega seotud parameetreid. Nii näiteks on olulisemateks protsessideks, mis käesoleva töödetsükli uurimisaladel reguleerivad lämmastiku ainevoogusid, järgmised:

- sidumine taimedes (biomassis ja produktsioonis),
- akumulatsioon mulla orgaanikas,
- denitrifikatsioon.

Fosfori puhul on nendeks:

- absorptsioon mullas,
- sidumine taimedes,
- akumulatsioon mulla orgaanikas,
- mikroobne immobiliseerumine.

Kõiki neid olulisi ainevoogusid on ka õnnestunud erinevaid meetodikaid kasutades mõõta [Mander jt, 1997c]. Erinevates ökosüsteemides on nende protsesside osatähtsus erinev, mis mõjutab oluliselt biogeenide puhverdamise efektiivsust.

Ekspimentaalsed andmed kinnitasid seost, et nii lämmastiku kui fosfori puhul on puhverkoosluses biogeenide sisendkoormuse (g m^{-2} päevas) ja puhverdusintensiivsuse (g m^{-2} päevas) logaritmide vahel lineaarsele lähedane seos. Uudseks tulemuseks oli, et suhteline puhverdusefektiivsus (puhastus-efektiivsuse ja reostuskoormuse suhe, %) vähenes reostuskoormuse kasvades ning varieerus oluliselt püsiva reostuskoormuse juures [Mander jt, 1997b].

Uute konkreetsete lahenduste otsimisel osutusid väga perspektiivseteks puhverkooslusteks hall-lepikud. Nendele on kuni käesoleva tööni pööratud vähe tähelepanu, kuna leppade juuremügarates õhulämmastiku sümbionitse sidumise tõttu vaadeldi leppi potentsiaalsete lämmastikureostajatena. Meie uurimus näitas, et isegi suurenenud reostuskoormuse korral toimivad hall-lepikud efektiivsete puhvritena, eriti fosfori ja lämmastiku sidumisel. Lepikute hea puhverdusefekt on tingitud nii kõrgeist produktiivsusest kui 2–3 korda kõrgemast lämmastiku- ja fosforisisaldusest võrreldes teiste puuliikidega. Samuti loovad lepikud soodsa mullakeskkonna biogeene immobiliseerivatele mikroobikooslustele. Puhverdusvõime langeb üle 20-aastastes hall-lepikutes produktsiooni vähenemise tõttu, seepärast on soovitatav kaldaäärsete lepikute järk-järguline raie ja noorendamine. Efektiivseimad on mosaiiksed puhvervööndid, kus rohttaimekooslustele järgnevad kaldaäärsed lepikud. Koostati biogeenide transformatsiooni dünaamiline mudel mosaiikse puhverkoosluse

jaoks [Mander jt, 1999a]. Selle verifitseerimiseks kasutati varasemate detailuuringute tulemusi [Mander jt, 1997c; Mander, Järvet, 1998].

Arvestades uurimisgrupi omandatud kogemusi pakuti välja maastikstruktuuri parandamise ja puhvertssoonide rajamise põhimõtted. Töö kinnitati Keskkonnaministeeriumi poolt projekteerimisjuhendina "Metoodiline juhend maastiku-ökoloogiliste ja veekaitseõuete täitmiseks maaparandussüsteemide ehitamisel ja korrashoiul" ministri määrusega nr. 64, 24.12.1996 (Riigi Teataja lisa nr 14, 1997).

Erinevate looduslähedaste reoveepuhastussüsteemide efektiivsuse pikaajalisel analüüsil Eestis selgus, et ka külmal aastaajal on puhverduvõime kõrgel tasemel [Mander jt, 2000b]. Need tulemused on oluliseks vastuargumendiks seisukohale, et looduslähedaste reoveepuhastite kasutamine põhjapoolsetel aladel on külmal aastaajal väheefektiivne. Erinevate tehismärgalade efektiivsuse analüüsi ning nende võrdluse alusel on leitud nn hübriidsete süsteemide (vertikaalse ja horisontaalse vooluga pinnasfiltrid kombineerituna vabaveeliste süsteemidega) optimaalsed soovituslikud parameetrid. Konkursile esitatud tööde autorite osalusel on Eestis projekteeritud ja valminud 10 erineva ehitusega looduslähedast reoveepuhastit. Tellimusi sarnaste süsteemide projekteerimiseks ja rakenduseks on laekunud praktiliselt kõigist Eesti maakondadest. Põllumajandusmaastikus ja eriti hajaasustuse tingimustes on looduslähedased heitveepuhastid ainus säästlik abinõu reostuskoormuse vähendamiseks punkt-reostusallikatest [Mander jt, 1997a, 2000b; Mander, Muring, 1997]. Nende süsteemide analoogid sobivad hästi ka hajureostusest tuleva reostuskoormuse piiramiseks [Kuusemets, Mander, 1999; Mander jt, 1997].

Kirjandus

Kuusemets, V., Mander, Ü. 1999. Ecotechnological measures to control nutrient losses from catchments. *Water Science and Technology*, 40, 10, 195-202.

Mander, Ü., Forsberg, C. (Eds.) 2000. Nonpoint pollution in agricultural watersheds of endangered coastal seas. *Ecological Engineering*, 14, 4. Special issue.

Mander, Ü., Jongman, R.H.G. (Eds.) 1998. Human Impact on Rural Landscapes in Central and Northern Europe. *Landscape and Urban Planning*, 41, 3-4. Special issue.

Mander, Ü., Jongman, R.H.G (Eds.) 2000. Consequences of Land Use Changes. *Advances in Ecological Sciences 5*. Wessex Institute of Technology Press, Southampton, Boston, 328 pp.

Mander, Ü., Jongman, R.H.G (Eds.) 2000a. Landscape Perspectives of Land Use Changes. *Advances in Ecological Sciences 6*. Wessex Institute of Technology Press, Southampton, Boston, 209 pp.

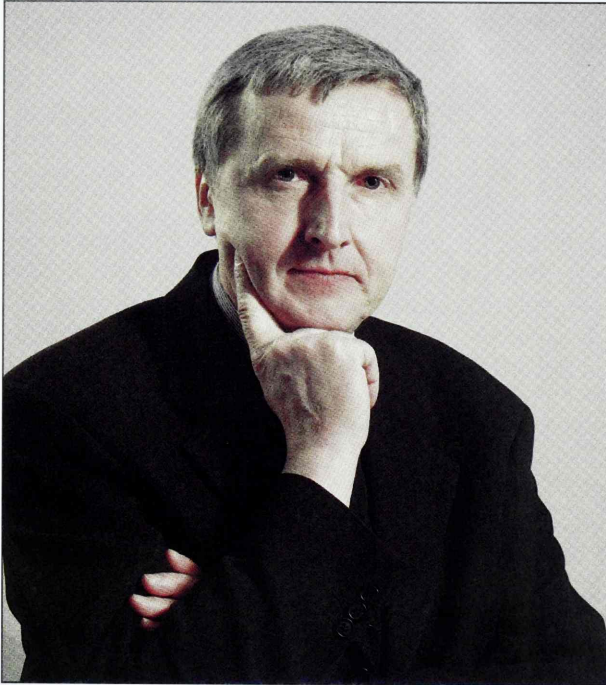
Mander, Ü., Järvet, A. 1998. Buffering role of small reservoirs in agricultural catchments. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 83, 639-646.

Mitsch, W.J., Mander, Ü. (Eds.) 1997. *Ecological Engineering in Central and Eastern Europe: Remediation of Ecosystems Damaged by Environmental Contamination*. *Ecological Engineering* 8. Special issue.

Mander, Ü., Muring, T. 1997. Constructed wetlands for wastewater treatment in Estonia. *Water Science and Technology*, 35, 323-330.

- Mander, Ü., Palang, H. 1999. Landscape changes in Estonia: reasons, processes, consequences. Krönert, R., Baudry, J., Bowler I.R., Reenberg A. (Eds.) *Land-Use Changes and Their Environmental Impact in Rural Areas in Europe*. MAB Series, Vol. 24. The Parthenon Publishing Group, Paris, pp. 165-187.
- Mander, Ü., Kuusemets, V., Järvet, A., Häberli, K., Nõges, T., Tuvikene, A., Muring, T. 1997. Ecological engineering for wastewater control in agricultural catchment areas: Three case studies from Estonia. Etner, C., Guterstam, B. (Eds.) *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. New York, CRC/Lewis, pp. 263-286.
- Mander, Ü., Matt, O., Nugin, U. 1997a. Perspectives on vegetated shoals, ponds and ditches as extensive outdoor systems of wastewater treatment in Estonia. Etner, C., B. Guterstam, B. (Eds.) *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. New York, CRC/Lewis, pp. 251-262.
- Mander, Ü., Kuusemets, V., Lõhmus, K., Muring, T. 1997b. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering*, 8, 299-324.
- Mander, Ü., Lõhmus, K., Kuusemets, V., Ivask, M. 1997c. The potential role of wet meadows and grey alder forests as buffer zones. Haycock, N.E., Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay G. (Eds.) *Buffer Zones, Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Foundation for Water Research, pp. 35-46.
- Mander, Ü., Kull, A., Tamm, V., Kuusemets, V., Karjus, R. 1998. Impact of climatic fluctuations and land use change on runoff and nutrient losses in rural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 41, 3-4, 229-238.
- Mander, Ü., Mikk, M., Külvik, M. 1999. Ecological and low intensity agriculture as contributors to landscape and biological diversity. *Landscape and Urban Planning*, 46, 1-3, 169-177.
- Mander, Ü., Oja, T., Lõhmus, K. 1999a. Nutrient transformation in riparian buffer zones: modelling approach. Usó, J.L., Brebbia, C.A. (Eds.) *Ecosystems and Sustainable Development II. Advances in Ecological Sciences*. Vol. 2. Southampton, Boston, WIT Press, 1999, pp. 3-13.
- Mander, Ü., Kull, A., Kuusemets, V. 2000. Nutrient flows and land use change in a rural catchment: a modelling approach. *Landscape Ecology*, 45, 3, 187-199.
- Mander, Ü., Kull, A., Kuusemets, V., Tamm, T. 2000a. Nutrient runoff dynamics in a rural catchment: influence of land-use change, climatic fluctuations and ecotechnological measures. *Ecological Engineering*, 14, 4, 405-417.
- Mander, Ü., Kuusemets, V., Öövel, M., Ihme, R., Sevola, P., Pieterse, A. 2000b. Experimentally constructed wetlands for wastewater treatment in Estonia. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Haz. Subst. & Environmental Eng.*, A35, 8, 1389-1401.
- Palang, H., Mander, Ü., Luud, A. 1998. Landscape diversity changes in Estonia. *Landscape and Urban Planning*, 41, 3-4, 163-170.
- Palang, H., Mander, Ü., Naveh, Z. (Eds.) 2000. *Holistic Landscape Ecology in Action*. *Landscape and Urban Planning* 50, 1-3. Special issue.

*Teaduspreemia sotsiaalteaduste alal monograafia
"Mikrogeneetiline lähenemine teadvustatud psüühikale"
ja teiste publikatsioonide eest*



*Talis
Bachmann*

Sündinud 27.01.1951 Tartus

1969 Tartu 5. Keskkool

1974 Tartu Ülikool, psühholoogia

1979 psühholoogiakandidaat, NSVL Teaduste Akadeemia Psühholoogia Instituut

1989 psühholoogiadoktor, Moskva Ülikool

1991 professor

1977–1992 Tartu Ülikool: psühholoogia osakonna õpetaja, assistent, vanemõpetaja, dotsent, psühhofüsioloogia korraline professor. 1992–1995 Tallinna Pedagoogikaülikooli rektor ja professor, kognitiivse neuroteaduse laboratooriumi algataja ja juhataja. 1996–1999 Portsmouthi Ülikooli (Suurbritannia) psühholoogiaosakonna õppejõud (sh tajulabori kuraator ja kognitiivse psühholoogia õppeprogrammi koordinaator).

Alates 1999 Õigusinstituudi filosoofiaosakonna juhataja, psühholoogia õppetooli professor, prorektor.

Eesti Psühholoogide Liidu asutajaliige, *European Society for Cognitive Psychology* (ESCOP) liige, *Association for the Scientific Study of Consciousness* (ASSC) liige, *Attention and Performance* rahvusvahelise nõuandva kogu liige.

Avaldanud 116 teaduspublikatsiooni ja üle 50 populaarteadusliku või publitsistliku artikli.

Teadmised maailmast on meile antud psüühika kaudu. Kui me tajume kütkestavat kasteipiiskadega kaetud kollast õit, pole meie ajus ei õit ega kasteipiisku (kuigi keskkond seal on küllaltki niiske). Ometi võimaldavad aju vahendatud teabetöötlusprotsessid meie vaimusilmas esile manada vastavaid subjektiivseid elamusi ja taaselustada kogemusi. Kuidas see esmapilgul müstiline nähtus toimub, kui kiiresti me saame teadlikuks objektidest ja sündmustest, kas teadvustatud tajumus tekib kaduvvääkese aja jooksul kohe "täies hiilguses" või on selles tekkes teatud formeerumisetapid, kuidas tähelepanu (valivalt häälestatud infotöötlus) tajumises osaleb, kas on olemas seadmete abil objektiivselt fikseeritavaid signatuure ühest või teisest psüühikaprotsessist – need on vaid mõned üksikud, ehkki olulised küsimused inimaju poolt vahendatud psüühilise teabetöötluse uurimismaailt.

Et asja oluliseks peetakse, sellest annab tunnistust viimastel aastatel suurenenud publikatsioonide hulk ajust ja teadvusest juhtivates üldteadusajakirjades *Nature* ja *Science*.

Milleks seda kõike teadma peaks? Lihtne oleks vastata, et lihtsalt uudishimust. Loomulikult on iseenda olemuse ja looduse ning kultuuri mehhanismide saladuste tundmaõppimine omaette väärtus. Lisaks sellele on aga inimaju selline teabetöötlussüsteem, mille paindlikkus, universaalsus ja täiuslikkus on hingematvalt tähelepanuväärsed selleks, et temast eeskuju võtta tehnilike teabetöötlussüsteemide täiustamisel ja üllitamisel. See aga on võimalik vaid juhul, kui seda süsteemi hästi tundma õpime. Pealegi kontrollitakse aju abil nii organismi tegevust kui ka ühiskondlikke protsesse, mistõttu selle kontrollija enda funktsioneerimise saladuste väljaselgitamine aitaks tõsta meditsiini, hariduselu ja ... riigielu kvaliteeti uuele tasemele.

Psüühilise teabetöötluse loendamatu küsimuste hulgas on mind huvitanud eelkõige nende protsesside karakteristikud ja olemus, mille kaudu teadvustatud tajumuse esmahetkel üldse tekib. Jutt on protsessidest, mis kestavad lühikest aega (nt 50–150 millisekundit ehk 0,05–0,15 sekundit) ja on oma algusega vaata et juba ka lõppenud. Selliste nähtuste valdkonna üldnimetuseks saame võtta *mikrogeneesi* mõiste, millega tähistame teadvustatud tajukujundi teket ja formeerumist vahetult pärast objekti või sündmust kehistavate signaalide mõju algust teabetöötlussüsteemile inimajus [Bachmann, 2000]. Mikrogeneesi objektiks võib olla näiteks mingi geomeetriline kujund, kirjepandud täherida, inimnäo pilt, stseen paljude objektidega, aga ka liikuvad objektid. Ühe ettepaneku kohaselt [Bachmann, 2000] võib selliste objektide esmast kajastamist tajus võrrelda fotokujutise ilmumisega fotopaberil pärast seda, kui negatiiviga valgustatud fotopaber on asetatud ilmutivanni. See analoogia pole mõttekas mitte lihtsalt seetõttu, et väljendab teadvustatud taju viivist ja selle tajumuse sisu eri aspektide esindamise etapiviisilisust (nt jämedakoeline ebatäpne esindus eelneb detailsele ja mõtestatud esindusele), vaid ka seetõttu, et esmalt olemasolev, aga mitte-eksplitseeritud teave (silmale nähtamatu kujutisekohane info negatiiviga valgustatud fotopaberil) saab eksplitseeritud tänu spetsiaalse toime (lisamodulatsiooni) rakendamisele eelnevalt aset leidnud töötluse tulemustele. Tulles tagasi aju ja psüühika juurde saame näidata, et eelteadvuslikult töödeldud piisavalt kõrgetasemeline informatsioon kujutise elementidest ja isegi tähenduslikest aspektidest eksplitseeritakse teadvustatud kujul spetsiaalsete modulatsioonimehhanismide toimel [Crick, 1984; Bachmann, 1984, 1997, 1999, 2000].

Selline teadvustamiseks tarvilik modulatsioonimehhanism töötab aeglasemalt kui esmane kiire objektispetsiifilise info kodeerimise protsess ning on viimasega võrreldes tugevamini sõltuv tähelepanumehhanismidest. Samuti on modulatsioonimehhanismi ruumiline lahtusvõime hoopis viletsam kui spetsiifilisel süsteemil. Asja teatud määral lihtsustades võime öelda, et modulatsioonimehhanismiks on talamuse mittespetsiifiline ergastussüsteem (eelkõige selle mittedifuusne osa) ja spetsiifilise kodeerimise teeb ära ajukoore valivald tundlike närvirakkude (s.o

tunnuseid ja nende kombinatsioone kodeerivate neuronite) süsteem, mis saab oma sisend-info esmaseid sensoorseid juhteteid pidi.

Kui toodud üldine ettekujutus vastab tõele ja kui me teame selle süsteemi töö-karakteristikuid (allsüsteemide töösseasumise viiviseid, töö intensiivsuse muutusi ajas, modulatsiooni ajalise ja ruumilise suunamise eripärasid, allsüsteemide tundlikkust erinevate eksperimentaalsete mõjude suhtes jms), siis on võimalik teha teatud ennustusi selle kohta, kuidas inimene eksperimentaalpsühholoogia (sh psühhofüüsika- ja psühhofüsioloogia-) katsetes saab hakkama talle äratundmiseks või hindamiseks esitatud lühiajaliste kujutiste tajumisega.

Kui näiteks esitada äratundmiseks nägemisnurga ühe kraadi suurusi kolmnurkaid ja ringe või ka näiteks paari kraadi suuruseid pilte erinevatest nägudest, on sellise ülesande lahendamine lihtne, kui objekt esitatakse piisava valgusintensiivsuse ja kontrastiga ning ilma kõrvaliste segavate ärritajateta. Piisab, kui selline kontrastne objekt eksponeerida näiteks pelgalt mõneks millisekundiks (ms). Spetsiifilises süsteemis tekkinud ja salvestatud sensoorse mälu jälg on piisavalt kestav selleks, et teadvust tagavad aeglasemad protsessid pildi ikkagi subjektiivselt nähtavaks teeksid. Mikrogenees on edukas, ehkki mikrogeneetilise protsessi elluviidud saades on esitatud objekt füüsilises mõttes keskkonnast ammu kadunud. Kui aga esitada äratundmiseks eksponeeritud objektile lisaks talle kiiresti järgnev teda ruumis kattev või "embav" erinev objekt, mis siis juhtub? Selgub, et tavaliselt ei näe katseisikud esimest objekti selgelt või ei näe seda üldse mitte – teadlikus tajus asendab järgnev objekt eelneva. (Seda nähtust nimetatakse retroaktiivseks maskeeringuks.) Muutes ajaintervalli esimese (test-) objekti ja teise (maskeeriva) objekti vahel saame kindlaks teha, kui kaua aega võtab objekti mikrogenees tajus. (Sõltuvalt tingimustest, ülesande keerukusest, inimese seisundist ja objektide mitmesugustest omadustest kestab see protsess 50–250 ms.) Maskeeringut on tüüpiliselt kasutatud kas selle nähtuse enda mehhanismide uurimiseks, eelteadvusliku teabetöötuse uurimiseks või katseülesande raskendamiseks, samuti stiimulobjekti segamatu töötuse aja täpseks eksperimentaalseks kontrolliks. Minu varasemates töödes püstitati aga "pöördprobleem" ja hakati maskeeringut kasutama teadvusliku taju mikrogeneesi uurimiseks [nt Bachmann, 1984, 1988, 1989, 1994]. Keskenduti mitte niivõrd sellele, mis juhtub maskeeritud objekti signaalidega, kuivõrd sellele, kuidas teadvustatud kujund tekib, sealhulgas ka maskeeriva, hiljemesitatud kujutise subjektiivne kujund. Kõrvalandena sellele kujunes PERTSEPTIIVSE RETUŠEERIMISE TEOORIA [Bachmann, 1984, 1994, 1997, 1998, 1999], mida on käsitletud ka kui ühte tänapäevastest maskeerimisteooriatest [nt Breitmeyer, Ögmen, 2000; Purushothaman jt, 2000; Eagleman, Sejnowski, 2000; Sheth jt, 2000].

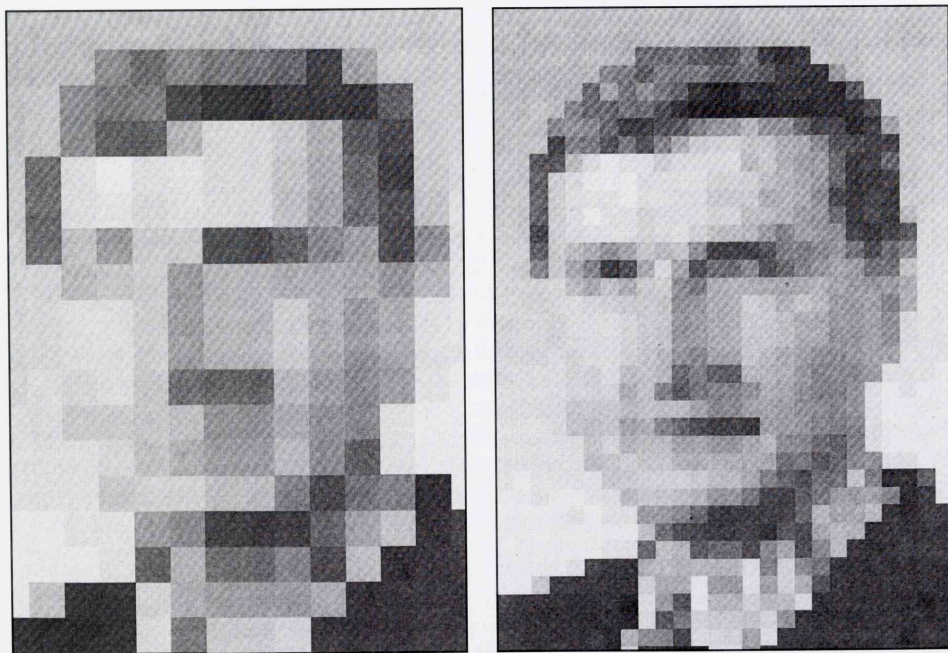
Kui enamasti tõlgendatakse maskeerimisnähtust kui testobjekti signaalide pidurdamist või väljafiltreerimist maskeeriva objekti signaalide mõjul, siis retušeerimisteoorias väidetakse, et esimesena esitatud testobjekt käivitab (1) kiire spetsiifilise kodeerimisprotsessi ja (2) aeglase, teadvustamiseks tarviliku moduleerimisprotsessi talamusest, mille toime ajukoore mehhanismidele (vt 1) ja seega ka vastava objekti teadvustamine võtab aega (mikrogeneetiline protsess on aeglane,

ehkki esmane infosisestuse protsess on kiire). Kui esimesena ja ajas sellele järgnevana esitatud objektid on lühiajalised (nt kumbki 10 ms) ja nende esitamiste vahel on väga lühikene intervall (nt 10 ms), siis luuakse kiire protsessi (1) kaudu mõlema objekti ajukoore kodeeritud esindus enne kui protsess (2) jõuab oma mittespetsiifilist mõju avaldada. Kui protsess (2) lõpuks (nt 80 ms pärast) oma ergastava moduleeriva mõju avaldab, on moduleerimisobjektiks oma signaali tugevuselt võrreldavad esimese ja teise objekti sensoorsed eelteadvuslikud jäljed ja teadvuslikku lühimällu jõuab kombineeritud pilt kahest "ühtesulanud" või "sigrimigrina" tajutavast objektist. (See, kas ja millised objektid on loetavad ja selgelt tajutavad, sõltub nende suhtelistest intensiivsustest, kontuuride eristatavusest, suhtelisest kontrastist jms.) Juhul, kui teine objekt esitatakse pisut pikema ("keskmise") ajaintervalli järel pärast esimest, juhtub teooria järgi omapärane nähtus. Hetkeks, kui esimese objekti poolt käivitatud aeglane "teadvustloov" moduleerimisprotsess ajukoore mehhanismide (1) neuronitele toimima hakkab, on esimesena esitatud objekti infot esindav ajukoore neuronite aktiivsus juba oluliselt vaibunud, kuid teisena esitatud objekti infot esindav ajukoore neuronite aktiivsus parim, sest teine objekt esitati hiljem just selle intervalli võrra, mis iseloomustab kiire protsessi (1) ja aeglase protsessi (2) viiviste erinevust selles mõttes, kui kiiresti vastav toime ajukoore jõuab. Keskmiste ajaintervallide korral on teise objekti infot kandvate neuronite signaali suhe mürrasse modulatsiooni saabumise hetkel suurem kui eelnenud objekti info vastav näitaja. Tulemuseks on, et teadvustatud lühimällu sisestub teine objekt, mis asendab esimest esmajärjekorras teadvustunud (või ainsa teadvustunud) objekti rollis. (Olgu mainitud, et hiljuti tekkis diskussioon maskeerimise kui teadvuses ühe objekti teisega asendamise – mitte aga spetsiifiliste signaalide sensoorse pidurdamise – tõlgendamise prioriteedist ja mõnedest kitsamatest erialastest küsimustest: Bachmann, 2001; Enns, DiLollo, 2001.) Pikematel ajaintervallidel aga jõuab aju mõlemat objekti mikrogeneetiliselt järjestikku nähtavaks teha.

Retušeerimisteooria pakub mõningaid ennustusi, mida teised teooriad ei paku. Näiteks esimese ja teise objekti vaheliste ajaintervallide optimaalsete väärtuste korral peaks teine objekt ilmuma teadvusse kiiremini võrreldes sellega, kui ta ilmub teadvusse tingimustel, kui eelnevat (modulatsiooni eel-ergastavat) objekti ei esitatagi ja teine objekt esitatakse üksinda. Samuti peaks optimaalse ajaintervalliga paaris-esituse tingimustes avalduma teise objekti subjektiivse kontrasti võimendus võrreldes tingimustega, kus teine objekt ilmub eraldi. Eksperimentaalne kinnitus nendele hüpoteesidele leiti [Bachmann, 1988, 1989]. Ennustus sellest, et talamuse mittespetsiifiliste modulatsioonimehhanismide kunstlik eel-ergastamine patsientide ajju istutatud mikroelektroodide abil peaks esile kutsuma esimesena esitatud objekti ebatavaliselt hea taju ja välistama "asendusefekti", leidis samuti kinnitust [Bachmann, 1994].

Paralleelselt retušeerimisteooria loomisega ja selle valguses maskeerimise uurimise ja seletamisega olen visuaalsete kujutiste mikrogeneesi uurinud ka ruumiliselt kvanditud kujutiste esitamise meetodi abil. (Selliseid kujutisi – vt joonis 1 – kohtame sageli ajalehefotodel või telepildis juhtudel, kui isiku identiteeti tahetakse õiguslikel või eetilistel kaalutlustel varjata. Tegemist on ruudus-

tatud pildiga, kus algkujutis ruutmosaigis peitu jääb. Algekujutisele asetatakse mõtteline võrkruudustik, mille ruudu suurust saame põhimõtteliselt varieerida, seejärel iga ruudu sisse jäävate kujutise piirkondade pildielementide ehk pikselite heledusväärtused liidetakse ja jagatakse pikselite arvuga, saades ruutu ühtlaselt täitva keskmise heleduse. Sisuliselt muudetakse pikselite ruumilist suurust, andes küll nendele alati ruudu kuju. Kes kasutab standardseid pilditöötlustarkvara pakette, võib oma lõbuks selliseid kujutisi vabalt tekitada eriefektide *mosaic transform* või *pixelization* abil. (Näiteks *PaintShopPro* või *Adobe PhotoDeluxe* ajavad asja ära.) Olen leidnud ekspositsioonija paradoksi: kui jämedalt kvanditud (nt 12 pikselit inimnäo horisontaalmõõdtes) piltide esitusaega suurendada kuni mõneteistkümne millisekundini, paraneb ka kujutise äratundmise tase; edasisel esitusaja suurendamisel aga äratundmistase hakkab langema, ehkki tavakujutiste puhul see monotoonselt kasvab [Bachmann, 1987, 1991a]. See tulemus toetab mikrogeneetilist ettekujutust tajuprotsessist ja viitab tähelepanu osalusele selles: kestvama esituse korral jõuab edukalt lõpule mikrogenees ka peeneteraliste kujutisetunnuste osas ja kuna kvanditud kujutise puhul on nendeks maskeeriva mosaiigi ruutude servad ja nurgad, siis globaalse jämedakoelise algkujutise info maskeerimine tugevneb. Teadvustatud kujundis domineerib mosaiik näopildi asemel, ehkki lühema esituse korral domineeris jämedakoeline näokonfiguratsioon.



Joonis 1. Ruumiliselt kvanditud ehk pikseleeritud pildid. Erinev kvantimisaste võimaldab algkujutist paremini või halvemini ära tunda.

Teine huvitav leid seisnes selles, et kui kvantimisastet erinevate katseeriade vahel süstemaatiliselt muuta (nt alustades originaalkujutistest ja liikudes edasi kujutiste kvantimisastmetele 32, 30, ..., 18, 16, 14, 12, 10, 8 pikselit kujutise horisontaalmõõtmes), siis äratundmistase pikka aega suurt ei muutu, kuid mingi kriitilise kvantimisastme väikese muutuse korral (nt 12 pikselit näo kohta → 10 pikselit näo kohta) leiab aset järsk, "katastroofiline" alanemine äratundmiskerguses [Bachmann, 1991a]. See fakt seab kahtluse alla mitmed üldlevinud visuaalsete kujutiste psühholoogilise töötamise teooriad – ebapiisavaks osutuvad lokaalsete üksikelementide loendamise, kujutise Fourier spektri osade analüüsi jmt kontseptsioonid, tuge saab aga geštaltpsühholoogiline tervikkonfiguratsiooni kirjeldamise teooria. Piisab vaid väikesest muutusest kvantimisjämeduses, kui domineeriv näo algkujutise konfiguratsioon otsustavalt muundub ja/või asendatakse tajutõlgenduses ruutmosaiigi interpretatsiooniga. (Näiteks sellise väikese tumeda näoelemendi nagu silmamust või ninasõõrme ava sattumine ühest suhteliselt suurest ruudust teise, naaberruutu, võib dramaatiliselt "ümber tõsta" ruutudevahelised heledusväärtused, moonutades sellega järsult üldkonfiguratsiooni.) Selline väike muutus ruudustatud kujutises on irrelevantne või ebaoluline elementaartunnuste väljaeristamise ja Fourier analüüsi tulemuste seisukohalt.

Sel perioodil arendati ka mikrogeneetilist lähenemist tutvustavat tegevust [Bachmann, 1991b] ja saadi originaaltulemused Stroop'i efekti esinemisest maletajate kujutluses [Bachmann, Oit, 1992].

Käesolevasse kogumikku jõudmise aluseks olevate tööde tsükkel keerleb ikka mikrogeneetilise lähenemise ümber [Bachmann, 2000] ning on eelnevate tööde eksperimentaalseks ja teoreetiliseks edasiarenduseks. Mitmetes töedes on näidatud, kuidas mikrogeneetiline paradigma ning sealhulgas pertseptiivse retušeerimise teooria kui mikrogeneesi neuroteaduslik tõlgendus aitavad ühise nimetaja alla viia suure hulga esmapilgul erinevaid taju ja tähelepanu fenomene, mida on uuritud üksteisest enam või vähem lahus [Bachmann, 1997, 1998a,b, 1999]. Nii näiteks alluvad kiire spetsiifilise kodeerimise mehhanismide ja aeglase mittespetsiifilise moduleerimise (s.o psühholoogilise retušeerimise ja neurofüsioloogilise "retušeerimise") mehhanismide vastastikuse toime alusel interpreteerimisele ja seletamisele sellised fenomenid nagu eelkirjeldatud maskeerimine, metakontrast, ruumitähelepanu eelfokuseerimine eelosundajate abil (nt 100 millisekundit enne lühiajalise testobjekti esitamist mingist ruumi piirkonnast esitatud eelosundaja parandab testobjekti tajumise kiirust ja täpsust võrreldes tingimustega, kus testobjekt esitatakse üksinda ilma eelosundajata), mõned näiva liikumise fenomenid, *flash-lag* efekt (vt edasi), jmt – kokku vähemalt kaksteist fenomeni ja efekti.

Koos magistrant Neeme Kahuskiga [Bachmann, Kahusk, 1997] näitasime, et erinevalt tavalistest kujutistest võib eelosundaja kasutamine ruumitähelepanu katses kvanditud kujutise identifitseerimist hoopis halvendada. See toimub juhul, kui kvantimine on läbi viidud jämedal astmel. Tõlgendus lubab oletada, et modulatsioonimehhanismile tuginev retušeerimisprotsess toob kujutise tunnuseid teadvustatud tasemele järk-järgult, alates jämedakoelisemast ning et selline protsess võib käivituda ka "tühiprotsessina", kus etapiviisiliselt ei töödelda mitte

üksnes kujutise enda infot, vaid etapiviisiliselt lülitatakse sisse tähelepanufiltrid, mis järk-järgult häälestuvad kujutise üha peenemakoelisema ruumiinfo esindamisele teadvustatud tajus. (Selles töös kinnitati taas algkujutise identifitseerimise seisukohalt "katastroofilise" piirkonna olemasolu kujutiste kvantimise sammus.) Koostöös briti kolleegidega demonstreerisime McGurk'i efekti [McGurk, MacDonald, 1976] suurt tolerantsi nähtava kujutise jämedakoelise ruumilise kvantimise suhtes [MacDonald jt, 2000]. Selle efekti puhul tekib lausungite tajumise illusoorne mulje juhul, kui silpi esitav audiorida (nt kuuldav silp "ba-ba") on kokku monteeritud kuuldavast silbist erinevat lausungit (nt "da-da") ütleva modelli videoreaga. Illusiooniks on nt "ga-ga". Eraldiesitatuna, sh kui silmad lihtsalt kinni katta ja videot mitte vaadata, on audiorida "ba-ba" selgesti kuuldav; sellest erinev viseem videoreas põhjustab illusoorse kuulumistaju. Ootamatult ilmnes, et illusioon säilib ka siis, kui rääkiv nägu videolindistuses on ruumiliselt jämedakoeliselt kvantitud. Tulemus viitab intermodaalset taju vahendavate mehhanismide toetumisele peamiselt jämedakoelisele nägemisinformatsioonile rääkivast inimesest.

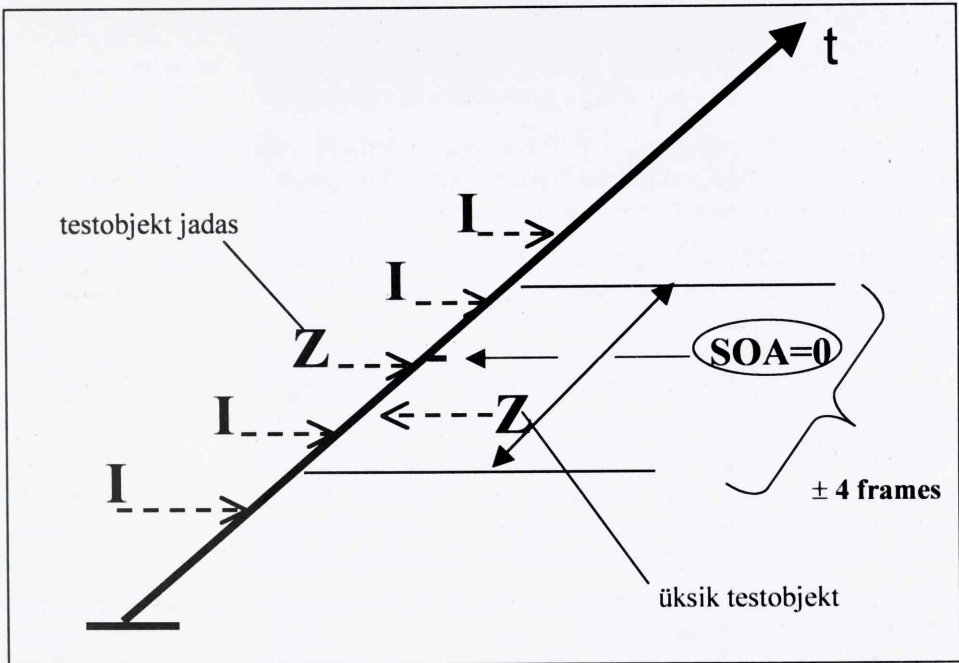
Kui eelnevalt leitud [Bachmann, 1994] ebatavalised maskeerimisfunktsioonid Parkinsoni tõbe põdevatel ning talamuse mikroelektroodstimulatsiooni saanud patsientidel olid tõlgendatavad nii parkinsonismi kui sellise või siis kunstliku elektrostimulatsiooni tagajärgedena, siis hilisemas töös [Bachmann jt, 1998] kontrollisime, kas Parkinsoni tõi ilma elektrostimulatsioonita võiks samuti põhjustada ebatavalisi maskeerimisfunktsioone. Viisime läbi võrdleva maskeerimiskatse Parkinsoni tõbe põdevate, kuid invasiivset ja tugevat medikamentoosset ravi mitte saanud patsientide grupiga ja tervetest isikutest kontrollgrupiga. Selgus, et mõlema grupi katseisikutel ilmneb tüüpiline vastastikuse maskeerimise funktsioon, kus keskmistel ajaintervallidel eelneva ja järgneva objekti vahel hakkab tajus domineerima järgnev objekt. (Kvantitatiivselt leiti parkinsonihaigetel tajukiiruse aeglustumine.) Järelikult pidi varemleitud esimese objekti taju ebatavaline efektiivsus tulenema talaamilisest elektrostimulatsioonist, mis kaudselt toetab retuseerimisteooriat.

Selle teooria toel interpreteerisime ka uudses modifikatsioonis läbi viidud eelosundamiskatse tulemusi [Bachmann jt, 1999]. Nagu mainitud, paraneb testobjekti nägemisteabe töötlus märgatavalt, kui testobjekti tulevasel asukohal esitatakse eelnev osundaja, mis suunab ruumitähelepanu õigesse piirkonda juba enne testi ilmumist. (Et selline protsess võtab umbes 100 ms aega, ei jõua silmaliigutused objekti asukohta parima nägemise piirkonnaga kohakuti viia ja seega on tegemist seesmise, "vaimusilmas" asukohta vahetava tähelepanukeskmega.) Modifikatsiooni uudsus seisnes selles, et kui tavaliselt ruumitähelepanu katsetes kasutatud eelosundaja ainus otstarve on osundada vajalikule ruumpiirkonnale, siis meie töös tuli osundaja (erinev täht) ka ära tunda. Vaatamata osundaja töötluskoormuse suurendamisele leidis ikkagi aset spontaanne töötlusressursside eelissuunamine ajas järgnevale objektile ja tähelepanuline võimendus. Keeruliseks teeb tõlgenduse aga asjaolu, et katsetingimustes, kus lisaks testobjektile esitati testiga üheaegselt ka eemalasuvad konkureerivad objektid, mida ära tunda polnud tarvis, testi äratundmine halvenes ka ebatavaliselt pikkade ajaintervallide puhul eelosundaja ja

testobjekti vahel. Kuigi ruumitähelepanu fokuseerub eelneva objekti mõjul järgnevale objektile isegi siis, kui eelnevat objekti tuleb põhjalikult töödelda, on selline tähelepanu kese avatud distraktorite pidurdavale mõjule ka ajaintervallidel, mis ületavad tüüpilisi ruumitähelepanu keskendumiseks tarvis minevaid intervalle (nt 200 ms tüüpilise 100–150 asemel).

Spetsiifiliste kodeerimisprotsesside mittespetsiifilise moduleerimise mehhanismile tuginev mikrogeneetiline teooria, mis annab ühise tõlgenduse erinevate katseparadigmade raames saadud tulemustele ja leitud tajufenomenidele, leidis oma koha ka koos saksa kolleegidega toimetatud kogumikus, mis ilmus teaduslikus psühholoogias päris hästi tuntud seerias *Advances in Psychology* [Aschersleben jt, 1999]. Seal tutvustasin ka seda, kuidas retušeerimisteooria aitab seletada viimasel ajal väga suurt tähelepanu tekitanud *flash-lag* efekti [nt Nijhawan, 1994; Sheth jt, 2000]. Tegemist on omapärase tajuillusiooniga. Kujutame ette, et mingis kindlas suunas liigub ühtlase kiirusega mingi objekt (nt ketas või sirglõik). Selle objekti liikumistrajektoori mingis punktis sähvatab lühiajaliselt teine objekt, mis on pidevalt liikuva objekti kõrval. Ehkki füüsilises ruumis on objektid sähvatuse hetkel kohakuti, näib vaatlejale, et sähvatav objekt jääb pidevalt liikuvast objektist maha (siit ka nimetus *flash-lag*).

Üheks seletuseks on, et liikuva objekti signaalide töötlus närvisüsteemis on kiirem ja seega paigalolev statsionaarne objekt jõuab teadvusse aeglasemalt, mis põhjustabki tema ruumis ja ajas mahajäämise mulje. Ometi pole see seletus tugev, sest näitasime, et efekt tekib ka siis, kui sähvatav objekt esitada liikuvana apertuuris, kusjuures sähvatava objekti liikumissuund ja kiirus (ning kontrast) olid samad kui pidevalt liikuvale objektile [Bachmann, Kalev, 1997]. Et efekt tekib ka muude tunnuste sujuval muutumisel, so mitte üksnes ruumis ümberpaiknemisel [Sheth jt, 2000], võib seda seletada teatud üldisema ekstrapolatsioonimehhanismi tööga. Ometi pole ka see seletus piisav, sest nagu näitasime doktorant Endel Pöderiga oma äsjases töös [Bachmann, Pöder, 2001], tekib *flash-lag* efekt ka siis, kui pidevalt akumulatsioon objektile signaalid ei liigu ega muuda oma sensoorseid tunnuseid. Joonisel 2 on esitatud katseseadistuse skeem. Ühel pool pilgu fiksaatsiooni punkti ilmub jada algustähtedest I, mis ei muuda oma asukohta. Ajahetke mõttes ennustamatult ilmub I-de hulgas testobjekt Z. Jada sees ilmuv Z-i suhtes pisut ajas ette- või tahapoole nihutatuna ilmub teisel pool fiksaatsioonipunkti teine Z. Kõik üksikobjektid esitatakse vaid 34 millisekundiks. (Ometi on Z I-de hulgas hästi eristatav.) Katseisikute ülesandeks on otsustada, kumb Z, kas jadas esitatu, või eraldi esitatu, ilmus teadvusse enne. Selgub, et vaatamata liikumise puudumisele ja jadaelementide muude tunnuste (nt värvuse) sujuva muutuse puudumisele tajutakse jadas esitatud testobjekti ikkagi varem kui eraldi esitatud objekti. Huvitavaim tulemus selles uurimuses seisnes selles, et jadas esitatud testelemendi teadvustamise kiirus kasvab sedavõrd, kuivõrd palju jada algusest hiljem see testelement on esitatud. Maksimumkiirus saavutatakse umbes 120–140 ms järel, millest edasi kiirus ei kasva. Teisisõnu – teadvustatud taju teeb läbi kiirenduse vahetult pärast sündmuse kohta esitatavate signaalide esmailumist ning kiirus stabiliseerub mingiks hetkeks.



Joonis 2. Katseseadistuse skeem *flash-lag* efekti uurimiseks stiimulobjekti liikumatuse ja jada tunnuste muutumatuse tingimustes.

Tulemuste seletamine retušeerimisteooria abil pole keeruline. Eeldame, et ajas eelnevalt esitatud signaalid kiirendavad järgnevate töötlust tänu modulaatsiooni-mehhanismi eelkäivitamisele. Eraldi esitatud või jada alguses esitatud objekti puhul pole eel-ergastust, mistõttu teadvustamise viivis on aeglasem.

Resümeerides eeltoodud märgin, et siin refereeritud tööde märksõnadeks on taju ja tähelepanu ajalis-ruumilised omadused, mikrogenees ning teadvuse mehhanismide mikrostruktuur. Füüsiliste nähtuste puhul on ikka ja jälle leitud üllatavat ja intrigeerivat ajalis-ruumiliste nähtuste uurimisel. Näiteks kasvõi hiljem teele saadetud "valguskuuli" järelejõudmine varem teele saadetud valguslainetele (superluminaalne kiirus!) [Saari, 1998]. Vahel leidub ajalis-ruumiliste protsesside vallas üllatusi psühholoogiaski. Loodan, et siinrefereeritud uurimused aitavad seda tõdemust kinnitada. Vaevalt, et füüsilistes leviprotsessides või teadvust vahendavates närvisüsteemi protsessides leiduks selliseid müstilisi asju, kus ainelised objektid "liiga" kiiresti levivad. Ehk suudab seda aga teha informatsioon. Informatsioonilevi ja -töötuse uurimused on vist olulised, olgu see siis optiliste impulsside levikeskkonnale või arvutitehnoloogiale rakendatuna, või siis hoopis inimpsüühikat kompavana. Kastepiiskadega kaetud kollase õie ilmumine ajuku-

dedesse on nonsens. Nonsens pole selle õie ilmumine nendesamade kudede vahendatud teadvuskujundisse. Kuidas see toimub?

Kirjandus

Aschersleben, G., Bachmann, T., Müsseler, J. (Eds.) 1999. Cognitive Contributions to the Perception of Spatial and Temporal Events. Amsterdam: Elsevier/North-Holland. (Advances in Psychology; 129).

Bachmann, T. 1984. The process of perceptual retouch: Nonspecific afferent activation dynamics in explaining visual masking. *Perception and Psychophysics*, 35, 69-84.

Bachmann, T. 1987. Different trends in perceptual pattern microgenesis as a function of the spatial range of local brightness averaging. Towards an empirical method for the differentiation between global and local levels of form as related to processing in real time. *Psychological Research*, 49, 107-111.

Bachmann, T. 1988. Time course of the subjective contrast enhancement for a second stimulus in successively paired above-threshold transient forms: Perceptual retouch instead of forward masking. *Vision Research*, 28, 1255-1261.

Bachmann, T. 1989. Microgenesis as traced by the transient paired-forms paradigm. *Acta Psychologica*, 70, 3-17.

Bachmann, T. 1991a. Identification of spatially quantised tachistoscopic images of faces: How many pixels does it take to carry identity? *European Journal of Cognitive Psychology*, 3, 87-103.

Bachmann, T. 1991b. Microgenesis in visual information processing: Some experimental results. Hanlon, R.E. (Ed.) *Cognitive Microgenesis. A Neuropsychological Perspective*. Springer-Verlag: New York, pp. 240-261.

Bachmann, T. 1994. *Psychophysiology of Visual Masking: The Fine Structure of Conscious Experience*. Nova Science Publishers: Commack, NY.

Bachmann, T. 1997. Visibility of brief images: The dual-process approach. *Consciousness and Cognition*, 6, 491-518.

Bachmann, T. 1998a. Fast dynamics of visibility of brief images: The perceptual-retouch viewpoint. Hameroff, S.R., Kaszniak, A.W.; Scott, A.C. (Eds.) *Toward a Science of Consciousness II. The Second Tucson Discussions and Debates*. The MIT Press : Cambridge, MA, pp. 345-359.

Bachmann, T. 1998b. The theory of perceptual retouch in explaining the dynamics of visibility of brief visual images. Taddei-Ferretti, C., Musio, C. (Eds.) *Downward Processes in the Perception Representation Mechanisms*. World Scientific : London, pp. 23-55.

Bachmann, T. 1999. Twelve spatiotemporal phenomena, and one explanation. Aschersleben, G., Bachmann, T., Müsseler, J. (Eds.) *Cognitive Contributions to the Perception of Spatial and Temporal Events*. Elsevier : Amsterdam/North-Holland, pp. 173-206. (*Advances in Psychology*; 129).

Bachmann, T. 2000. *Microgenetic Approach to the Conscious Mind*. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins. (*Advances in Consciousness Research*; 25).

Bachmann, T. 2001. Origins of substitution. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 53-54.

Bachmann, T., Kaley, K. 1997. Adjustment of collinearity of laterally moving, vertically separated lines reveals compression of subjective distance as a function of aperture size and speed of motion. *Perception*, S26, 119-120.

Bachmann, T., Oit, M. 1992. Stroop-like interference in chess-players' imagery: An unexplored possibility to be revealed by the adapted moving spot task. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 54, 27-31.

Bachmann, T., Pöder, E. 2001. Change in feature space is not necessary for the flash-lag effect. *Vision Research*, 41, 1103-1106.

Bachmann, T., Asser, T., Sarv, M., Taba, P., Lausvee, E., Pöder, E., Kahusk, N., Reitsnik, T. 1998. Speed of elementary visual recognition operations in Parkinson's disease as measured by the mutual masking method. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20, 118-134.

Bachmann, T., Kahusk, N. 1997. The effects of coarseness of quantisation, exposure duration, and selective spatial attention on the perception of spatially quantised ("blocked") visual images. *Perception*, 26, 1181-1196.

Bachmann, T., Mäger, K., Sarv, M., Kahusk, N., Turner, J. 1999. Time course of spatial-attentional focusing in the case of high processing demand on the peripheral precue. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11, 167-198.

Breitmeyer, B.G., Ögmen, H. 2000. Recent models and findings in visual masking: A comparison, review, and update. *Perception and Psychophysics*, 62, 1572-1595.

Crick, F. 1984. Function of the thalamic reticular complex: The searchlight hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 81, 4586-4590.

Eagleman, D.M., Sejnowski, T.J. 2000. Motion integration and postdiction in visual awareness. *Science*, 287, 2036-2038.

Enns, J.T., DiLollo, V. 2001. Origins of substitution: Reply to Bachmann. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 54.

MacDonald, J., Andersen, S., Bachmann, T. 2000. Hearing by eye: how much spatial degradation can be tolerated? *Perception*, 29, 1155-1168.

McGurk, H., MacDonald, J. 1976. Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264, 746-748.

Nijhawan, R. 1994. Motion extrapolation in catching. *Nature*, 370, 256-257.

Purushothaman, G., Öğmen, H., Bedell, H.E. 2000. Gamma-range oscillations in backward-masking functions and their putative neural correlates. *Psychological Review*, 107, 556-577.

Saari, P. 1998. Valgusest kiiremad lained. *Horisont*, 1, 4-9.

Sheth, B.R., Nijhawan, R., Shimojo, S. 2000. Changing objects lead briefly flashed ones. *Nature Neuroscience*, 3, 489-495.

*Teaduspreemia humanitaarteaduste alal uurimuste eest
slavistika, tõlketooria ja semiootika valdkonnas*



*Peeter
Torop*

Sündinud 28. novembril 1950 Tallinnas

- 1969 Tartu V Keskkool
- 1974 Tartu Ülikool, vene keel ja kirjandus
- 1995 filosoofiadoktor
- 1998 semiootika korraline professor

Alates 1974. aastast Tartu Ülikool: vene kirjanduse kateedri vanemlaborant, vanemõpetaja, semiootika osakonna lektor (ühtlasi 1990–1996 Helsingi Ülikooli slaavi keelte kateedri külalislektor), dotsent, osakonna juhataja.

Lotmani Fondi asutajaliige, esimees; *International Dostojevsky Society* liige, *International Comparative Literature Association* liige; *International Association for Semiotic Studies* korraldava komitee liige; *Semiotics. A Collaborative Graduate Program. University of Toronto, Victoria College. International Board* liige; Eesti Kirjanike Liidu liige; Imatra Rahvusvahelise Semiootika Instituudi (ISI) nõukogu liige; Kirjastuse “Mouton” žürii liige.

Avaldanud üle 90 teaduspublikatsiooni.

Humanitaarsemiootika

Riigi teaduspreemia omistamine tööde eest slavistika, tõlketeooria ja semiootika alalt tähendab ühelt poolt kolme raamatu esile tõstmist. Slavistikat esindab venekeelne raamat F. Dostojevski ideoloogiast ja ajalookäsitlusest [Torop, 1997], tõlketeooriat itaaliakeelne monograafia totaaltõlkest [Torop, 2000] ja semiootikat seoses nii slavistika kui tõlketeooriaga eestikeelne artiklikogumik [Torop, 1999]. Autori jaoks on kõik need raamatud aga üht humanitaarsemiootilist mõttesuunda esindavad.

Inimese sotsiaalne ja etniline identiteet kujuneb suurel määral KULTUURIKESKKONNAS. Kultuurikeskkond on ühtlasi KEELEKESKKOND, mis tagab kultuurikandjatele kompetentsuse nii loomulike keelte kui muude semiootiliste süsteemide vallas. Samas on see MEEDIAKESKKOND, millest sõltub inimeste arusaam ümbritsevast maailmast ja isegi oma lähemast ümbrusest, sest maailmas elamine tähendab mingil viisil vahendatud maailmas elamist. Ja muidugi on kultuurikeskkond eelkõige TEKSTIKESKKOND, mille kaudu kultuur toimibki. Keelekompetentsus ei ole kultuurilise nähtusena lahutatav tekstikompetentsusest, sest tihti loovad tekstid oma keele suhtlemiseks adressaatidega ja see keel omakorda muutub kommunikatiivsest autokommunikatiivseks. On ehk üllatav, et inimese igapäevast vajadust stabiilsuse, eneseaustuse ja -usalduse järele rahuldavad kõige enam ajalehed ja raadio [Fiske, 2000: 20]. Seega on neis valdkondades keele- ja tekstikultuuril eriline tähtsus. Mõjutades inimese suhtumist iseendasse mõjutavad nad samas inimese suhtumist ka kultuuri ja ümbritsevasse maailma.

Kultuuri erinevate aspektide teadusliku uurimise vajadused ja raskused tulevad kultuuris toimivate protsesside iseloomust ja eritletavusest. Kultuurikandja ja oma ajastu lapsena omab iga tekstilooja maailmapilti, teatud hulka tajuharjumusi ja ebateadlikke väärtushinnanguid, mis implitsiitselt ka nende loodud tekstide osaks saavad. Ja kui me räägime näiteks ühe kirjaniku kunstilisest maailmast, tema teoste poeetikast, siis tuleks alustada selle mõtestamist tema isikliku maailmapildi rekonstrueerimisest ehk sotsiopsühopoeetika piiritlemisest. See tihti ebateadlik poeetika tasand toetub oma ja võõra eritlemise erinevatele viisidele ja valdkondadele, luues aluse kunstilise poeetika argumenteeritud mõistmiseks. F. Dostojevski pärandi uurimisele pühendatud raamat [Torop, 1997] püüabki näidata võimalusi kirjaniku maailmavaate ja loomingu komplementaarseks analüüsiks, kasutades selleks ka käsikirjalistes materjalides peegelduvaid loomeprotsessi kajastavaid andmeid. Piltlikult öeldes toetub kirjaniku kunstiline mõtlemine tema ajaloolisele ja ideoloogilisele mõtlemisele, kuid ei ole neile otseselt taandatav. Tegemist on keeruka tõlkemehhanismiga ja seega on valmis tekst kui terviksüsteem lahutamatu tema kujunemise protsessist.

Kui me konkreetse teksti puhul saame rääkida korraga süsteemist ja protsessist, siis veelgi enam on seda põhjust teha analüüsides teksti käibimist kultuuris. Totaaltõlge [Torop, 2000] kui mõiste on kutsutud tähistama kultuuri üldist protsessuaalsust. Totaaltõlge jaotub erinevateks protsessideks:

1. TEKSTILINE TÕLGE tähistab tavatõlget loomulikust keelest teise loomuliku keelde ja on peamiselt traditsioonilise tõlketeaduse objektiks.

2. METATEKSTILINE TÕLGE tähistab konkreetse originaali või tõlke tõlgendamist kultuuris, kultuuriga sidumist retsensioonide, ekraniseeringute, dramatiseeringute, illustreerimise, reklaamtekstide, õpikute jms vormis. Tekstid eksisteerivad kultuuris verbaalse difusioonina, mis loob tingimused lugemiseks, eel- ja ülelugemiseks. Neid metatekste ja originaale võib tarbida ja tarvitakse suvalises järjekorras ning tulemuseks on konkreetse teksti metakommunikatiivne eksisteerimine kultuuris mentaalse tervikuna, millest tekst moodustab vaid osa või puudub hoopis. On tavaline, et osa tekste eksisteerib meie mälus vaid informatsioonina teksti kohta või teksti interpretatsioonina. See on juba kirjandusteaduse ja kultuurisemiootika traditsiooniline valdkond.
3. IN- JA INTERTEKSTILINE TÕLGE tähistab tekstide põimumist tsitaatide, allusioonide, reminisentside, parafraside jms kaudu, kusjuures intertekstilise tõlke korral on võimalik tuvastada võõra teksti fragmendi sattumine teise teksti, tema allikas ja funktsioon uues tekstis. Intertekstilise tõlke puhul tuleb aga tõdeda allika leidmise võimatust või ebaolulisust ning intertekstuaalne ruum hõlmab sellisel juhul teatavat tekstikooslust mingite olemuslike või juhuslike tunnuste põhjal. Tavaliselt on selliseid probleeme uuritud ajaloolise poeetika raames, mida viimasel ajal on rikastatud kultuurisemiootikaga.
4. EKSTRATEKSTILINE TÕLGE tähistab tekstimaterjali muutumist tõlkeprotsessis, näiteks loomuliku keele muutumist audiovisuaalseks keeleks romaani ekraniseerimise puhul. Seda valdkonda on uurinud erinevate kunstiliikide teadlased, samuti semiootikud.

Kõik neli tõlkeviisi viitavad kultuurile kui totaalsele tõlkemehhanismile, kus tekstide vahel on keerukad seosed, kus retseptsiooniprotsessid on põimunud ja kus puhastest tekstidest on väga raske rääkida [Torop, 1998]. Totaaltõlke ja selle alaliikide eritlemise innovatiivne aspekt on seotud analüüsitavuse taseme tõstmisega keerukate objektide uurimise puhul. Tekstitransformatsioone on kultuuris lõputult palju ja probleemiks on nende ja kogu kultuuri analüüsi süsteemsus. Totaaltõlkeline lähenemine tagab kirjelduse metodoloogilise ühtsuse, sest kõik viidatud tõlkeliigid on kirjeldatavad universaalsest tõlkeprotsessi mudelist lähtudes. Traditsioonilise tõlketeaduse vajadused ühtse metodoloogia järele on viinud tõlke mõiste avardumiseni ja intersemiootilise tõlke muutumiseni tõlkeprotsesside olemuslikuks näiteks [Torop, 2000a].

Kultuuri ja selle sees tõlkeprotsesside kirjeldamise ühtsuse kõrval on teiseks probleemiks tekstide ontoloogia määratlemine. Tekst, tekstuaalsus, intertekstuaalsus, hüpertekstuaalsus ja muud taolised mõisted tähistavad tekstipiiride dünaamikat kultuuris [Torop, 2000b]. See dünaamika omakorda toob kaasa tekstiontoloogilise probleemi tõlkimise seisukohast. Tõlke koht kultuuris sõltub tõlketeksti piiritlemise ja originaali mõtestamise viisist ning seda seost tekstide ja nende piiride vahel kultuuris on kutsutud uurima uus distsipliin – tõlkesemiootika [Torop, 2000c].

Auhinnatud tööd peaksid empiirilisele analüüsile toetuvatena näitama, et mitmed traditsioonilised valdkonnad kultuuri eri aspektide uurimisel on saanud ja saavad edaspidigi innovatiivseid impulsse kultuurisemiootikalt kui kultuuri uurivate distsipliinide võimalikult alusteaduselt. Humanitaarsemiootika on see sfäär, milles kultuurisemiootika ja humanitaar- ning sotsiaal-

teadused on võimelised innovatiivseid interdistsiplinaarseid kooslusi moodustama.

Kirjandus

Fiske, J. 2000. Introduction to Communication Studies. London, New York: Routledge.

Torop, P. 1997. Достоевский: идеология и история. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus, 170 lk.

Torop, P. 1998. Tõlge ja/kui retseptsoon. Keel ja Kirjandus, 8, 513-520.

Torop, P. 1999. Kultuurimärgid. Tartu: Ilmamaa, 486 lk.

Torop, P. 2000. La traduzione totale. Modena: Guaraldi Logos, 449 lk.

Torop, P. 2000a. Intersemiosis and Intersemiotic Translation. S: European Journal for Semiotic Studies, 12, 1, 71-100.

Torop, P. 2000b. Kultuuri tekstuaalsus. Pärl, Ü. (toim.) Kultuuritekst ja traditsioonitekst. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus, 37-51.

Torop, P. 2000c. Towards the Semiotics of Translation. Semiotica, 128, 3/4, 597-609.

EESTI VABARIIGI TEADUSPREEMIAD

2001

TALLINN, 2001

