

EESTI VABARIIGI TEADUSPREEMIAD

2005

TALLINN, 2005

Richard VILLEMS (vastutav toimetaja)
Riigi teaduspreemiate komisjoni esimees

Helle-Liis HELP, Siiri JAKOBSON, Galina VARLAMOVA

Raamatu kujundamisel kasutati laureaatide
teaduspreemiate kätteandmisel 24.02.2006 tehtud fotosid
ja diplomi fotot

SISUKORD

EESSÕNA	5
<i>Ea Jansen</i> teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest	6
<i>Ilmar Koppel</i> teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest	22
<i>Martti Raidal</i> teaduspreemia täppisteaduste alal tööde tsükli “Kvarkide ja leptonite ühendteoorias” eest	34
<i>Maia Kivisaar</i> teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal uurimuste tsükli “Bakterigenoomi mutagenees-adaptatsioonimehhanism keskkonna stressi tingimustes” eest EVOLUTSIOON STRESSITINGIMUSTES	40
<i>Jakob Kübarsepp</i> (kollektiivi juht) <i>Ants Lõhmus, Irina Hussainova, Rünno Lõhmus</i> teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli “Mikro- ja nanotehnoloogiliste uurimismeetodite arenda- mine tööstuslike materjalide väljatöötamiseks” eest	54
<i>Jaanus Harro</i> teaduspreemia arstiteaduse alal afektide neurobioloogilise regulatsiooni alaste uurimistööde eest	74
<i>Tiiu Märss</i> teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal uurimistööde tsükli “Keskpaleosoiliste selgroogsete evolutsioon ja levik põhjapoolkera meredes ning nende praktiline väärtus geoloogias” eest ..	86
<i>Jüri Allik</i> teaduspreemia sotsiaalteaduste alal eksperimentaal-, sotsiaal- ja isiksusepsühholoogiliste uurimistööde eest	98
<i>Magnus Ilmjärv</i> teaduspreemia humanitaarteaduste alal Eesti ja teiste Balti riikide välispoliitika alaste uurimuste: monograafia “Hääletu alistumine” ja teiste publikatsioonide eest	108

EESSÕNA

Juba tavaks saanud kombe kohaselt oli Eesti Vabariigi aastapäev, sedapuhku kaheksakümne seitsmes, päevaks, mil peaminister andis laureaatidele üle vabariigi teaduspreemiad. See tseremoonia leidis aset Akadeemia saalis, koos kultuuripreemiatega üleandmisega, rõhutades sellega taas vaimuelu ühtsust.

Omadus olla uudishimulik on palju vanem inimkonnast, inimesest kui liigist. Ilmselt on võime õppida kogemusest olnud loodusliku valiku all juba sadu miljonid aastad. Tegemist on pideva protsessiga ja enkefaliseerumine – aju ennakasv – on selgesti jälgitav kõigis imetajate liinides.

Riigina oleme seadnud endile eesmärgiks jõuda oma arengus tasemeni, mis võimaldaks meil, ja vahest esmajoones teistel, pidada Eestit teadmistepõhiseks ühiskonnaks. Ei ole lihtne anda lühimääratlust neile kahele liitsõnale, kuid samas pole siin tegemist ka pelga loosungiga, vaid üha selgemini tunnetatava imperatiiviga: kõik teised teed viivad ummikusse. Koos sealttulenevaga.

Teadus on teadmistepõhise ühiskonna nurgakiviks, kuid paraku kaugeltki mitte ainsaks vajalikuks tingimuseks. Maailmas on palju kõrge renomeega preemiad, mida jagatakse teadlastele. Mitmeil neist on enam kui sajandipikkune ajalugu. Meie teaduspreemiad on riigi kõrgeimaks hinnanguks Eesti teadlastele ja sellisena sätestatud seaduses. Tänavu, nagu ka mitmel eelmisel aastal, andis valitsus välja kaht liiki teaduspreemiad. Esiteks kauaaegse eduka teadustöö eest, mida me kutsume lugupidamisega “elutöö preemiateks”. Neid anti välja kaks: dr Ea Jansenile ja akadeemik Ilmar Koppelile. Teiseks anti välja rida preemiad viimase nelja aasta teadustulemuste eest, mis esmajoones osutavad meie teaduse praegusele tulemuslikkusele ning seda tulemuslikkust kandvatele teadlastele.

Teaduspreemiatega ettepanekute otsustamine on kõike muud kui lihtne, nõudes komisjoni liikmeilt pädevat sisulist eeltööd ning põhjalikke arutlusi istungil. Kuid selle aasta preemiatega otsustamise protsessile oli iseloomulikuks, et kõik otsused langetusid tegelikult juba esimeses hääletusvoorus. Seetõttu tahaks veelkord tänada komisjoni liikmeid ammendava sügavuse ja veenvusega tehtud kodutöö eest. Seda enam, et paljud neist saavutustest, mis sel aastal ei jõudnud preemiani, olid samuti silmapaistvad.

Allpool räägivad laureaadid oma tööst ise. Ja see on väga huvitav, sest neis tekstides põimub range teaduslikkus ning isikupära. Tutvuge – te ei kahetse.

Richard Villem
komisjoni esimees

Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest



Ea Jansen

14.11.1921 – 20.04.2005

- 1941 Inglise Kolledž
- 1949 Tartu Ülikool, ajalugu
- 1954 ajalookandidaat, Tartu Ülikool
- 1968 ajaloodoktor, Tartu Ülikool
- 1987 teeneline teadlane
- 1996 koos kaasautoriga preemia parima ajalooraamatu eest
- 2002 Valgetähe IV klassi teenetemärk

Alates 1949. a kuni pensionile jäämiseni 1998. a Ajaloo Instituudis: nooremteadur, aspirant, vanemteadur, direktori asetäitja teadusalal, kultuuriajaloo osakonna ja sektori juhataja, juhtivteadur ja vanemteadur.

Avaldanud 215 teaduspublikatsiooni.

Mul ei olnud noorena eesmärki saada ajaloolaseks, liiati veel ajaloo-uurijaks. Kuulasin lapsena küll meelsasti kunstnikust isa jutustusi vanast Mesopotaamiast, Egiptusest, Kreekast ja Roomast ning varakult hakkasid mind võluma ajaloolised romaanid. Kuid pigem tahtsin saada luuletajaks või lihtsalt “haritud inimeseks”. Kui jõudsin 1942. aastal Tartu ülikooli, oli juba sõja-aeg ja suuskooli ning meie kõigi saatus segane. Valisin õppeaineteks mu keskkoolilõpu-aegade anglofiilia kohaselt inglise keele, aga ka ajaloo. Kuulasime süsteemitult ja juhuslikult tollal veel Tartus tegutsevate suurkujude – Gustav Suitsu, Ants Orase, August Annisti, Pärtel Haliste jt loenguid. Oma esimese proseminaritöö ajaloo tegin Evald Blumfeldile ja selle teemaks oli “Isik ja saatus Macchiavelli maailmavaates”. Kui tuli nõukogude aeg, valisin ajaloo, sest Tartus oli alles vähemasti selline õpetlane nagu Peeter Tarvel. Kuid ta arreteeriti juba 1945. aasta kevadel. Sõjajärgsed aastad Tartu ülikoolis pakkusid teadagi vähe, maailmakirjanduse ja teoreetiliste küsimuste juurde meid loomulikult ei juhutatud, küll aga pidime täht-tähelt meelde jätma NLKP ajaloo ning marksismileninismi stalinliku versiooni. Siiski leidis erudeeritud õppejõude, nagu Julius Madisson ja Rudolf Kenkmaa, viimase ja Richard Kleisi juhendatud seminaritööde kaudu sain aimu teadusliku töö reeglitest. Mäletan Rudolf Kenkmaale tehtud seminaritööd väga proosalisel teemal – Tallinna voorimeestest 19. sajandi teisel poolel, mille kaudu sain aga tulusaid kogemusi allikmaterjali kasutamiseks. Luuletused ülikooli luulevõistlustel tõid mulle mõningaid auhindu ja kui ka ajaloo alal kuulutati välja üliõpilaste auhinnatööd, proovisin õnne. Ajaloolase Leida Loone soovitusel kirjutasin oma esimese, pisukese ja viletsa auhinnatöö Carl Robert Jakobsoni ajalehest Sakala ja sain esimese preemia. Ei teadnud veel, et Sakalast saabki mu saatus. Veel kirjutasin auhinnatöö üliõpilaste revolutsioonilisest liikumisest Tartus 1905. aastal, ka seda tunnustati. Ja vist selle kõige tõttu kutsus ülikooli lõpetamisel 1949. aastal tollane Akadeemia Ajaloo Instiuidi sektorijuhataja Artur Vassar mind tööle sellesse asutusse. Sinna ma jäingi.

Õnnekombel jäi eesti ajaloolastele ka stalinismi kõrgajal võimalus uurida edasi teemat, mis oli sõja eel eesti professionaalses ajaloo teaduses keskseid – 19. sajandi teise poole rahvuslikku liikumist. Muidugi olid uurimistööle seatud kindlad dogmaatilised piirid. Võttes eeskujuna austromarksistidest, olid ka Lenin ja Stalin oma 20. sajandi algusest pärinevaid kirjutustes tunnistanud Euroopa 19. sajandi rahvuslike liikumiste progressiivsust. Gustav Naan, kes 1940. aastate lõpul – 1950. algul tegi läbi metamorfoosi astronoomist eesti ajaloo teaduse halliks kardinaliks, kritiseeris teravalt “eesti kodanliku natsionalismi reaktsioonilist olemust”, arvas aga selle eelkäijate seast välja Carl Robert Jakobsoni kui talurahvaliku demokraadi ja hindas kogu 1860.–80. aastate rahvuslikku liikumist talupoegliku, mitte “kitsalt kodanliku” liikumisena. Eesti rahvuskultuuri progressiivsesse pärandiosasse arvati väheste armu leidnud tegelaste seas ka Friedrich Robert Faehlmann ja Friedrich Reinhold Kreutzwald. Ja kui ka minu ankeedile tehti Ajaloo Instituudi revideerimise päeval 1950. aastal nii mõnigi etteheide (näiteks et mu ema oli sotsiaaldemokraat), jäeti mind siiski Ajaloo Instituuti tööle ja võeti Gustav Naani soosimisel 1952. aastal isegi aspirantuuri. Kandidaaditöö teemaks oli “Fr. R. Kreutzwaldi ühiskondlik-poliitilised ja filosoofilised vaated”, mida kaitsesin aastal 1954. Mu töö ei sisalda koletislikke moonutusi, nagu sellise aja puhul võib ehk kahtlustada – Kreutzwald oli deist ja nii ma ütlen, jne. Aga kokkuvõttes oli mu kandidaaditöö vaid lihtsustatud ja dogmatiseeritud skeem, milles domineeris Kreutzwaldi kui “valgustaja-demokraadi” ülistamine. Uurisin üsna hoolsalt Kreutzwaldi teoseid, tema kirjavahetust ja muud kirjandust ning dokumentatsiooni, kuid ei osanud neid interpreteerida, ja ega oleks mingi süvaanalüüs “läbi läinudki”.

Kuid oluline oli see, et rahvusliku liikumise ja rahvuskultuuri uurimise võimalus jäi Eestis alles. Hruštševi sula ajal uuringute mänguväli mõneti laienes, “progressiivse” ja “reaktsioonilise” kramplik piir, mis uurimist ohjeldas, mitmeti laienes ja, ehkki ajaloo otsiti endiselt vene ja eesti rahva iidset sõprust ning vene progressiivse kultuuri valdavaid mõjutusi, ei pruukinud ideeliste stampide teostus enam olla endiselt täht-täheline. Mina võisin uurima hakata Carl Robert Jakobsoni. Samal ajal tehti aga mulle ülesandeks koostada tollal teoksil oleva Eesti NSV ajaloo teise köite jaoks rahvuslikku liikumist ja kultuuri käsitlevad peatükid, mis oli mitmes mõttes raske ja keeruline ülesanne. Esiteks polnud mul veel küllaldaselt teadmisi ja kogemusi, teisalt olid ideoloogilised piirid ühe nõukoguliku üldkäsitluse koostamisel ka sula ajal väga kitsad, poliitiliselt kompetentsed seltsimehed toimetuse kolleegiumis ja kõrgemates instantsides kontrollisid iga lauset. Aina nõuti selget klassipositsiooni ja Eesti sõjajärgse ajaloo teaduse saavutuste “ümberhindamist”. Kurioosum oli, et just teise köite koostamise ajal tuli vangistusest tagasi senine suurim rahvusliku liikumise uurija Hans Kruus ja “ümberhindamine” toimus tema enda valvsa pilgu all. Ta pidi seda aga kaasa tegema. Mäletan, et ta heitis mu peatükki-dele ärkamisajast ette: tema, Kruusi, töödes on kõik olemas, te ei oska seda ainult kasutada. “Kõike” muidugi ei olnud siiski ka Kruusi – tõepoolest põh-

japanevates – uurimustes. Enamiku ENSV ajaloo teise kõite autorite püüe oli esitada mitte üksnes nõukogulikke fraase, vaid võimalikult palju faktilist materjali majanduse ja kultuurielu kohta. Ent toimetamiste käigus viidi “klassipositsioon” äärmusteni.

Asudes siis selle tüütu töö kõrval uurima Carl Robert Jakobsoni, kujunes peagi mu huvialaks mitte tema – kuitahes karismaatiline – isiksus, vaid tema seos rahvaga ja sotsiaalne mõju, eriti ajalehe Sakala kaudu. Hans Kruusi suurele rahvuslikule üritusele pühendatud monograafia “Eesti Aleksandrikool” inspireeris uurima, nagu selles raamatus oli emakeelse kooli rajajate näitel tehtud, eesti rahvuslikust liikumisest osavõtjaid, seda päris konkreetset ja nimeliselt. Ametliku keelepruugi kohaselt oli mu ülesanne uurida rahvusliku liikumise klassibaasi.

Tahaks siinkohal koos oma töö esimeste radadega meenutada häid kolleege, kelle uurijakogemus ja mõtteerksus andis palju abi. Erudiit Mart Lepik Tartu Kirjandusmuuseumis – siin oli ju mu põhiline andmebaas – püüdis mulle õpetada tõelist austust faktide vastu ja argumenteerimiseoskust. Tema rakendas mind mõnevõrra tööle ka Kreutzwaldi kirjavahetuse väljaandmisel ja tema õpetuste kohaselt kirjutasin ühe artikli noore Kreutzwaldi kujunemisloost. Ideed uurida konkreetset “rahvast ennast” toetas Artur Vassar, ta oli meie, Ajaloo Instituudi nooremate, tööde objektiivne kriitik, kes diskreetselt juhtis tähelepanu loogikavigadele ja interpretatsioonipuudustele, hoolitsedes samas nõuetekohase klassipositsiooni eest meie töödes. Hea koostöö kujunes mul väljasaatmiselt naasnud kultuuriloolase Rudolf Põldmäega, kes hakkas kohe taas hoogsalt uurima 19. sajandi teise poole kultuurielu, sealjuures Carl Robert Jakobsoni. Ja Hans Kruus ise, kes algul loomulikult vaatas nõukogulikust ülikoolist tulnud “ümberhindajale” veidi viltu, ütles lõpuks: Jah, Jansen võib (suudab?) küll Jakobsoni uurida.

Soovile valgustada lähemalt Jakobsoni Sakala ja rahva vahekorda tuli kasuks õnnelik juhus. Nimelt asutati 1940. aastate lõpul Väandrasse C. R. Jakobsoni tallu Kurgjale tema talumuuseum, mis esialgu muidugi kaunisti kiratses. Kord 1950. aastate algul läksin sinna Jakobsoni materjale uurima ja koos muuseumi tollase direktori August Mikuga leidsime Jakobsoni hiljutisurnud tütre Ida magamistoast suured kartulikotid kirjadega. Ei unusta elamust, kui panin käe ühte kotti ja tõmbasin välja Jakob Hurda kirja Jakobsonile. Selgus, et tegu oli Sakala toimetuse postiga – lugematute kirjadega Jakobsoni ajalehele enamasti nn lihtsatelt inimestelt mitmesugustest kihtidest. Need olid ehedad, vahetud eneseavaldused, milles peegeldusid rahva mured ja tõekspidamised. Nende esmakordsel lugemisel Väandra metsade keskel Jakobsoni majas tulid mul lausa pisarad silma. Ajalehtede arhiivid meil enamasti säilinud pole, selletaolisi otse rahva enda arvamusel kajastavat materjali pole üldse kuigi palju. Nüüd avanes unikaalne võimalus uurida ühe ajalehe kaastöölisi ja nende vaateid-soove, osalt ka seda, mida Jakobson avaldas, mida ei, kuidas ta materjali toimetas,

jne. Et Sakala ilmus Jakobsoni toimetusel teatavalt vaid 1878. aasta kevadest 1882. aasta alguseni, oli selle ajalehe ja tema arhiivi täpne üksikasjaline läbitöötamine nii-öelda inimvõimete piirides. Muidugi leidub andmeid Sakala tuntumate kaastööliste ja lehe retseptiooni kohta ka muudes allikates.

Konkreetne materjal kaastööliste kutselise jagunemise ja geograafilise paiknemise kohta, aga ka nende murede ja nõudmiste kohta, mis kirjades peegeldusid, on üheks põhimiseks osaks minu tollal valminud monograafiast Jakobsoni Sakalast. Nimeliselt õnnestus kindlaks teha 925 kaastöölist. Loomulikult on analüüsitud ka ajalehe enda sisu – on ju tegemist esimese eesti poliitilise ajalehega, millest aga puudus sellal veel täpsem ülevaade. Sakala erineb oluliselt eesti vanematest õpetlik-valgustava laadiga ajalehtedest, kui oluline nende roll eestlaste vaimuloos ka ei ole. Jakobson aina agiteeris ja ässitas, seades eesmärgiks – nii palju, kui see autokraatlikus riigis tsenseeritud trükisõna kaudu võimalik oli – opositsiooni loomise eesti rahva seas baltisaksa aadli vastu. Tollase Venemaa veel autonoomsetes Balti provintssides tundus rüütelkondadeks organiseeritud balti aadel veel kõikvõimsana. Seetõttu kritiseeris Jakobson Sakala veergudel teravalt ja süstemaatiliselt rüütelkondade võimu, baltisaksa seisuslikke asutisi (mille hulka ta luges ka kohaliku luteri kiriku) ning talurahvale kahjulikke agrariseadusi. See oli ühe alamrahvale määratud ajalehe puhul ennekuulmatu. Vaatlesin monograafias ka üldist situatsiooni Venemaal – konflikti balti aadli ja Venemaa ühtlustamist taotleva keskvalitsuse vahel, mis võimaldas Sakalale avalikult esineda kohalike olude kriitikaga ja äratas eestlastes petlikke lootusi neile soodsatele reformidele. Peterburi ajalehtede põhjal uurisin veel ka vene vabameelse avalikkuse arvamusi balti olude kohta, millele Jakobsoni Sakala suuresti apelleeris. Töö lõppsõnas võrdlesin eestlaste ja teiste Euroopa maade rahvuslust ning püüdsin rõhutada 19. sajandi rahvusluse seost demokraatiaga. Seda tööd kaitsesin 1968. aastal doktoritööna, 1969 kinnitas kõrgem atestatsioonikomisjon Moskvast mu doktorikraadi.

Raudne eesriie muutus ajapikku veidi auklikumaks, 1960. –70. aastail oli meil siiski mõnesugust aimu ka lääne ajaloo teaduse uuematest suundadest. Üks suurmoode oli sellal kvantitatiivne ajalugu – nagu üks inglise teadlane on öelnud, loetleti kõike, mida sai loetleda, aga ka seda, mida ei saanud. Kvantitatiivsete, seejuures matemaatiliste meetodite erilised fanaatikud Ajaloo Instituudis olid Juhan Kahk ja mu kadunud abikaasa Heldur Palli, kes alustas ajaloolis-demograafilisi uuringuid rahvusvahelistel eeskujudel. Mina rakendasin Sakala kaastööliste uurimisel primitiivset statistikat, mis endalegi tundus kiviaegsena. Mõjukas rahvusvaheline suund, mida küll tundsi üpris puudulikult, aga mis siiski mõju avaldas, oli prantsuse annaali-koolkonna sotsiaalajalooline lähenemine. Tuli uurida kõiki sotsiaalseid gruppe, ka marginaalseid, ja nende mentaliteeti. Tähelepanu fookusesse tõusis suurte väejuhtide ja kuningate asemel lihtne inimene, *common man*, tema vaated, uskumused, soovid, rahvaliikumised jne. Näis, et see annalistide aspektid pole vastuolus marksismiga, mis ju tunnistas “ametlikult” rahva määravat osa ajaloos. Ometi oli tegu

täiesti millegi muuga, nõukogude-marksism opereeris üldiste seaduspärasuste ja kategooriatega, klassi, klassivõitluse ja formatsioonide mõistetega, ja seda dogmaatilises vaimus, konkreetne inimene kadus tegelikult silmapiiril või kasutati teda vaid näitena mõne suure seaduspärasuse juurde. Ihalesime annaliste vaikselt ja salaja. Veel mõjutas mu huvisid see, et sattusin juhuse läbi kontakti rahvusuurija Miroslav Hrochiga Praha Karli ülikoolis. Tema uuris Euroopa väikerahvaste rahvuslikke liikumisi ja võrdes neid rahvuslikes ettevõtmistes osalejate sotsiaalse ja kutselise jagunemise alusel. Kolme suure impeeriumi – Venemaa, Austria ja Türgi tõrjutud rahvaste ärkamises oli palju sarnast. Mind mõjutas ka Hrochi sageli viidatud teooria rahvuslike liikumiste kolmest faasist nendel maadel: kõikjal algas rahvusluse levi üksikute haritlaste tegevusega, kes uurisid vastava rahvuse etnilist pärandit ja kultiveerisid rahvuse ideed (meil estofiilid); järgnes rahvusluseideede laialdane propageerimine rahva seas “ärgranud” rahvuslaste poolt. 1860. aastaist peale hakkas ka eestikeelne kirjastõna lugejaid veenma: eestlane pole vaid alamseisuse esindaja-talupoeg, vaid teistega võrdväärse rahvuse liige.

Teave mujal tehtavast kinnistas mu tahtmist uurida edasi rahvuslikust liikumisest osavõtjaid, nii statistiliselt kui ka lihast ja verest inimestena. Ometi võtsin vastu Juhan Kahki pakutud Ajaloo Instituudi direktori asetäitja ameti ja mu põhiülesandeks jäi kümneks aastaks plaanide ja aruannete koostamine. Tänu ühele heale abilisele suutsin siiski läbi töötada ühe suure materjalimassiivi, nimelt Jakob Hurda folkloorikorrespondentide saadetised ja kirjad rahvaluule suurkogumise-aktsiooni ajast 1889–1906. Hurda rahvaluulekogumistööst olid folkloristid küll ikka ja jälle kirjutanud ja teinud oletusi tema korrespondentide arvu kohta, kuid tervikülevaadet Hurda fondi sisust ei olnud. Ma ei tunginud folkloristide mängumaale, mind huvitas rahvaluulekogumine kui sotsiaalne-rahvuslik aktsioon ja ma püüdsin selles osalejaid nime ja ameti poolest määratleda, nii palju kui see oli võimalik. Nimeliselt õnnestus määratleda 1235 kaastöölist, kuid neid oli ilmselt tunduvalt enam: paljud jäid anonüümseks, korrespondentidel olid omakorda “allkorrespondendid” jne. Osalust kogumistöös lugesin inimeste rahvusteadvuse näitajaks, sest Hurt ise oma paljudes kirjutustes väärtustas vana regivärsilist rahvaluulet kui eestlaste autentset kultuuripärandit ülikõrgelt ja nimetas selle päästmist unustusest tähtsaks “isamaa tööks”. Lühikokkuvõtte Hurda kaastöölistest sain avaldada Juhan Kahki jt koostatud kogumikus Eesti talurahva sotsiaalsetest vaadetest, mille kokkuseadmist mõneti mõjutasid maailmas moodsad mentaliteediuringud. Mitmete ärkamisaja rahvuslike organisatsioonide ja aktsioonide osalejate arvuline võrdlus tõestas seda, millest rääkisid paljud mälestused ja muud jutustavad allikad: eesti külakooliõpetaja kandvat osa 19. sajandi teise poole rahvuslikus liikumises ja kultuuritöös. Kahtlemata mõjutasid külakoolmeistrid laialt oma kasvandikke. Kui mitmel muul maal oli rahvuslikul liikumisel haritlaslik-linlik iseloom, siis eestlaste puhul oli tavaliste talupoegade osakaal suur, mitmel puhul moodustasid nad tegelaskonnast umbes kolmandiku. Ühtlasi haaras rahvuslik aktiivsus

eestlasi nende asuala territooriumil üha laiemalt, peakolleteks olid Viljandimaa, osa Pärnumaast, Tartumaa ja Tartu linn. Ka Tallinn oli väga aktiivne. Loomulikult oli rahva kultuuriline ja rahvuslik aktiivsus kõrgem seal, kus oli rohkem jõukust ja kooliharidust, ometi näitavad “aktivistide” biograafiad, et see pole absoluutne reegel. Palju sõltus traditsioonist, inimese isiklikest vaimuomadustest, tahtest, sellest, mida ta lugese, jne. Hurda kogu jm materjalid veensid, et juba 1880.–90. aastatel – tsarismi venestuspoliitikale vaatamata – muutus rahvuslik liikumine kui kultuuriliikumine massiliseks. Seda tõendab arvukate uute rahvuslik-kultuuriliste omaalgatuslike ühenduste asutamine ja eesti keelsete ajalehtede laialdane retseptioon.

Rahvusliku liikumise uurimine tähendas osalejate või “äratajate” uurimise kõrval ikka ka nende ideede uurimist, mis eesti juhtivaid rahvuslasi haarasid ja mida nad oma kõnedes ja kirjutustes rahva seas levitasid. Oma lühiuurimustes olen puudutanud eestlaste etnilise pärandi elustamist rahvuslikus agitatsioonis 19. sajandi teisel poolel – emakeele kultust, müüti eestlaste kuldsest muinasajast ja F. R. Faehlmanni loodud eesti vanade jumalate-panteoni. Samuti olen jälginud rahvusliku liikumise programme, nii Jakob Hurda rahvuskultuuri arendamise programmi kui ka Carl Robert Jakobsoni reformitaotlusi. Praegu on rahvusvahelises kirjanduses levinud “kultuurirahvusluse” ja “poliitilise rahvusluse” eristamine ja mulle tundub see põhjendatuna. Ida-Euroopa väikerahvad 19. sajandil, kellel oma riiki ei olnud, asetasiid rõhu kõigepealt endi kui kultuuriliste koosluste väljakujundamisele, millele järgnes eksistentsiks vajalike poliitiliste tingimuste loomise püüdlus. See ilmnese ka eesti rahvusliku liikumise ideede evolutsioonis keelekultusel, romantilistelt müütidel ja rahvustunde õhutamiselt realistlike majanduslike ja poliitiliste nõudmisteni. Eraldi lühiuurimuses olen käsitlenud eestlaste esimese tõsisema poliitilise aktsioonina eesti 17 seltsi saadiku audientsi keiser Aleksander III juures 1881 ja märgukirja esitamist valitsusele reforminõuetega. Sellega vastanduti esmakordselt avalikkuses balti rüütelkondadele kui balti provintside ametlikule poliitilisele esindusele. Eestlaste varjatud eesmärk tollal oli ilmselt Soome-taoline autonoomia. Olen käsitlenud ka eesti avalikkuse reaktsiooni tegelikele venestusreformidele 1880. aastatel.

Pärast Teist maailmasõda, eriti viimastel aastakümnetel on Euroopa maadel ja Ameerika Ühendriikides kiiresti rohkenenud rahvuse olemust käsitlev teoreetiline kirjandus, kuid selle keeruka nähtuse defineerimisega ollakse ikka raskustes – arutatakse, mille poolest erineb moodsa aja rahvus inimeste vanadest etnilistest kooslustest, missugused tegurid üldse määravad rahvuskoosluse, miks kujunes rahvus 19. sajandi Euroopas nii tugevaks ideelis-poliitiliseks jõuks ja on seda üleilmastumisprotsessidele vaatamata siiani, jne. Kasvanud on ka huvi konkreetsete rahvuskoosluste kujunemise ja nende saatuse vastu. Mul on seetõttu tulnud esitada rahvusvahelistel konverentsidel või kirjutada mitmetes keeltes mitmesugustele väljaannetele ülevaatlikke käsitlusi eesti rahvuse kujunemisest ja rahvuslikust liikumisest, ka Eestist, Lätist ja Leedust võrdle-

valt. Märkisin eraldi ehk osalemist Stockholmi ülikooli projektis “Kirjandus ja rahvuslik identiteet”, mille raames anti välja neli kogumikku läänemere-äärsete rahvaste kohta. Kirjutasin neis eestlaste rahvusteadvuse kujunemisest, rahvumüütidest jm.

Pole lihtne vastata küsimusele, kuidas senisest alamast talupojaseisusest, kes end nimetas maarahvaks, said eneseteadlikud, tugeva rahvustundega eestlased, kes ootasid muult maailmalt tunnustust just sellistena. Identiteedivahetus sõltub isiklikust vabast valikust, eestlaste puhul oli 19. sajandi keskpaiku saksastumiskiusatus suur, kasvades rahva linnastumise ja hariduse omandamisega. 20. sajandi alguseks töid venekeelne kool ja karjäärivõimalused Venemaal venestumisalternatiivi. Ometi jäädi eestlasteks. Olen eesti identiteedi valimist seletanud mitmekesiste põimuvate teguritega. Esmatähtsaid tegureid oli kahtlemata eestlaste sotsiaalne mobiilsus moderniseerivas ühiskonnas, kus vanaaegne seisuslik kord ja alamkihtide õigusetus “uustulnukate” võimalusi oluliselt piirasid, ega olnud eestlastel ka baasi majanduslikuks võistluseks ja sarnastumiseks. Kuigi taheti “saksaks saada”, avaldas ka sotsiaalse tõusu puhul samas ikkagi mõju vana etniline ühtsustunne, tuldi ühest ja seitsamast talurahvalikust-traditsionaalsest kultuurimiljööst. Emakeelne rahvakool aitas kaasa laialdase eesti keelt kasutava talupojakeskkonna püsimisele. Tähtis oli samuti rahvuslikult meelestatud ja “rahvalähedase” haritlaskonna teke, kes aitas oma kirjutuste ja kõnedega kaasa talurahvalik-etnilise kokkuhoidmistunde “ümbertöötamisele” akuutseks, väärtustavaks rahvusteadvuseks. Ja ülimalt oluline oli eestikeelse trükisõna kiire kasv ja levi 19. sajandi teisel poolel. Ikka laiemalt jõudsid eestlaste sekka kogu Euroopas aktuaalsed rahvusideed ja teated rahvuslikest liikumistest eri maadel. Siinne kultuurietalon, suur, aga killustatud Saksamaa “ise” ühendati rahvuslikel alustel, ennekõike aga seisis ikka silmade ees autonoomne Soome kui lähedase rahva isamaa. Selle kõige tõttu tundus loomulikuna, et eestlased astuvad euroopa kommunikatsioonisfääri eestlastena.

Keskseks uurimisprobleemiks minu jaoks on niisiis pikkade aastate vältel olnud eesti rahvusluse sünd.

1970. aastate lõpupoole hakkas mind koos mõne noorema kolleegiga (Aili Aarelaid, Rein Ruutsoo jt) köitma Eesti rahvuskultuuri uurimise uuendamine ja laiendamine. Ka sel puhul avaldasid mõju kultuuriajaloo uurimise suunitlused mujal maailmas, mille puhul oli tuntav kultuuriantropoloogia, ka sotsioloogia mõju. Ei piiratud enam väärtustava kultuurimõistega, mille kohaselt kultuuri käsitati vaid geniaalsete isiksuste kõrgema vaimse loomunguna, eliitarse kõrgema vaimsuse sfäärina. Nõukogulike arusaamade kohaselt oli kultuur “materiaalse baasi” poolt enam-vähem üheselt määratletud “pealisehitus” ja kandis klassiiseloomu (Lenini tees kahest kultuurist igas rahvuskultuuris jm). Sellega on täielikus vastuolus avar arusaam kultuurist, mis on aina enam maailmas levinud ja meidki omal ajal köitma hakkas: kultuur on sotsiaalne

mälu, on inimkonna kogu ideevara, või teiste sõnadega, mis tahes inimtegevuse vaimne külg. Oluline on uurida mitte üksnes ideede sündi või professionaalset kultuuriloomingut, vaid kultuuri edasikandemehhanisme ja leviviise (keeled ja muud sümbolid, levitehnoloogiad, institutsioonid), samuti ideede retseptsiooni, rahva elulaadi, argikultuuri. Mõju hakkas avaldama ka kultuuri käsitlemine “semiosfäärina” Juri Lotmani poolt. Kultuurantropoloogia mõjul levis nn kultuurirelativism: igal inimgrupil teatud keskkonnas on oma eripärane kultuur, rahvaid ei saa jagada “kultuurrahvasteks” ja kultuurita rahvasteks. Minu jaoks kujunes sellest üks kultuuri mõistmise põhiaksioome. 19. sajandil polnud eestlaste probleemiks “saada kultuurrahvaks” (nagu praegugi vahel kirjutatakse), vaid kohanemine euroopaliku kirjakultuuri kui teatud kultuuritüübiga, mis erines meie senisest suulisest talurahvakultuurist.

Seesuguseid põhimõtteid sai 1970.–80. aastatel trükisõnas ja mõttetalgutel arutletud ja nad kõitsid tegelikult paljusid erinevate kultuuriajaloo alade uurijaid. Et kultuuriajaloolisi uuringuid koondada ja laiendada, moodustati Ajaloo Instituudis seniste haridusajaloo ja kunstiajaloo sektorite kõrvale kultuuriloo sektor, kuhu koondusid sellal peamiselt instituudis tööd leidnud üksikud teatri- ja muusikaajaloolased. Peamine mõte oli hakata arendama sotsiaalkultuurilise suunitlusega uuringuid ja koostada uusi metodoloogilisi printsiipe järgiv üldistav Eesti kultuurilugu. 1983. aastal algatasin programmi “Rahvas ja kultuur”. Head kavatsused põrkusid aga ideoloogilistele kahtlustustele, meetodilistele ja organisatsioonilisele raskustele, inimeste ja rahade nappusele. Ilmselt polnud aeg veel küps. On kahju, et Ajaloo instituudi reorganiseerimisel pärast taasiseisvumist ei leidunud ressursse sotsiaalkultuuriliste uuringute edasiviimiseks, laiendamiseks rääkimata.

Ehki ma siiani ei tea, kuidas haarata kultuuri hoomamatut mitmekesisust, olen püüdnud avaramat arusaamist kultuuriloost mõnes kirjutustes siiski ellu viia – see kajastub näiteks monograafias “Carl Robert Jakobson muutuv ajas” (1987), kokkuvõtvas artiklis ärkamisaja kultuurimurrangust (1993), jm. Teoksiloleva uue Eesti ajaloo üldkäsitluse V köite jaoks (teose peatoimetaja Sulev Vahtre) kirjutasin ülevaate eesti kultuuri arengust talurahvavabastusest venetsusajani peaaegu kultuuri sotsiaalsetel aspektidel, samuti olen koostanud peatüki Eesti kultuurist 20. sajandi alguskümnenditel. Need on praegu toimetamisel.

Kultuurilooliste uuringute laiendamiseks koos kasvas ka arusaamine vajadusest uurida senisest põhjalikumalt eri kultuuride kokkupuuteid, kultuurilaene ja -mõjusid, millel kultuuriajaloo on ülitähtis roll. Juri Lotmani järgi sünnibki ühe kultuuri eripära kokkupuudetest teiste kultuuridega. Läänemeresoomlased, seejuures eestlased, elasid piiritsoonis germaani ja slaavi kultuuride vahel, 13. sajandist tekkis meie esivanemate maal teatavasti ka pidev saksa asustus. Suhteid kohaliku valitseva saksa vähemikuga käsitleti meil aga kaua vaid eestluse vaatenurgast, baltisakslast eestlase antipoodina. Olin nende seas, keda hakkas

huvitava baltisakslaste kultuur kui omaette ilming, teisalt ka tema tegelik roll ja mõju eesti rahvuskultuuri kujunemise aegadel. Olen avaldanud mõningaid baltisaksa kultuuri puudutavaid lühiuurimusi – baltisakslaste kultuurielust Tallinnas, baltisaksa laulupidudest, baltisaksa ajakirjandusest jm (viimane Eesti varasema ajakirjanduse ajaloo üldkäsitlus, ilm. 1994). J. Viikbergi koostatud Rahvaste raamatus (ilm. 2000) avaldasin üldise lühiülevaate baltisakslastest ja nende kultuurist. Minu arusaamist mööda tuleb baltisaksa kultuuri käsitada mitte üksnes “päris”-Saksa kultuuri haru või variandina, vaid omaette kultuuriruumina oma levi-institutsioonide ja vaimsurega, millele vajutasid pitseri kohalik olustik ning suhtlus põlisrahvaste ja Venemaaga.

Eestlaste (ja lätlaste) emantsipatsioon oli üks kindel näitaja, et 19. sajandil oli vana seisuslikult organiseeritud ühiskond teisenemisel ja tundus huvitava ning vajaliku ülesandena uurida sügavuti selle muutumise mehhanisme – kuidas tekkisid uued sotsiaalsed kihid ning teisesid inimeste käitumismudelid ja koostöövormid. Selliste kujutluste pinnal kujunes mul hea koostöö ennekõike noore ajaloolase Jaanus Arukaevuga, kellega koos avaldasime artiklite kogumiku 18. sajandi teisel poolel – 19. sajandil Balti provintssides, nagu Saksamaal ja mujal Euroopas, levivate uute ühenduste, seltside, kohta. Erinevalt seisustest ja seisuslikest korporatsioonidest, samuti kirikukogudusest, millesse sünniti ja mis määrasid inimese tegevuse hällist hauani, olid seltsid sellised ühendused, millega inimesed ühinesid oma huvide kohaselt vabatahtlikult, kui sõltumatud indiviidid. Mainitud kogumikule kirjutasin ülevaate seltsiliikumise levist sakslaste ja eestlaste seas valgustusajast 19. sajandi lõpuni. Seltsidest kui rahvaelu uudsest fenomenist ja nende sotsiaalkultuurilisest rollist on mul tulnud koostada ka vastav ülevaate Eesti rahvakultuuri üldkäsitluse jaoks (ilm. 1998), ka Soomes ilmunud samataolise raamatu jaoks (ilm. 1997).

Inimeste aktiivsuse ja avalikus elus osalemise uurimine seltside ja ajakirjanduse kaudu näitas seda, kuidas kasvas seniste kesk- ja alamseisude tahe ühiskonna korraldamisel avalikult kaasa rääkida. See viis mõtted laiematele sotsiaalsetele probleemidele – seisusliku ühiskonna lagunemisele üldises moderniseerumisprotsessis ja sellele, kas ja kuidas ka autokraatse Venemaa Balti provintssides tekkisid kodanikeühiskond ja kodanikeavalikkus Jürgen Habermase mõistes. Tänapäevaks on ju kodanikeühiskonna probleemid kõikjal maailmas aktualiseerunud, huvi tuntakse küll esmajoones endise idabloki, ka lõuna ja ida endiste koloniaalmaade arengute vastu. Kuid tähelepanu köidab samuti kodanikeühiskonna kujunemine ajaloolises perspektiivis. Paljusid uurijaid huvitab ka see, kas ja kuidas on võimalikud avalikkus ja kodanikeühiskond autoritaarses riigis, kui me kodanikeühiskonnana mõistame kodanike omalgatuslike koostöövormide süsteemi, mille aluseks on ühised huvid ja nende ratsionaalne lahendamine kokkulepete teel. Kahtlemata on kodanikeühiskond ennekõike ideaal või mudel, püüdlus sellise ühiskonna poole ja paljud tema elemendid on siiski ajaloo tegelikkus. See on demokraatia alus.

Selleaolistele probleemidele on pühendatud mu hiljuti valminud monograafia: “Inimene muutub ajas. Seisusühiskonnast kodanikeühiskonda”, mis on praegu kirjastamisel Eesti Ajalooarhiivis. Töö hõlmab aega 18. sajandi teisest poolest (valgustusajast) 19. sajandi lõpuni ja on üldistava, suuresti ka historiograafilis-arutleva laadiga. Käsitluses on püütud iseloomustada balti ühiskonna eri seisusi ja kihte, on arutletud seda, missugune oli eri gruppide elulaad ja sotsiaalne seisund ja kuivõrd nad olid avalikkuse ning kodanikeühiskonna elementide kandjad ja loojad. Kõne all on baltisaksa ja eesti kihid, teised etnilised grupid tuli töö mahukuse tõttu kõrvale jätta. Töö esimese osa aineks on balti ühiskonna “vanad seisused” – baltisaksa aadel, bürgerlus ja haritlaskond (“literaadiseisus”), samuti eesti talurahvas ja eestlastest linnaelanikud. Juhtiv sotsiaalne jõud oli muidugi aadel, kes visalt püsiva “vana korra” raames teostas oma valitsevat rolli edukalt, pidi aga siiski hakkama oma positsioone loovutama tõusvale kohalikule haritlaskonnale ja tsaarivõimule, kes Katariina II aegadest peale ilmutas kasvavat tahet liita autonoomsed Balti provintsid tihedamalt Venemaaga. Jälgitud on “aadelliku avalikkuse” ning uue avalikkusesfääri – eelkõige balti “õpetlasvabariigi” kujunemist, mille aluseks oli literaatide aktiivsus, laienev omaalgatuslike ühenduste ja ajakirjade asutamine. Mis puutub eesti talurahvasse, siis on töös püütud – seniste agraarajalooliste käsitluste taustal, mis talurahvast ja tema seisundit kujutavad sageli üheplaaniliselt – leida talurahva elu n-õ erinevaid värve. On püstitatud küsimus nn talurahva-avalikkuse olemasolust ja selle tunduvast muutumisest 19. sajandi esimese poole vältel, ennekõike talurahva kirjaoskuse ja trükisõna leviga.

Monograafia teine osa on pühendatud 19. sajandi teisele poolele – murrangulisele ajale, mil Balti provintsid taandus koos moderniseerumisega ja kapitalismiga vana isandavõim ja inimeste elus said ikka määravamaks sellised tegurid, nagu turg, raha, uuenev ja kasvav linn, rahvastiku geograafiline liikuvus ja muidugi kõikvõimas trükisõna. Algas nn lugemisrevolutsioon ka eestlaste seas ja loetu hakkas määrama ikka enam inimese käitumist. Vanade seisuste ümberkujunemise üheks faktoriks oli sellal ka võimuhete muutus, tsarismi nüüd juba aktiivne sekkumine balti asjadesse. Monograafias on visandlikult esitatud eri seisuste staatusemuutus, näiteks balti aadliku transformatsioon edukaks moodsaks suurpõllumeheks või kutsetöötajaks mõnel muul alal – kusjuures aga ta enesehinnang ühiskonna juhina jäi vanaviisi väga kõrgeks; eesti talupoja kujunemine peremeheks-ettevõtjaks; eesti rahvusliku haritlaskonna ilmumine eesti tugevnevate keskkihtide peajõu ja eeskõnelejana jne, jne. Talurahva portreerimisel vaatlesin muuhulgas ka vanade ja uute institutsioonide rolli – kodu (pere), kiriku ja kõrtsi, vallavalitsuse, seltsi ja ajalehe tähendust.

Käsitledes baltisaksa avalikkuse evolutsiooni 19. sajandi teisel poolel tuli sedastada selle vastuolulisust: 1860. aastate künnisel tugevnes poliitiline avalikkus literaatide kandel, nõuti seisude võrdsust ja näis, et on võimalik vana seisusliku korra revideerimine seestpoolt. Siis aga järgnes vene natsionalistliku avalikkuse rünnak balti erikorra vastu ja tsarismi unifitseerimispoliitika astus

esimesi tõsisemaid samme; seetõttu koondus nii aadli kui ka haritlaskonna ja linnakodanluse tähelepanu balti erikorra ja sellega ka baltisaksa identiteedi kaitsele. Samal ajal võib rääkida baltisaksa kultuuriavalikkuse "paisumisest" – rohkenes omaalgatuslike organisatsioonide, seejuures üldkasulike ja kultuuri-alaste seltside kõrval erialaseltside arv, ilmusid poliitilised päevalehed ja rohkelt erialaperioodikat.

Monograafia viimases peatükis on jälgitud seda, kuidas eesti keskkihtide kandel arenes eesti keeleruumis välja uus avalikkus nii-öelda baltisaksa avalikkuse kõrvale. Venestamisaja alguseni 1880. aastate keskpaiku osutas see tugevat tendentsi politiseerumisele, lipukirjaks rahvuslus ja liberaalsed ettevõtlikkuse ja võrdsuse ideed, eesmärgiks kindlustada eesti keskkihtidele "koht päikese all". Venestusreformid peatasid ajutiseks eesti avalikkuse politiseerumise. Kuid samas arenes just 19. sajandi viimastel kümnenditel välja laialdane omaalgatuslike organisatsioonide, põhimiselt kultuuriseltside võrk eestlaste seas ja ajakirjandusest sai rahva argielu loomulik osa. Seega muutus oluliselt eesti ühiskonna organisatsiooniline struktuur ja samuti inimeste teadvus, osalustraditsioonidega pandi alus eesti kodanikeühiskonnale.

Lõppsõnas on arutletud probleemi, miks moderniseerumisprotsess ei toonud kaasa eesti ja saksa kihtide integratsiooni ja ühist kaitseliini tsaarivalitsuse unifikseerimis- ja venestusmeetmete vastu. Ometi oli baltisakslaste kultuuriline mõju ja sotsiaalne eeskuju tugev, nende elulaad ja üldkasuliku avaliku tegevuse traditsioon oli sobiv mudel ka uude kultuurifaasi astuvate eestlaste jaoks. Kuid samas oli ajalooliselt kujunenud mentaalne lõhe sügav, erinesid majanduslik ja hariduslik seisund, elulaad ja mentaliteet.

Olen veendunud, et kodanikeühiskonna kujunemise uurimine aitab kaasa ka rahvuse paremale mõistmisele – ühine omaalgatuslik avalik tegevus on ka rahvuskoosluse ühtekuuluvuse kinnistaja. Teiselt poolt näitab Eesti avalikkuse jälgimine, et rahvuslus kujunes üheks mobiliseerivaks ideeks, mis kohustas ja õhutas inimesi üldkasulikust avalikust tegevusest osa võtma.

Teadustegevus ei tähenda ju kunagi üksnes uurimistööd, vaid ikka ka kohustust teistele midagi edasi anda ja organiseerimis- või administreerimistööd. Minul on "muud" tegevust olnud ajuti liigagi palju. Ma ei ole olnud õppejõud, kuid siiski seotud ka kõrgkoolidega; loenguid eesti ajaloost, põhimiselt 19. sajandist, eesti ning baltisaksa kultuurist jm olen pidanud Tartu ülikoolis, Humanitaarinstituudis, Pedagoogikaülikoolis ja Helsingi ülikoolis, juhendanud hulga kandidaadi-, bakalaureuse ja magistritöid, pidevalt retsenseerinud ja oponenteerinud väitekirju. Nn õpilased on mulle ikka olnud pigem kolleegid ja ma olen neilt alati palju õppinud. Pole midagi toredamat kui arutleda ja vaielda vanade ja noorte kolleegidega ning jälgida uute mõtete sündi.

Ea Janseni VALIKBIBLIOGRAAFIA

- Jansen, E. 1999. Aleksander III venestusreformid ja eesti avalikkus. *Acta Historica Tallinnensia*, 3, 39-65.
- Jansen, E. 1996. Aufklärung und estnische Nationalbewegung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Pistohlkors, G. v. et al (toim). *Aufklärung in den baltischen Provinzen Russlands : Ideologie und soziale Wirklichkeit*. Köln-Weimar-Wien, 57-72.
- Jansen, E. 1994. Baltic nationalism : the way towards the nation-states. Det 22. nordiske historikermote. Rapport 1, Norden och Baltikum. Oslo, 139-150.
- Jansen, E. 1994. Baltisaksa ajakirjanduse areng XVIII–XIX sajandil. Eesti ajakirjanduse teed ja ristteed : Eesti ajakirjanduse arengust XVII sajandist XX sajandini. Tartu-Tallinn, 268-300.
- Jansen, E. 1994. Baltisaksa laulupeod Tallinnas. Teater. Muusika. Kino, 11, 48-54.
- Jansen, E. 2001. Baltisaksa raamat eesti kultuuriloos. Tender, T. (toim). Raamatu osa Eesti arengus. Tartu, 200-220.
- Jansen, E. 1999. Baltisakslased. Viikberg, J. (koost). Eesti rahvaste raamat. Tallinn, 40-58.
- Jansen, E. 1987. Carl Robert Jakobson muutuv asjas. Tallinn, 189 lk.
- Jansen, E. 1971. C. R. Jakobsoni "Sakala". Tallinn, 351 lk.
- Jansen, E. 1985. On the economic and social determination of Estonian national movement. *National Movements in the Baltic Countries during the 19th century*. Stockholm, 41-57. (*Acta Universitatis Stockholmiensia. Studia Baltica Stockholmiensia*; 2).
- Jansen, E. 1996. Eesti ajakirjanduse rahvuslikkusest venestamisajal. *Keel ja Kirjandus*, 6, 385-398.
- Jansen, E. 1997. Eesti ajaloo uurimisest ja ajaloomüütidest. *Kleio*, 1, 35-41.
- Jansen, E. 1989. Eesti kultuuriloo uurimisprogramm. *Eesti NSV TA Toimetised. Ühiskonnateadused*, 38, 2, 165-175.
- Jansen, E. 1997. Eesti seltside saadikute audients Vene keisri juures ja nende märgukiri kui katse osaleda "suures poliitikas". *Acta Historica Tallinnensia*, 1, 93-116.
- Jansen, E. 1977. Eesti talurahva rahvusliku teadvuse kujunemisest XIX sajandil. Eesti talurahva sotsiaalseid vaateid XIX sajandil. Tallinn, 67-123.
- Jansen, E. 2001. Eestlaste rahvuslik ärkamisaeg. Eesti iseseisvus ja identiteet. Tallinn, 69-108.
- Jansen, E. 1999. Eestlus. Viikberg, J. (koost). Eesti rahvaste raamat. Tallinn, 160-169.

- Jansen, E. 1997. Esten in 19. Jahrhundert : Bauernstand, Volk oder Nation? Literatur und nationale Identität. I. Tampere, 50-70.
- Jansen, E. 1990. Estonian culture – European culture in the beginning of the 20th century. The Baltic Countries 1900–1914. Stockholm, 126. (Acta Universitatis Stockholmiensia. Studia Baltica Stockholmiensia; 5).
- Jansen, E. 1999. Die estnische Lesebücher von Carl Robert Jakobson im Dienste der nationalen Agitation. Literatur und nationale Identität. II. Tampere, 284-300.
- Jansen, E. 1992. Die estnische Nationalbewegung : sozio-ökonomische Bedingungen und sozio-culturelle Charakteristika. Eesti TA Toimetised. Sotsiaal- ja humanitaarteadused, 41, 4, 260-276.
- Jansen, E. 2000. Das estnische Pantheon. Literatur und nationale Identität. III. Stockholm, 31-48.
- Jansen, E. 1995. Faehlmanni aeg. Õpetatud Eesti Seltsi aastaraamat, 1988–1993. Tartu, 37-60.
- Jansen, E. 1994. Freidrich Ludwig Maydelli “Fünfzig Bilder aus der Geschichte der deutsche Ostseeprovinzen Russlands”. Neli baltisaksa kunstnikku = Vier deutschbaltische Künstler. Tallinn, 29-38.
- Jansen, E. 1987. Ilmalik ja kiriklik eesti talurahva maailmavaates 19. sajandil. Religiooni ja ateismi ajaloost Eestis. III. Tallinn, 192-220.
- Jansen, E. 1990. Jakob Hurda rahvusemõistest ja tema kultuuriprogrammist. Eesti TA Toimetised, 39, 1, 1-17.
- Jansen, E. 1988. Jakob Hurt ja ühine isamaa töö. Looming, 2, 244-251.
- Jansen, E. 2001. Kas välgusähvatus pimeduses? Kristian Jaak Petersoni puudutavast uudiskirjandusest. Akadeemia, 12, 2488-2652.
- Jansen, E. 1995. Liberalism in the Baltic provinces in the 19th century. Liberalism : seminar on historical and political keywords in Northern Europa. Helsinki, 137-149.
- Jansen, E. 1971. Mihkel Veske ühiskondlik-poliitilisest tegevusest. Studia Historica in honorem Hans Kruus. Tallinn, 387-412.
- Jansen, E. 2004. The national awakening of the Estonian nation. Subrenat, J.-J. (toim). Estonia. Identity and Independence. Amsterdam, 2004, 83-105.
- Jansen, E. 1991. Natsionalismist. Looming, 3, 380-390.
- Jansen, E. 2000. The new nations of the Baltic provinces of Russia : the cross-cultural background. Mare nostrum – mare Balticum : commentationes in honorem professoris Matti Klinge. Helsinki, 237-252.
- Jansen, E. 1997. Die nicht-deutsche Komponente. Sozialgeschichte der baltischen Deutschen. Köln, 1997, 233-243. (2. tr. 2000).

- Jansen, E. 2000. Political or cultural nationalism? On the development of Estonian nationalism in the 19th century. *Time of Change in the Baltic Countries*. Stockholm, 146-161.
- Jansen, E. 1999. Rahvas ja rahvus. Viikberg, J. (koost). *Eesti rahvaste raamat*. Tallinn, 388-399.
- Jansen, E. 2000. Rahvuseks saamise raske tee. *Akadeemia*, 6, 1166-1188.
- Jansen, E. 1994. Rahvuslusest ja rahvusriikide sünni eeldustest Baltimaadel. *Akadeemia*, 11, 2241-2251.
- Jansen, E. 2001. Le reveil national Estonien. *L'Estonie : Identité et indépendance*. Paris, 107-136.
- Jansen, E. 1992. Romantic nationalism in Estonia. *History of European Ideas*, 16. Oxford-New York-Seoul-Tokyo, 337-341.
- Jansen, E. 1995. Selts ja seisus 19. sajandi teise poole Eesti ühiskonnas. Jansen, E., Arukaevu, J. (koost, toim). *Seltsid ja ühiskonna muutumine*. Tartu-Tallinn, 22-50.
- Jansen, E. 1998. Seltsiliikumine. *Eesti rahvakultuur*. Tallinn, 591-614.
- Jansen, E. 2003. Sotsiaalne mobiilsus ja rahvuslik identiteet. *Acta Historica Tallinnensia*, 7, 15-30.
- Jansen, E. 1995. Tallinna kultuurielu 19. sajandi teisel poolel. *Vana Tallinn V (XI)*. Tallinn, 1995, 112-144.
- Jansen, E. 2000. Tsaristlik tsensuur ja eesti ajakirjandus venestamisajal. *Tuna*, 2, 145-158.
- Jansen, E. 1993. Veelkord ärkamisaja kultuurimurrangust. *Keel ja Kirjandus*, 5, 203-303; 6, 344-357.
- Jansen, E. 1999. Venestamine Eestis enne 1917. aastat. Viikberg, J. (koost). *Eesti rahvaste raamat*. Tallinn, 540-549.
- Jansen, E. 1992. Virollaisen kansallinen herääminen = Das nationale Erwachen der Esten. *Me oleme Kansakunta. = Wir sind eine Nation*. Helsinki, 5-26.
- Jansen, E. 1993. Voluntary associations in Estonia : the model of the 19th century. *Eesti TA Toimetised. Sotsiaal- ja humanitaarteadused*, 42, 2, 112-120.
- Jansen, E. 1998. Ühest dialoogist surveaegade ajakirjanduses. *Keel ja Kirjandus*, 6, 369-380.
- Jansen, E. 1997. Yhdistykset ja organisaatiot. *Viron perinnekulttuuri*. Helsinki, 265-282.
- Jansen, E., Põldmäe, R. 1959. Carl Robert Jakobsoni elukäik ja tegevus. *Jakobson, C. R.. Valitud teosed*. 1. kd. Tallinn, 11-46.

Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest



Ilmar Koppel

Sündinud 16.01.1940 Võrus.

- 1958 Puurmani Keskkool
- 1963 Tartu Ülikool, keemiaosakond
- 1969 keemiakandidaat (füüsikaline keemia), Tartu Ülikool
- 1975 USA Keemiaseltsi liige
- 1986 keemiadoktor (füüsikaline keemia), NSVL TA Keemilise Füüsika Instituut
- 1990 professor (analüütiline keemia)
- 1993 Eesti Teaduste Akadeemia liige
- 1995 USA Teadusarenduse Assotsiatsiooni liige
- 1996 Inglise Kuningliku Keemiaseltsi *fellow*
- 1996 Paul Kogermani medal
- 1998 teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal (kollektiivi juht)
- 2000 Tartu Ülikooli medal

Alates aastast 1963 Tartu Ülikool: aspirant, assistent, nooremteadur, vanemteadur, keemilise kineetika ja katalüüsi laboratooriumi juhataja, professor, keemilise füüsika instituudi juhataja, tehnoloogiakeskuse asutaja-juhataja ja nõukogu esimees, keemiaosakonna juhataja. Alates 2002 Keemia ja Materjaliteaduse Tippkeskuse juht ja alates 2004 Eesti Teaduste Akadeemia Bioloogia, Geoloogia ja Keemia Osakonna juhataja. Alates 2005 Tartu Ülikooli erakorraline professor.

Avaldanud üle 250 teaduspublikatsiooni.

Lõpetasin Puurmani Keskkooli esimese lennu 1958. a suve hakul. Nagu paljud äsjased abituriendid enne ja pärast mind, seisin ma silmitsi võimalike alternatiividega tulevase eriala valikul. Mind huvitasid kooliajal peaaegu võrdselt füüsika ja keemia ning nende erialade poole “kallutasid” mind ka vastavalt mu klassijuhataja, füüsikaõpetaja (ja hilisem kauaaegne aseharidusminister) Kalju Luts ning keemiaõpetaja Etna Nadel. Etna argumendid osutasid ilmselt mõjukamateks ning ma viisingi oma paberid sisse TÜ tolleaegse matemaatikaloosteaduskonna keemiaosakonda.

Suures riigis käis tollel aastal laiaulatuslik kemiseerimise kampaania ja kas just selle pärast, aga konkurss keemiaosakonda sisseastumiseks oli tavapäratult tugev. Sisse ma aga sain üsna kindlalt ja vaadates praegu tagasi nendele kaugele aegadele ning viimase 47 aasta jooksul toimunule ja tehtule, siis ei kahetse ma põrmugi oma tolleaegset valikut. Mul on õnnestunud oma keskkoolilõpetamise aegne keemia-füüsika dilemma lahendada valdavalt interdistsiplinaarse, nii alusteaduslike kui ka rakendusliku kallakuga, eksperimentaalsete ja teoreetiliste uurimismeetodite sünergial baseeruva ning keemia ja füüsika piirimail positsioneeruva teadustegevusega. Ma lõpetasin TÜ spetsialiseerumisega orgaanilise keemia erialal, kaitsesin kandidaadi- ja doktoridissertatsioone füüsi-

kalise keemia erialal, sain professori kutse analüütilise keemia erialal, töötasin pikemat aega TÜ keemilise kineetika ja katalüüsi labori ja keemilise füüsika instituudi juhatajate ametikohtadel, seega jällegi keemia ja füüsika kokkupuutealadel.

Teadustöös tegin oma esimesed sammud TÜ keemiaosakonna kolmanda kursuse üliõpilasena Viktor Palmi juhendamisel. Minu esimene “sellitöö” (diplomitöö) oli pühendatud ühe orgaanilises keemias laialt levinud S_N1 tüüpi solvolüüsimehhanismi mudelühendi – tertsiarse butüülkloriidi (t-BuCl) mõnede reaktsioonide uurimisele. Selle justkui elementaarse, väga olulise reaktsioonimehhanismi prototüübiks oleva ning samas raskesti hoomatava protsessi uurimisel on oma “kätt proovinud” üsna mitmed vägagi nimekad keemikud – teiste hulgas N. N. Semjonov (Nobeli laureaat), C. Ingold, J. B. Conant (kauaaegne Harvardi Ülikooli rektor ja muuhulgas ka üks Manhattani projekti tippjuhte). Seetõttu pole põrmugi üllatav, et ma jätkasin ka aspirantuuriajal TÜ orgaanilise keemia kateedri juures t-BuCl solvolüüsi reaktsiooni uurimist mitmesugustes solventsüsteemides ja reaktsioonitingimustes. Selle töötükli tulemused on summeeritud poolteisttosinas publikatsioonis (vt nt [1–3]) ja 1969 a kaitsitud kandidaaditöös “Solvendiefektide mõju tertsiarse butüülkloriidi solvolüüsi kineetikale ja mehhanismile”. Nad peegeldavad ilmekalt selle näiliselt lihtsa ja elementaarse reaktsiooni kineetikat ning mehhanismi, sõltuvalt reaktsioonitingimuste ja lahusti omadustest, samuti elektrofiilse katalüsaatori olemasolust ja omadustest.

Loogilise jätkuna kandidaaditöös kokkuvõetule ja sealse materjali üldistuse ning olulise edasiarendusena nägi paar aastat hiljem ilmavalgust üldine kvantitatiivne lähenemisviis solvendi(lahusti) efektide mõju arvestamiseks keemiliste reaktsioonide kiirus- ja tasakaalukonstantidele, lahustunud ainete füüsikalise-keemilistele karakteristikutele (optilised omadused ja raadiospektrid (TMR), lahustuvus jne) jne, mis kirjeldab solvendi efekte, võttes arvesse lahusti solvateeriva võime nn mittespetsiifilisi (nt dielektriline läbitavus ja murdumisnäitaja) ja spetsiifilisi (elektrofiilne ja nukleofiilne solvatatsioon, ka solvateeriva molekuli steerilised omadused) karakteristikuid [4–7]. Selle lähenemise formaliseeritud kuju

$$A_i = A_o + pP + yY + eE + bB + \delta'E_s' ,$$

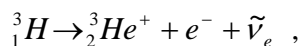
kus A_i ja A_o on solvendiefektidest sõltuv füüsikalise-keemiline karakteristik suvalises(i) ja standardses lahustis (nt gaasifaasis), $Y=f(\epsilon)$ ja $P=f(n)$ on nn lahusti polaarsus ja polariseeritavus, E ja B – lahusti elektrofiilse ja nukleofiilse solvatatsiooni karakteristikud, E_s' lahusti molekuli nn. isosteerilised konstandid ja p , y , e , b ja δ' – konstandid ning ϵ ja n solvendi dielektriline läbitavus ja murdumisnäitaja, on kirjanduses tuntuks saanud Koppel-Palmi võrrandi nime all.

Seitsmekümnendate aastate alguses laiendasin ma oma uurimisvaldkonda happelis-aluseliste tasakaalude uurimisele gaasifaasis (ioonsüklotronresonants-spektromeetria (ICR)) ja mittevahelahustes (dipolaarsed aprotoonsed lahustid, näiteks süsivesinikud (heptaan jt) ning orgaaniliste molekulide reaktsioonivõime ja elektronstruktuuri uurimisele kvantkeemia ja fotoelektron-spektroskoopia meetoditega.

Kondenseeritud keskkondades (vesi, DMSO, jt) happelis-aluseliste tasakaalude uurimisel tuleb arvestada, et lahusti molekulid interakteeruvad lahustunud ainete (hapete ja aluste) molekulide või nendega seotud ioonidega (hapete anioonid või neutraalsete aluste protoneeritud vormid – katioonid), mistõttu ainete omadused on suurel määral lahusti poolt mõjutatud. Ekstreemsetel juhtudel võib lahusti mõju olla tohutu (näiteks vesilahuses on neutraalne hape nitrometaan ja katioonne hape – ammooniumioon – praktiliselt võrdse tugevusega, samas kui gaasifaasis nimetatud hapete nn tegelike happelisuste vahe küünib *ca* 115 suurusjärguni!) või siis võib väga oluliselt muutuda võrreldavate partnerite tegeliku tugevuse “pingerida”. Nii on näiteks vesilahuses HBr *ca* 10 miljonit korda tugevam hape kui pikriinhape, samas kui gaasifaasis, ilma lahusti molekulide “kõrvalise” abita on viimane omakorda 100 miljardit korda tugevam kui HBr. Seetõttu on ainete tõeliste, lahusti molekulidest häirimata omaduste teadaamiseks oluline teostada eksperimente tingimustes, kus lahusti molekulid puuduvad, s.o kõrgvaakumis gaasifaasis.

1974/75 aastatel õnnestus mul USA ja NSVL vahelise kõrgkooliteadlaste vahetuse raames töötada 10 kuud California Ülikoolis, Irvine'is (UCI) prof R. W. Tafti laboris gaasifaasiliste happelis-aluseliste tasakaalude uurimise alal, kasutades selleks ICR mass-spektromeetria meetodit. Tõllal alanud koostöö [8–11] oli vägagi tulemuslik ja mõlemale poolele kasulik ning pani aluse minu edasisele töötamisele gaasifaasiliste ioon-molekulreaktsioonide uurimisel veel mitmel korral nii UCI juures külalisprofessori või -teadlasena ühtekokku ligi 3 aasta jooksul (1981/82, 1989/90, 1993), kui ka mitmes teises uurimiskeskuses Kanadas (Briti Columbia Ülikool), Jaapanis (Kyushu Ülikool), Hispaanias (Madridi CSIC), Prantsusmaal (Nice'i Ülikool) ja mujal.

Koostöö andis tugeva positiivse impulsi ka esimese ICR-spektromeetri ehitamiseks [12,13] Eestis (1981) akad E. Lippmaa juhitava Eesti TA Keemilise ja Bioloogilise Instituudi juures. Selle spektromeetri modifitseeritud ülükõrglahutuslikul 4.7T magnetiga versioonil KBFI-TÜ koostöö raames teostatud eksperimentidest on kahtlemata silmapaistvamaks lühike kuid oluline ekskurs [14,15] neutriinofüüsikasse. Kasutades nimetatud spektromeetrit õnnestus triitiumi β -lagunemise



kus e^- – elektron ja $\tilde{\nu}_e$ – elektron-antineutriino

${}^3_1H^+ / {}^3He^+$ dubleti massivahe ($18599 \pm 2eV$) ülitäpse mõõtmise tulemusena tuua väga oluline argument “tabamatu” elektron-antineutriino nullist erineva seisumassi toetuseks. Siin võib lõpetuseks lisada, et nendest katsetest möödunud paari aastakümne jooksul kogunenud ulatuslik ja mitmekesine täiendav eksperimentaalne materjal on üheselt kinnitanud neutriino massi olemasolu.

Paralleelselt gaasifaasiliste happelis-aluseliste tasakaalude uurimisega tegeles meie uurimisgrupp nendel aastatel intensiivselt ka meie jaoks uudsete hapete ja aluste happelisuste ja aluseliste uurimisega dipolaarsetes aprotoonsetes solventides dimetüülsulfoksiidis ja atsetonitriilis ning suure hulga erinevate aineklasside (alkoholid, eetrid, halogeniidid, aldehüüdid, ketoonid, jne) molekulide elektronstruktuuri uurimisega eksperimentaalselt fotoelektronspektroskoopia (PES) meetodil (koostöös Uldo Mölderiga ja Rein Pikveriga) ja arvutuslikult, kasutades selleks kvantkeemia meetodeid [vt16 ja seal toodud viiteid].

Me ei põlanud ära ka füüsikalises-orgaanilises keemias laialt levinud korrelatsioonivõrrandite meetodit, pakkusime välja paar originaalset võrrandit gaasi- ja vedelfaasiliste happelisuste-aluseliste ja orgaaniliste molekulide ionisatsioonipotentsiaalide struktuurifaktoritest sõltuvuse kirjeldamiseks [17, 18]. Võrrandid töötasid, originaalne oli muuhulgas nn asendusrühmade polariiseritavuse efekti arvesse võtmine. Töö tulemused on summeeritud paljudes artiklites ja ülevaatlikus peatükis, mille põhipuuduseks oli tagantjärele vaadates see, et nad polnud lääne autoritele piisavalt kättesaadavad, mistõttu levisid kiiresti alternatiivsed, samade või lähedaste ideede baasil konstrueeritud lähendused.

Keemiadoktori väitekirja “Struktuuri mõju orgaaniliste ühendite prootonafiinustele ja ionisatsioonipotentsiaalidele” kaitsesin 1986. a Moskvaa NSVL TA Keemilise Füüsika Instituudis. Dissertatsioon kujutas justkui “vahearuanne” 10–15 aasta jooksul tehtud uurimustest, mis olid eksperimentaal-teoreetilised, baseerudes nii gaasi- ja vedelfaasiliste happelis-aluseliste tasakaalude ja fotoelektronspektrite mõõtmistel kui ka nende interpreteerimisel kaasaegsete kvantkeemia meetoditega.

Happelis-aluseliste tasakaalude uurimisele on viimase saja aasta jooksul pühendatud palju tuhandeid uurimusi väga paljudelt, sealhulgas tõeliselt välja-paistvatelt uurijatelt nagu W. Ostwald (ainus Eestiga seotud ja TÜ lõpetanud Nobeli laureaat), S. Arrhenius, J. N. Brønsted, G. N. Lewis ja paljud teised. Inimloomusele on omane püüd kõiges rekordeid püstitada, äärmusse arendada ja tahes või tahtmata testida nn “kasvu piire”. Nii on ka hapete-aluste uurimise valdkonnas muuhulgas alati ka tegu olnud ülitugevate, nn superhapete ja superaluste otsingule suunatud uurimistöödega. Muide, mõiste “superhape” võttis kasutusele 1927. a ei keegi muu kui juba ülalpool seoses hoopis teiste valdkondadega mainitud J. B. Conant. Kaasaegse definitsiooni (R. J. Gillespie,

1972) järgi loetakse superhapeteks happeid, mis on tugevamad kui 100% väävelhape.

Tegu pole kaugeltki vaid lihtsast uudishimust või kirest tingitud võidujooksuga, sest superhapetel ja superalustel on keemiatööstuses ja meie igapäevaelus palju äärmiselt olulisi rakendusi. Homogeensed ja heterogeensed superhappelised süsteemid on laialdaselt kasutusel katalüsaatoritena naftakeemiatööstuses ning polümeeride keemias ja orgaanilises sünteesis, komponentidena elektrokeemilistes jõuallikates (Li-ioonpatareid, kütuseelemendid, superkondensaatorid, jne) ja mujal. Samuti on laiad kasutusala heterogeensetel ja homogeensetel superalustel.

Viimase viieteistkümne aasta jooksul pole sellest võidujooksust kõrvale jäänud ka meie uurimisgrupp. Kõigepealt õnnestus 1994. a ilmunud publikatsioonis [19] püstitada ulatuslik (hõlmab 10^{29} -kordset happelisuse muutust) kvantitatiivne gaasifaasilise happelisuse skaala rohkem kui 120 NH, SH, OH ja CH Brønstedi superhappe jaoks. Muuhulgas leiti, et suur hulk uut tüüpi superhappeid ületavad oma happelisuse poolest paljude suurusjärgude võrra traditsioonilisi mineraalhappeid (HCl, HBr, H₂SO₄, HClO₄). Edasises tegevuses [20, 21] töötati välja oluliselt täiustatud printsiibid ülitugevate Brønstedi hapete disainiks, üldistades ja edasi arendades seni kasutusel olnud meetodeid ülitugevate superhapete konstrueerimiseks. Leiti, et lisaks tugevalt elektronaktseptorsete ja hästi polariseeruvate asendusrühmade happe molekuli happelisuse tsentri lähedusse inkorporeerimisele, ekstensiivsele negatiivse laengu delokalisatsioonile happega konjugeeritud anioonis jne on vajalik disainida aniooni nii, et seal puuduksid π -elektronid ja vabad elektronpaarid ning et soovitatavalt kõrge sümmeetriaga (näiteks ikosaedrilisega) ning prootoniga ülimalt nõrgalt koordineeravas anioonis toimuks negatiivse laengu delokalisatsioon kolme-dimensionaalse sigma-romaatsuse kontseptsioonile vastava mehhanismi järgi. Kirjeldatud printsiibid lubavad ennustada uute ülitugevate superhapete (näiteks closo-CB₁₁X₁₂H karboraanide derivaadid [vt 20 ja sealtoodud viited], kus X on näiteks halogeen või CF₃ rühm) olemasolu, mille oodatav happelisus võib ületada 70–80 suurusjärku (10 seitsme- või kaheksakümne nulliga!) vana hea väävelhappe vastava näitaja.

Saadud tulemused omavad suurt potentsiaali komponentide loomiseks kõrg-efektiivsete elektrokeemiliste jõuallikate (Li-ioon patareid, superkondensaatorid, kütuseelemendid), stereoselektiivsete regenereeritavate keskkonna- ja niiskusesõbralike katalüsaatorite loomisel orgaanilise sünteesi tarbeks, uute, nn roheline keemia vajadustele vastavate ionsete vedelike disainiks jne.

Elus juhtub sageli, et lausa äärmuslikeks vastanditeks peetud osapooltel võib ilmned olulisi ühiseid jooni ja vastastikust "atraktiivsust". Nii on lood ka superhapete ja superaluste keemias. Osaledes võidujooksus üha tugevamate superhapete disainis ja loomises ja sellega kaasnevas prootoniga võimalikult nõrgalt interakteeruva aniooni "konstrueerimises", pole me unarusse jätanud ka

uute ülitugevate neutraalsete aluste disaini, loomist ja omaduste uurimist. Fosfaseenide, fosfori üliidide ja mõnede teiste superaluste omaduste nende elektronstruktuurist sõltuvuse uurimise tulemusena täpsustati ka neutraalsete Brønsted'i aluste aluselise muutmise üldiseid seaduspärasusi ning selgitati, analoogselt hapete kohta öeldule, ka superaluste kui potentsiaalselt oluliste moodsate sünteetiliste ja analüütiliste reagentide aluselise võimalikke "kasvupiire" [22]. Selles valdkonnas on viimase aja "lemmiklapseks" kujunenud (koostöös Bremeni Ülikooliga) uudsete mittetsütotoksiliste orgaaniliste, fosfaseenidel baseeruvate superaluste disain, süntees, omaduste uurimine ja rakenduste otsimine [23]. Nagu intuiitiivselt võiks oodata, on superaluseks pürgivale neutraalsele alusele esitatavad "kvalifikatsiooninormid" lausa risti vastu käivad nendele, millega me puutusime äsja kokku superhappe ja temaga konjugeeritud, nõrgalt prootoniga interakteeruva aniooni puhul. Nüüd on nõue juba see, et neutraalses aluses endas peavad aluselise tsentrit ümbritsema tugevalt elektronodonorsed ja kõrgelt polariseeruvad asendusrühmad ning negatiivne laeng peab olema soovitatavalt kontsentreerunud prootonit aktsepteerivale rühmitusele (tsentrile). Ja vastupidi superhappe anioonidele, peab neutraalse aluse protoneeritud vorm tagama positiivse laengu võimalikult ekstensiivse delokalisatsiooni protoneerumise tulemusel tekkinud ülinõrgal katioonsel happel, mis nüüd peab "küünte ja hammastega" prootonit kinni hoidma. Seega siis laias laastus paras peegelpilt superhappe juhtumile, kus ülinõrk aniooni alus pole "huvitatud" interakteerumisest muidu nii "kõikesööva" ja väheselektiivse prootoniga.

Hapete ja aluste happelis-aluselised omadused sõltuvad sageli väga olulisel määral keskkonnaefektidest (solvendist), kusjuures võivad oluliselt muutuda nii uuritavate hapete ja aluste suhteline tugevus (järjestus) kui ka selle intensiivsus. Seega on mitmesuguste sünteetiliste, tehnoloogiliste ja ka analüütiliste rakenduste puhul oluline teada happelis-aluseliste tasakaalude solventsõltuvuste kvantitatiivseid aspekte. Sellest lähtudes on loodud ulatuslik ühtne hapete ja aluste happelisuse-aluselise skaala polaarses solvendis – atsetonitriilis [24, 25] ning nn ioonpaarse aluselise skaala vähepolarse solvendi THF keskkonnas [23, 26]. Esmakordselt maailmas õnnestus välja töötada ulatuslik hapete tugevuse spektrofotomeetrilise määramise meetodika apolaarse lahusti heptaani keskkonnas [27, 28], kasutades titrandina lipofiilset superalust t-BuP₄, mille protoneerimise tulemusena tekkiv suuremõtmeline positiivse laengu ulatusliku delokalisatsiooniga kation on nimetatud keskkonnas lahustuv ja nõrgalt interakteeruv happeaniooniga.

Eraldi uurimistsükklis [29] selgitati välja mitmed olulised seaduspärasused, mis määravad leelismetallikationide (näiteks Li⁺) ja Lewis'i aluste vahelise interaktsiooni intensiivsuse, sõltuvalt katiooni iseloomust ning neutraalsete ja anioonsete Lewis'i aluste elektronstruktuurist.

Oma teadlastee alguses tuli mul tegemist teha ühe vägagi levinud keemilise reaktsiooni mehhanismi uurimisega. Elu käib aga spiraali pidi ja peale selle on need esimesed kiindumused sageli ikka üsna püsivad. Seetõttu polegi üllatav, et mõnda aega domineerinud happelis-aluseliste tasakaalude uurimisele ja sellega seotud superhapete ja -aluste disainile on loogilisel viisil lisandunud ka mõnede kõrge steerilise sisepingega nn puurikujuliste molekulide (näiteks kubaan ja tema derivaadid) protoneerimise või deprotoneerimise protsessiga seotud isomerisatsioonireaktsioonide prootoni ülekandega seotud mehhanismi uurimine [30–32], mis võimaldab mõista üsnagi ootamatult ilmnevaid (vähemalt näilikke) superhappelisi ja superaluselisi omadusi.

Teadus (vähemalt *science*'i mõistes) on internatsionaalne. Seetõttu on mitmed ülalkirjeldatud uurimistööd teostatud koostöös mitmete maade, ülikoolide ja teaduskeskuste teadlastega. Aastate jooksul on püsivam ja viljakam koostöö suhe kujunenud USA (Irvine, Princeton, Edgewood, Stanford jt), Jaapani (Fukuoka), Prantsusmaa (Nice), Hispaania (Madrid, Barcelona), Saksamaa (Bremen, Berliin, Erlangen, Freiburg, Marburg, jne), Rootsi (Uppsala), Austraalia (Melbourne), Canada (Vancouver, Toronto), Ukraina (Kiiev, Donetsk), Venemaa (Novosibirsk, Moskva) ja mitmete teiste maade teadlastega.

On loomulik ja meeldiv tunnistada, et selles üsnagi fragmentaarses kirjutises mainitud tulemused on saanud teoks suurelt jaolt tänu pikaajalisele stimuleerivale ja efektiivsele koostööle kõigi nende kodu- ja välismaiste kolleegide, koostööpartnerite, õpilaste ja loomulikult õpetajatega, kelle nimed allpool ilmavalgust leidnud publikatsioonide kaasautoritena äramärkimist on leidnud. Ja loomulikult suur tänu paljudele pikkade aastate jooksul uurimistöid materiaalselt ja moraalselt toetanud organisatsioonidele ja isikutele mitmes maailmajaos!

KIRJANDUS

1. Koppel, I. A., Palm, V. A. 1967. The influence of chemical nature and composition of solvent on rate constants. XIII, Concerning the application of “dielectric” approach for the solvolysis of t-BuCl in individual solvents. *Organic Reactivity*, 4, 861-891.
2. Koppel, I. A., Palm, V. A. 1967. The influence of chemical nature and composition of solvent on rate constants. XIV, The application of the “dielectric” approach for the solvolysis of t-BuCl in binary solvent mixtures. *Organic Reactivity*, 4, 892-909.
3. Koppel, I. A. 1976. Isoparametric point in the solvolysis of t-BuCl. *Organic Reactivity*, 13, 233-245.
4. Koppel, I. A., Palm, V. A. 1971. General equation for solvent effects. *Organic Reactivity*, 8, 296-301.

5. Koppel, I. A., Palm, V. A. 1972. The influence of the solvent on organic reactivity. Chapman, N. B., Shorter, J. (eds). *Advances in LFER*. Plenum, New York, 203-280.
6. Koppel, I. A., Paju, A. J. 1974. Parameters of general basicity of solvents. *Organic Reactivity*, 11, 121-136.
7. Koppel, I. A., Paju, A. J. 1974. The extended scale of solvent electrophilicity. *Organic Reactivity*, 11, 137-140.
8. Wolf, J. E., Staley, R. H., Koppel, I. A., Taagepera, M., McIver, R. T. Jr., Beauchamp, J. L., Taft, R. W. 1977. Gas-phase basicities and relative proton affinities of compounds between water and ammonia from pulsed ICR thermal equilibria measurements. *J. Am. Chem. Soc.*, 99, 5417-5429.
9. Taft, R. W., Koppel, I. A., Topsom, R. D., Anvia, F. 1990. Acidities of OH compounds, including alcohols, phenol, carboxylic and mineral acids. *J. Am. Chem. Soc.*, 112, 2047-2052.
10. Koppel, I. A., Pihl, V. O., Koppel, J. B., Taft, R. W., Anvia, F. 1994. The thermodynamic acidity of (CF₃)₃CH and 1H-Undecafluorobicyclo[2.2.1]heptane and the concept of anionic hyperconjugation. *J. Am. Chem. Soc.*, 116, 8654-8657.
11. Taft, R. W., Abboud, J.-L., Anvia, F., Koppel, I. A. et al. 1988. Regarding the inherent dependence of resonance effects of strongly conjugated substituents on electron demand. *J. Am. Chem. Soc.*, 110, 1797-1800.
12. Koppel, I. A., Pikver, R. J., Sügis, A. J., Suurmaa, E., Lippmaa, E. T. 1981. The study of structural and solvent effects on basicity of some anions in gas phase by FT ICR spectroscopy. *Organic Reactivity*, 18, 3-18.
13. Koppel, I. A., Pikver, R. J., Sügis, A., Suurmaa, E. R., Lippmaa, E. T. 1982. The FT ICR study of fluorine-containing substituents on the basicity of anions in gas-phase. *Dokl. Akad. Sci. USSR*, 265, 650-653.
14. Lippmaa, E. T., Pikver, R. J., Suurmaa, E. R., Past, J. O., Puskar, J. H., Koppel, I. A., Tammik, A. A. 1984. On measurements of mass difference of He(3) and Tritium ions by high resolution FTICR. *JETP Lett.*, 39, 646-648.
15. Lippmaa, E. T., Pikver, R. J., Suurmaa, E. R., Past, J. O., Puskar, J. H., Koppel, I. A., Tammik, A. A. 1985. Precise ³H-³He mass difference from neutrino mass determination. *Phys. Rev. Lett.*, 54, 285-288.
16. Mölder, U., Pikver, R., Koppel, I. I., Burk, P., Koppel, I. A. 2002. Photoelectron spectra of molecules. 12, Vinyl, Allyl, and Phenyl Ethers and Sulfides. *J. Mol. Struct. (THEOCHEM)*, 579, 205-220.
17. Koppel, I. A., Pikver, R. J., Mölder, U. H. 1981. The dependence of ionization potentials and proton affinities on structure I, Ionization potentials. Correlations with substituent constants and polarizability. *Organic Reactivity*, 18, 380-410.
18. Koppel, I. A., Mölder, U. H. 1983. The dependence of ionization potentials and proton affinities on structure II, Proton affinities. Correlations with substituent constants and polarizability. *Organic Reactivity*, 20, 3-44.

19. Koppel, I. A., Taft, R. W., Anvia, F., Zhu, S.-Z., Hu, L.-Q., Sung, K.-S., DesMarteau, D. D., Yagupolskii, L. M., Kondratenko, N. V., Volkonskii, A. Yn., Vlasov, V. M. 1994. The gas-phase acidities of very strong neutral Brönsted acids. *J. Am. Chem. Soc.*, 116, 7, 3047-3057.
20. Koppel, I. A., Burk, P., Koppel, I., Leito, I., Sonoda, T., Mishima, M. 2000. Gas-phase acidities of some neutral superacids: a DFT and Ab initio study. *J. Am. Chem. Soc.*, 122, 5114-5124.
21. Koppel, I. A., Burk, P., Koppel, I., Leito, I. 2002. Generalized principle of designing of neutral superstrong Bronsted acids. *J. Am. Chem. Soc.*, 124, 5594-5600.
22. Koppel, I. A., Schwesinger, R., Breuer, T., Burk, P., Herodes, K., Koppel, I. I., Leito, I., Mishima, M. 2001. Intrinsic basicities of phosphorus imines and ylides : A theoretical study. *J. Phys. Chem. A*, 105, 9575-9586.
23. Kolomeitsev, A. A., Koppel, I. A., Rodima, T., Barten, J., Lork, E., Röschenthaler, G.-V., Kaljurand, I., Kütt, A., Koppel, I. I., Mäemets, V., Leito, I. Guanidinophosphazenes : Design and synthesis of the novel family of uncharged organic bases and their basicity in THF and in the gas phase. *J. Am. Chem. Soc.* (In press).
24. Leito, I., Kaljurand, I., Koppel, I. I., Yagupolskii, I. A., Vlasov, V. M. 1998. Spectrophotometric acidity scale of strong neutral Brönsted acids in acetonitrile. *J. Org. Chem.*, 64, 22, 7868-7874.
25. Kaljurand, I., Kütt, A., Sooväli, L., Rodima, T., Leito, I., Koppel, I. A. 2005. Extension of the self-consistent spectrophotometric basicity scale in acetonitrile to full span of 28 pK_a units: Unification of different basicity scales. *J. Org. Chem.*, 70, 1019-1028.
26. Kaljurand, I., Rodima, T., Pihl, A., Mäemets, V., Leito, I., Koppel, I. A., Mishima, M. 2003. Acid-base equilibria in nonpolar media. 4, Expanding the self-consistent basicity scale in THF medium. Gas-phase basicities of phosphazenes. *J. Org. Chem.*, 68, 9988-9993.
27. Leito, I., Rodima, T., Koppel, I. A., Schwesinger, R., Vlasov, V. M. 1997. Acid-base equilibria in nonpolar media. Part I, A spectrophotometric method for acidity measurements in heptane. *J. Org. Chem.*, 62, 8479-8483.
28. Rõõm, E.-I., Kaljurand, I., Leito, I., Rodima, T., Koppel, I. A., Vlasov, V. M. 2003. Acid-base equilibria in nonpolar media. 3, Expanding the spectrophotometric acidity scale in heptane. *J. Org. Chem.*, 68, 7795-7799.
29. Burk, P., Koppel, I. A., Koppel, I., Kurg, R., Gal, J.-F., Maria, P.-C., Herberos, M., Notario, R., Abboud, J.-L. M., Anvia, F., Taft, R. W. 2000. Revised and expanded scale of gas-phase lithium-cation basicities : An experimental and theoretical study. *J. Phys. Chem. A.*, 104, 2824-2833.
30. Abboud, J.-L. M., Koppel, I. A., Davalos, J. Z., Burk, P., Koppel, I., Quintanilla, E. 2003. Protonation of cubane in the gas phase : A high-level Ab initio and DFT study. *Angew. Chem. Int. Edit.*, 42, 19, 1044-1046.

31. Abboud, J.-L., Alkorta, I., Burk, P., Davalos, J. Z., Quintanilla, E., Della, E. W., Koppel, I. A., Koppel, I. 2004. The enormous apparent gas-phase acidity of cubylamine. *Chem. Phys. Lett.*, 398, 560-563.
32. Abboud, J.-L. M., Koppel, I. A., Alkorta, I., Della, E. W., Müller, P., Davalos, J. Z., Burk, P., Koppel, I., Pihl, V., Quintanilla, E. 2003. Stereoelectronic, strain and medium effects on the protonation of cubylamine, a Janus-like base. *Angew. Chem. Int. Edit.*, 42, 20, 2281-2285.

*Teaduspreemiale täppisteaduste alal
tööde tsükli "Kvarkide ja leptonite ühendteooriast" eest*



Martti Raidal

Sündinud 26. veebruaril 1968 aastal Paides

1986 Nõo Keskkool
1992 Tartu Ülikooli, füüsika eriala
1995 Ph.D. Helsingi Ülikool, teoreetiline füüsika

Alates 1995 KBFI teadur ja vanemteadur.

1998–1999 A. von Humboldt *Fellow*

2001–2002 Marie Curie *Fellow*

Järeldoktor: Valencia Ülikool, DESY (Hamburg), Kalifornia Ülikool, CERN (Genf).

Avaldanud 70 teaduspublikatsiooni.

UURIMISTÖÖ TAUST

Viimastel aastatel on füüsikud saanud olulist informatsiooni universumi ehituse kohta nii astrofüüsikaliste vaatluste kui ka elementaariosakeste füüsika eksperimentide alusel. Oluline side nende kahe temaatika vahel on viinud olukorraneni, kus füüsika, mis seletab universumi kõige suuremaid mastaape, ja füüsika, mis seletab kõige väiksemat, näiteks universumi arengut vahetult pärast suurt pauku, on sisuliselt muutunud teineteisest lahutamatuks.

Kaks kõige rohkem maailmavaadet muutvat avastust kosmoloogias on universumi kiirenev paisumine ja kosmoloogilise inflatsiooni eksperimentaalne tõestus. Need mõlemad avastused annavad surmahoobi naiivsele suure paugu dogmaatikale. Situatsioon on mõnevõrra sarnane sajand tagasi toimunuga, kui relatiivsusteooria formuleerimine muutis ajalooks kosmilise “eetri” dogmaatika. Tänapäeval kasutatakse sõna “eeter” vaid raadiosaadete käibeväljendites, sama saatus ootab ka väljendit “suur pauk”.

Inflatsioon kosmoloogias tähendab universumi plahvatuslikku, valguse kiirusest suurema kiirusega paisumist. Tänu inflatsioonile on universum nii homogeenne kui praegu ja tänu inflatsioonile on universumi taustkiirguses näha fluktuatsioone. Nende viimaste avastamise põhjal on inflatsiooni paradigma ka tõestatud. Inflatsioonist järeldub ka see, et kogu informatsioon universumi oleku kohta enne inflatsiooni on kadunud, seega ei saa ka suure paugu kohta midagi öelda.

Teine suurüllatus kosmoloogiast on universumi kiirenev paisumine. Paisumine kui selline on olnud hästi teada fakt, kuid selle kiirenemine eeldab tundmatut dünaamilist protsessi, mille kohta on äärmiselt vähe andmeid. Tõenäoliselt eeldab see varjatud energia olemasolu universumis, mis peaks moodustama kogu universumi massist 70%. Selleks, et seletada neid uusi andmeid, tuleb

mõista osakestefüüsikat, mis suudab seletada nii inflatsiooni kui ka varjatud energia olemust.

SEOS ELEMENTAAROSAKESTE FÜÜSIKAGA

Kaasaegse elementaarosakeste füüsika kõige suurem ülesanne on mõista elementaarosakeste masside teket. Selleks on vaja sisse tuua uus aine liik, skalaarne väli, mille kvandid on ilma spinnita osakesed (Higgsi bosonid). Skalaarne väli on samas ka ainuvõimalik osakestefüüsika kandidaat inflatsioonile ja varjatud energia allikale. Seega oodatav progress füüsikas peaks seletama ka fundamentaalseid universumi omadusi.

Kogu nähtav aine universumis koosneb kvarkidest, mis moodustavad prootonid ja neutronid, ning leptonid, nagu näiteks elektronid ja neutriinod. Kõiki osakesteklasse on kolm koopiat (generatsiooni), mis on oma interaktsioonidelt identsed, kuid massidelt erinevad. Need generatsioonid on omavahel segunenud. Nendevahelisi vastasmõjusid kirjeldatakse kalibratsiooniteooriaga koondnimega Standardmudel, mis annab sisu kõigile tuntud interaktsioonidele (välja arvatud gravitatsioon). Kalibratsiooniteooriates seletatakse interaktsioone sümmeetriate kaudu. Interaktsioone kannavad interaktsioonibosonid, nagu näiteks foton, mille fundamentaalset olemust need teooriad seletavad. Standardmudelis on kvargid ja leptonid täiesti erinevate omadustega osakesed, sest leptonid tunnevad vaid elektronõrka vastasmõju, kuid kvargid alluvad lisaks veel ka tugevale vastasmõjule. Lisaks on neil erinevad elektrilaengud, leptonitel täisarvulised ja kvarkidel $1/3$ või $2/3$.

Kalibratsiooni sümmeetriate üks järeldusi on see, et kõik elementaarosakesed peaksid olema massita, nagu foton. See on selgelt eksperimendiga vastuolus olev ennustus. Seepärast on vaja kalibratsioonisümmeetriat rikkuda ja seda tehakse Higgsi bosoni sissetoomisega teooriasse. Higgsi bosoni interaktsioonid annavad massi kõigile teistele osakestele. Sellega seostuv energiaskaala on umbes 100 GeV.

Siinkohal tuleb veel rõhutada kvarkide ja leptonite eripärasusi masside omandamisel. Kui kvargid ja laetud leptonid saavad massi vaid Higgsi bosoni interaktsioonidest, siis neutriinod, mis on neutraalsed osakesed, võivad omandada masse ka märksa kõrgematelt energiaskaaladelt. Seetõttu on nende massid surutud alla ja kooskõlas eksperimenditulemustega väga väikesed.

Vaatamata erinevustele on võimalik leptoneid ja kvarke ühtselt käsitleda Suurtes Ühendteooriates või selle alamteooriates nagu näiteks parem-vasak sümmeetrilistes teooriates. Suurte Ühendteooriate kohta on olemas ka eksperimentaalne kinnitus kalibratsiooni-interaktsioonikonstantide ühinemise näol energial 10^{16} GeV. Samuti viitavad sellistele teooriatele neutriino massid, mille väiksus tuleneb uuest kõrgest energiaskaalast. Selle kõrge skaala üks (arvatavaid) tõestusi on ka aine-antiaine asümmeetria universumis, mida seletatakse

neutriino massidest tuleneva leptogeneesi mehhanismi läbi. Suured Ühendteooriad ennustavad ka erinevaid seoseid leptonite ja kvarkide masside ja segunemisnurkade vahel, kuid kuni 2004. aastani nende kohta kindlat eksperimentaalselt kinnitust ei olnud.

EKSPERIMENTAALNE MATERJAL

Kõik osakeste masside ja segunemistega seonduv on olnud ja on ka edaspidi rahvusvahelise eksperimentaalse osakestefüüsika üks prioriteetidest. Viimastel aastatel on maailmas tehtud kümneid eksperimente neutriinode masside ja segunemisnurkade mõõtmiseks. Tulemused näitavad, et neutriinod segunevad peaaegu maksimaalselt, mis vastandub kvarkide tagasihoidlikule segunemisele, mis on täppismõõtmistega kindlaks tehtud hetkel töös olevas kahes b-kvargi vabrikus Jaapanis ja USAs. Need mõõtmised on eeltöö Higgsi bosoni avastamiseks Large Hadron Collider kiirendil CERNis, Šveitsis, mis alustab tööd 2007. aastal. Standardmudel is genereerib kõik massid Higgsi boson ja tema interaktsioonide mõõtmine peaks andma otsest infot masside tekke kohta. Lisaks on kõik need mõõtmised otseselt seotud varajase universumi kosmoloogiaga, mille täppismõõtmisi teostab hetkel WMAP satelliit, mis annab informatsiooni universumi inflatsiooni ja ka leptogeneesi kohta. Aine-antiaine asümmeetria tekkimist varajases universumis nimetatakse bariogeneesiks. See on protsess, mis paneb aluse meie eksistentsi võimalikkusele, sest tekitab kogu universumi prootonid-neutronid, ja on otseselt seotud neutriinofüüsikaga läbi leptogeneesi. See tähendab, et esmalt tekitavad neutriinode CP-d rikkuvad lagunemised leptonite asümmeetria, mis varajases universumis muudetakse kvarkide asümmeetriaks, mida praegu mõõdetakse. Kaasaegse teoreetilise füüsika üks eesmärgi ongi selle neutriinosid, kvarke ja kosmoloogiat hõlmava eksperimentaalse tohutu info ühine mõtestatud seletamine.

UURIMISTÖÖ TULEMUSED

Premeeritud uurimistöö kõige tähtsam tulemus on tõestus, et eksperimentaalne informatsioon leptonite ja kvarkide massimaatriksite ühinemise kohta Suurtes Ühendteooriates tuleneb mitte masside absoluutväärtustest, vaid nende segunemisnurkadest. Artiklis [Raidal, 2004] näidati, et leptonite ja kvarkide segunemiste summa on täpselt bi-maksimaalne ja see ennustus on leidnud ka eksperimentaalset tõestust. Üldse on see teine (massimaatriksite seas esimene) eksperimentaalne kinnitus Ühendteooriatele. Selle tulemuseni on viinud aastatepikkune eelnev töö kvarkide segunemiste ja CP rikkumise (artikkel [Raidal, 2002]) ja neutriinofüüsika mudelite (artiklid [Ma, Raidal, 2001, 2002; Raidal, Strumia, 2003; Ma jt, 2001; Giudice jt, 2004; D'Ambrosio jt, 2003, 2004; Dedes jt, 2002; Ellis jt, 2002abcd, 2004; Ellis, Raidal, 2002; Chankowski jt, 2004]) alal. Need tulemused on omavahel seotud, võimaldades teha ennustusi universumi barionasümmeetria kohta [Giudice jt, 2004; D'Ambrosio jt, 2003, 2004; Dedes jt, 2002; Ellis, Raidal, 2002; Ellis jt, 2002d], ja seeläbi või-

maldades siduda neutriinofüüsikat, kvarkide füüsikat ja kosmoloogiat. Sealjuures neutriinode ja kvarkide CP rikkumine, seega leptogeneesi ja b-kvargi vabrikute eksperimendid, võivad olla omavahel seotud [Ellis jt, 2002abcd]. Veelgi enam, kui maailm on supersümmeetriline (seda hüpoteesi kontrollib *Large Hadron Collider* 3 aasta pärast), siis on võimalik näidata, et neutriinofüüsika ja leptogeneesi võivad kontrollida ka universumi inflatsiooni. Artiklites [Ellis jt, 2004; Chankowski jt, 2004] tehtud ennustused lepton-arvu rikkuvate laetud leptonite lagunemiste kohta võimaldavad seda teooriat kontrollida planeeritud madala-energia leptonite eksperimentides veel sel kümnel.

Kokkuvõtteks sai teaduspreemia leptonite, kvarkide ja kosmoloogia ühendteooria alane töö, mis on leidnud ka esmase eksperimentaalse kinnituse.

KIRJANDUS

D'Ambrosio, G., Giudice, G. F., Raidal, M. 2003. Soft Leptogenesis. *Phys. Lett.*, B575, 75-84.

D'Ambrosio, G., Hambye, T., Hektor, A., Raidal, M., Rossi, A. 2004. Leptogenesis in the minimal supersymmetric triplet seesaw model. *Phys. Lett.*, B604, 199-206.

Chankowski, P. H., Ellis, J., Pokorski, S., Raidal, M., Turzyski, K. 2004. Patterns of lepton flavor violation motivated by decoupling and sneutrino inflation. *Nucl. Phys.*, B 690, 279-301.

Dedes, A., Ellis, J. R., Raidal, M. 2002. Higgs mediated decays in supersymmetric seesaw models. *Phys. Lett.*, B549, 159-169.

Ellis, J., Raidal, M. 2002. Leptogenesis and the violation of lepton number and CP at low energies. *Nucl. Phys.*, B643, 229-246.

Ellis, J., Hisano, J., Lola, S., Raidal, M. 2002a. CP violation in the minimal supersymmetric seesaw model. *Nucl. Phys.*, B621, 208-234.

Ellis, J., Hisano, J., Raidal, M., Shimizu, Y. 2002b. Lepton electric dipole moments in non-degenerate supersymmetric seesaw models. *Phys. Lett.*, B528, 86-96.

Ellis, J. R., Hisano, J., Raidal, M., Shimizu, Y. 2002c. A new parametrization of the seesaw mechanism and applications in SUSY models. *Phys. Rev.*, D66, 115013.

Ellis, J., Raidal, M., Yanagida, T. 2002d. Observable consequences of partially degenerate leptogenesis. *Phys. Lett.*, B546, 228-236.

- Ellis, J. R., Raidal, M., Yanagida, T. 2004. Sneutrino inflation in the light of WMAP: Reheating, leptogenesis and flavor-violating lepton decays. *Phys. Lett., B* 581, 9-18.
- Giudice, G. F., Notari, A., Raidal, M., Riotto, A., Strumia, A. 2004. Towards a complete theory of thermal leptogenesis in the SM and MSSM. *Nucl. Phys. B*, 685, 89-149.
- Ma, E., Raidal, M. 2001. Neutrino mass, muon anomalous magnetic moment, and lepton flavor nonconservation. *Phys. Rev. Lett.*, 87, 011802.
- Ma, E., Raidal, M. 2002. Three active and two sterile neutrinos in an E(6) model of diquark baryogenesis. *J. Phys.*, G28, 95-102.
- Ma, E., Raidal, M., Sarkar, U. 2001. Phenomenology of the neutrino-mass-giving Higgs triplet and the low-energy seesaw violation of lepton number. *Nucl. Phys.*, B615, 313-330.
- Raidal, M. 2002. CP asymmetry in $B \rightarrow \Phi K_S$ decays in left-right models and its implications on B_s decays. *Phys. Rev. Lett.*, 89, 231803.
- Raidal, M. 2004. Relation between the quark and lepton mixing angles and Grand Unification. *Phys. Rev. Lett.*, 93, 161801.
- Raidal, M., Strumia, A. 2003. Predictions of the most minimal seesaw model. *Phys. Lett.*, B553, 72-78.

*Teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal uurimuste tsükli
"Bakterigenoomi mutagenees-adaptatsioonimehhanism keskkonna
stressi tingimustes" eest*



Maia Kivisaar

Sündinud 2.06.1960 Harjumaal, Kosel.

1978 Vädra Keskkool
1983 Tartu Ülikool, bioloogia (geneetika eriala)
1992 PhD molekulaarbioloogia erialal, Tartu Ülikool
1992 Eesti vabariigi teaduspreemia (kollektiivi liikmena)

1983–1985 Tartu Ülikooli geneetika ja tsütoloogia kateedri nooremteadur,
1986–1991 plasmiidibioloogia labori nooremteadur ja teadur, 1991–1992 molekulaar- ja rakubioloogia instituudi nooremteadur ja teadur ning alates 1993 samas instituudis dotsent.

Avaldanud üle 20 teaduspublikatsiooni eelretsenseeritavates rahvusvahelistes ajakirjades.

EVOLUTSIOON STRESSITINGIMUSTES

SISSEJUHATUS

Viimasel ajal on seoses üha kiireneva elutempoga hakatud palju rääkima stressist. Raske on vist leida inimest, kes nõustuks väitega, et tema elu on täiesti stressivaba. Kui aga juttu tuleb stressis olevatest bakteritest, tekitab see bioloogiast eemalseisvates inimestes sageli hämmingut, et kas elu on tõesti nii hulluks läinud, et isegi bakterid on stressis...

Millal on bakterid stressis? Õigem oleks vist küsida, millal nad ei ole stressis. Alati, kui bakterite paljunemine on takistatud kas toitainete nappuse või ebasobivate keskkonna füüsikalise-keemiliste parameetrite tõttu (kõrvalekalded optimaalsest temperatuurist, pH-st, osmolaarsusest, hapnikuga varustusest, jne), tekitab see neile stressi. Põhiline bakterite kasvu piirav tegur on toitainete nappus. Patogeensete bakterite paljunemist takistavad lisaks veel sellised tegurid, nagu peremeesorganismi immuunvastus, antibiootikumi ravi. Bakterid on võimelised väga kiiresti kohastuma muutunud keskkonnatingimustega. Esmane kohastumine on kiire, füsioloogiline ja võimaldab bakteritel mõnda aega elus püsida neile ebasoodsas keskkonnas. Sel juhul bakterite kasv peatub. Vähejagunevates või mittejagunevates bakterirakkudes (neid nimetatakse stationaarse kasvufaasi rakkudeks) langeb järsult valgusünteesi ja DNA replikatsiooni tase. Samas sünteesitakse neis rakkudes spetsiifilisi valke, mille hulka on kiiresti paljunevates rakkudes väga madal ja mis kaitsevad rakke ebasoodsate keskkonnamõjutuste eest.

Bakterite kohastumus muutunud keskkonnatingimustega võib olla ka geneetiline, kus muutused toimuvad bakteri genoomis. Bakterite eripära seisneb selles, et neil on ainult üks kromosoom – nende genoom on haploidne. Seetõttu

satub iga bakterigenoomi tekkinud mutatsioon koheselt loodusliku valiku alla. Suur osa juhuslikult tekkinud mutatsioonidest on rakule kas kahjuliku või enam-vähem neutraalse toimega. Mõni mutatsioonidest võib aga osutuda kasulikuks, võimaldades mutantsel bakteril antud tingimustes paljunema hakata. Bakterid võivad mutatsioonide tõttu muutuda resistentseks teatud antibiootikumile või omandada võime kasutada toiduks ühendit, mida varem ei suutnud. Juhuslikult tekkinud kasulik mutatsioon kandub raku pooldumisel edasi tütar-rakkudele, need jagunevad omakorda ja nii saavutab mutantse raku järglaskond bakteripopulatsioonis kiiresti ülekaalu. Näiteks meditsiinis on antibiootikumiresistentsete bakteritüvede teke tõsiseks probleemiks. Võidujooks farmaatsiatööstuste ja kiiresti muunduvate bakteritüvede vahel jääb ilmselt alati kestma.

Uurides mikroobsete populatsioonide kiiret adapteerumist muutuvate keskkonnatingimustega, puutume me kokku fundamentaalsete probleemidega, mis on seotud eluslooduse evolutsioneerumisega. Mutatsiooniprotsesside uurimine bakteripopulatsioonides on üheks võimaluseks jälgida evolutsiooniprotsesse suhteliselt lühikese aja vältel. Samas on seoses mikroobsete populatsioonide kiire evolutsioneerumisega stressitingimustes kerkinud üles terve rida küsimusi. Stressitingimustes on bakterite jagunemine pärsitud, mistõttu DNA sünteesi tase on neis rakkudes suhteliselt tagasihoidlik. Seega peaks vähenema ka võimalus mutatsioonide tekkeks. Ometi ilmuvad stressitingimustes bakteripopulatsiooni kiiresti uued, antud keskkonnaga kohastunud variandid. Kas mutatsioonisagedus suureneb stressitingimustes? Mikroobide puhul on seda tõesti täheldatud. Siit tekib omakorda küsimus: mis põhjustab mutatsioonisageduse suurenemist? Kas stressis (sageli näljastressis) olevates bakterites, kus bioloogiliste protsesside toimumiseks vajalikud ressursid on ammendumas, ütlevad üles kontrollmehhanismid, mis tagavad genoomis talletunud informatsiooni säilimise muutumatul kujul, või kujutab mutatsioonisageduse suurenemine stressi korral endast hoopis kindlat strateegiat, mis on ühelt poolt küll mäng tulega, teisalt aga suurendab tõenäosust, et tekib ka kasulikke mutatsioone, võimaldamaks keskkonnaga paremini kohastunud variantide teket. Seega, kas evolutsiooni käigus on bakteritel välja kujunenud kontrollmehhanismid, mis võimaldavad neil ebasoodsate keskkonnatingimuste korral suurendada mutatsioonisagedust, kiirendamaks nende genoomi evolutsioneerumist?

STATSIONAARSE FAASI MUTATSIOONID

Igasugune stress pärsib bakterite kasvu ja seetõttu on mikroobsed populatsioonid enamasti statsionaarses kasvufaasis, kus rakkude arv ei suurene. Staatilises bakteripopulatsioonis tekkinud mutatsioone nimetatakse statsionaarse faasi mutatsioonideks. Paralleelselt on kasutusel ka termin “adaptatiivsed mutatsioonid” (*adaptive mutations*), mis tulenes nähtusest, et need tekkisid näiliselt

sagedamini tingimustes, kus mutantsed bakterid said võrreldes ülejäänud populatsiooniga koheselt kasvueelise [Cairns jt, 1988].

Statsionaarse faasi mutatsioonide spekter erineb kiiresti jagunevates rakkudes tekkinud mutatsioonide spektrist. Mutatsioonispektri erinevus viitab kasvavates rakkudes ja statsionaarse faasi rakkudes toimunud mutatsioonide tekke mehhanismide erinevustele. Mutatsiooniprotsesside uurimisel nälgivas bakterirakus on üheks enimuuritud testsüsteemiks *E. coli* F plasmiidis asuva mutante *lacZ* geeni funktsionaalsuse taastumine, mis võimaldab bakteritel lagundada laktoosi ja kasvada keskkonnas, kus laktoos on ainsaks süsinikuallikaks [Cairns, Foster, 1991]. Kui baktereid nälgutati laktoosi sisaldaval minimaalsöötmel, domineeris laktoosi lagundavates Lac⁺ mutantides kindel mutatsioonitüüp – ühe nukleotiidi kaotamine *lacZ* geeni algusosas olevast DNA järjestusest, kus see nukleotiid esines kordusena. Rakkude kasvatamisel toitainete poolest rikkas keskkonnas isoleeriti aga laktoosi lagundavaid mutante, kus *lacZ* geeni funktsiooni taastanud mutatsioonide spekter oli märksa kirjum [Foster, Trimarchi, 1994; Rosenberg jt, 1994].

Seda, et erinevus mutatsioonitekke mehhanismides kasvavates ja statsionaarse faasi rakkudes ei piirdu üksnes eelpoolkirjeldatud testsüsteemiga, näitasid meie poolt läbiviidud uuringud, kus kasutasime mullabakterisse *Pseudomonas putida* viidud testsüsteemi. See testsüsteem võimaldas testida selliste mutatsioonide teket, mis tekitasid fenooli lagundamist määravate geenide *pheBA* ette funktsionaalse promootori [Kasak jt, 1997]. Fenooli lagundavate Phe⁺ mutantide akumulereumiskiirus selektiivsöötmel sõltus bakterite füsioloogilisest seisundist enne selektiivsöötmele viimist: võrreldes kasvavate rakkudega oli statsionaarse faasi rakkude puhul mutantide akumulereumiskiirus selektsiooni algperioodil märksa kiirem. Erinevused ilmnisid ka kasvavates rakkudes ja statsionaarse faasi rakkudes tekkinud mutatsioonide spektris [Kasak jt, 1997]. Edasiste uuringute käigus nägime, et erinevused mutatsioonide tekkemehhanismides ilmnevad ka siis, kui võrrelda lühiajaliselt ja pikemalt nälgitud bakteripopulatsioone. Leidsime, et teatud tüüpi mutatsioonide osakaal suurenes nälgimise süvenedes [Saumaa jt, 2002]. Lisaks suurenes pikaajaliselt nälgitud rakupopulatsioonis mobiilsete DNA elementide transponeerumissagedus [Kasak jt, 1997; Ilves jt, 2001; Saumaa jt, 2002]. Siinkohal tasuks rõhutada seda, et kuna looduslikes tingimustes on bakterite kasv sageli toitainete nappuse tõttu pärssitud, võiksid laboritingimustes just pikaajaliselt nälgitud rakkudes kirjeldatud mutatsiooniprotsessid kajastada täpsemalt seda, mis toimub looduses.

MUTATSIOONISAGEDUST MÕJUTAVAD PROTSESSID

Bakterite geneetilist kohastumist muutunud keskkonnatingimustega võimaldavad punktmutatsioonid ja erinevad rekombinatsiooniprotsessid. Punktmutatsioonidena käsitletakse ühe nukleotiidi asendumist teisega DNA ahelas (asendusmutatsioonid) ja raaminihkemutatsioone, kus algsest DNA järjestusest lä-

heb kaotsi või lisandub sinna 1–2 nukleotiidi. Raaminihkemutatsioonide tõttu nihkub valku kodeeriva geenijärjestuse lugemisraam ja sünteesitakse muutunud omadustega või oma funktsiooni kaotanud valk, mis erineb alates mutatsioonikohast täielikult algse valgu aminohappelisest järjestusest. Rekombinatsiooniprotsesside tagajärjeks on suuremad ümberkorraldused genoomis.

Punktmutatsioone võivad põhjustada DNA replikatsioonil tekkinud vead, mutageenid ja DNA kahjustused. DNA ahelasse tekkinud vigu kõrvaldavad DNA reparatsioonimehhanismid. Juhul kui mõni põhilistest DNA reparatsioonisüsteemidest ei tööta, suureneb mutatsioonisagedus kuni tuhat korda. Näiteks kroonilist kopsupõletikku põdevatelt tsüstilise fibroosi patsientidelt on isoleeritud mutaatorfenotüübiga patogeenseid *Pseudomonas aeruginosa* bakteritüvesid, kus DNA reparatsioonisüsteemi kodeerivad geenid on mutatsiooni tõttu inaktiveeritud [Oliver jt, 2000]. Mutaatorid tekivad bakteripopulatsiooni sagedusega üks saja tuhande raku kohta ning nende hulk suureneb populatsioonis siis, kui pidevalt muutuv keskkonnas jäävad ellu üksnes uusi kasulikke mutatsioone omavad bakterid. Kuna kroonilist kopsupõletikku põdevaid tsüstilise fibroosi patsiente püüti ravida erinevate antibiootikumidega, toimis bakteritele ka sel juhul pidev surve kohastuda uute keskkonnatingimustega.

Punktmutatsioonide tekkesageduse suurenemist stressis olevates rakkudes võivad põhjustada ka mehhanismid, mis on seotud vigaderohkete (*error-prone*) DNA polümeraaside induktsiooniga. Sel juhul on tegemist ajutise mutaatorfenotüübiga. DNA polümeraas Pol III (mis on bakterites põhiline DNA replikatsiooni läbiviija) ei ole võimeline jätkama DNA sünteesi kohast, kus DNA on kahjustatud. Bakterirakus on mitmeid erinevaid DNA polümeraase. Näiteks soolekapi keses *Escherichia coli* on neid iseloomustatud 5, mõnes teises aga veelgi enam. DNA kahjustuste korral suureneb rakkudes nende DNA polümeraaside hulk, mis on võimelised jätkama DNA sünteesi kahjustatud DNA-lt. Selline DNA süntees on tunduvalt vigaderohkem ning suurendab mutatsioonisagedust. Näiteks bakteris *E. coli* indutseeritakse DNA kahjustuste tagajärjel vigaderohked DNA polümeraasid Pol IV ja Pol V. Nende DNA polümeraaside osalust on näidatud ka statsionaarse faasi mutageneesil [Bhamre jt, 2001; Bull jt, 2001; McKenzie jt, 2001].

Transpositsioon on DNA rekombinatsiooniprotsess, mis ei vaja homoloogiat genoomis ümberpaikneva DNA ja märklaud-DNA vahel. Transponeeruvate elementide osalus mutageneesis on samuti märkimisväärne: hulgaliselt on tõendeid geenide inaktivatsioonist nende katkestamisel transposooniga ja muudest kromosoomis toimunud ümberkorraldustest (DNA lõikude ümberpöördu-mised, kaotsimineked, kordistumised). Kuna kõrge transpositsioonisagedus on rakkudele üldjuhul kahjulik, hoitakse transpositsiooni nii transposooni enda poolt kodeeritud spetsiifiliste faktorite kui ka üldiste rakuliste faktorite koostoimel madalal tasemel.

Nagu näha, võib mutatsioonisagedus suurenda erinevatel põhjustel. Praeguseks on ilmunud mitmeid töid, mis viitavad mutatsioonisageduse suurenemisele stressitingimustes [vt näiteks Bjedov jt, 2003]. Näited ei piirdu üksnes bakterimaailmaga. Iisraelis paikneb looduslik labor, nn “*Evolution Canyons*”. Galilea järve läänekaldal on kaks kanjoni, kus põhja- ja lõunanõlvadel on väga erinevad kliimaatilised tingimused. Lõunanõlvad (stressinõlvad) on kuivad ja võrreldes põhjanõlvadega satub sinna 600% enam päikesekiirgust. Põhjanõlvadel on keskkonnastress väiksem ja elukeskkond sarnasem. Lõunanõlvadel oli liigisisene polümorfism suurem paljude uuritud markerite osas [Nevo, 2001]. Samad seaduspärasused kehtisid nii kodeerivate kui ka mittekodeerivate DNA järjestuste puhul. Stressinõlvadel oli võrreldes põhjanõlvadega osadel uuritud liikidest tõusnud ka mutatsioonisagedus. Näiteks seenel *Sordaria fimicola* oli mutatsioonisagedus tõusnud ligikaudu 3 korda ning äädikakärbsse puhul täheldati 4-kordset rekombinatsioonisageduse tõusu. Lõunanõlval kasvanud odral oli suurenenud transposoonide koopiaarv.

TRANSPONEERUVAD ELEMENDID EVOLUTSIOONI KIIRENDAJATENA

Palju on vaieldud selle üle, kas transposoonid on rakule üksnes tülikad parasiidid, kes paljundavad end peremeesraku resursside arvelt, põhjustades ühtlasi soovimatuid ümberkorraldusi genoomis, või on neist rakule ka kasu. Pigem on nad nii seda kui teist. Looduses ei saa kauaks püsima jääda suhted, mis on ühele osapoolele vaid kahjulikud. Kui parasiit hävitaks täielikult teda ülalpidava organismi, poleks tal ju enam kohta, kus paljuneda. Samal põhjusel pole evolutsioon soosinud superviirusi, mis tapaksid eranditult kõik rakud. Tulles tagasi transponeeruvate elementide juurde (kusjuures paljude viiruste ja transposoonide vaheline piir kaob, kui võrrelda nende integreerumismehhanisme peremeesraku genoomi), võib alates transposooni sattumisest uude peremeesorganismi tema “parasiitlikkus” järk-järgult väheneda. Transponeeruvad elemendid levivad horisontaalselt ühelt organismilt teisele nii liigisiselt kui ka liikidevaheliselt. Uues peremehes võib nende elementide transponeerumine olla esialgu üsna kontrollimatu. Järgneb transposooni “kodustamine”, kus transposooni genoomis ringihüppamine üha enam peremeesraku poolt maha surutakse. Kõrvalepõikena bakterimaailmast tahaks siinkohal tuua näite äädikakärbses *Drosophila melanogaster* alles hiljuti (ligikaudu 50–60 aastat tagasi) levima hakanud *P* elementidest, mis on sinna kandunud teistelt *Drosophila* liikidelt ilmselt viiruste abil. *P* elementide transponeerumine on täiesti kontrollimatu nende kärbseliinide sugurakkudes, kes pole selle transposooniga varem kokku puutunud. Nii tekivad *P* elementi sisaldavast ja mittesisaldavast kärbseliinist pärit isendite ristumisel hübriidid, kes ei saa normaalseid järglasi *P* elemendi ringihüppamisest põhjustatud mutatsioonide tõttu järglaste genoomis. Sel viisil võib transposooni horisontaalne ülekanne ühelt peremehelt teisele panna aluse ristumisbarjääri tekkele ning isegi uue liigi kujunemisele.

Statsionaarses faasis olevates bakterirakkudes on kirjeldatud mobiilsete DNA elementide transponeerumise ja teiste geneetiliste ümberkorralduste intensiivistumist. Ümberkorralduste tõttu genoomis võivad mutantsed rakud leida näiteks alternatiivseid kasvuallikaid [viited ülevaateartiklis Kivisaar, 2004]. Paljude transponeeruvate elementide otstes on leitud funktsionaalseid promotoreid või osalisi promootorjärjestusi. Kui jätta kõrvale need mobiilsed elemendid, mis transponeeruvad üle tsirkulaarse vahevormi (transposooni otsad liituvad, moodustub rõngasmolekul), siis ülejäänud elementide transpositsiooni seisukohalt ei näi neil promootoritelt üldse mingit tähtsust olevat – transkriptsioon neilt promootorjärjestustelt ei mõjuta transposoonis endas asuvate geenide avaldumistaset, sest toimub transposooni otsast väljapoole. Küll võib promootorit kandva transposooni inserteerumine sobivasse kohta aktiveerida või võimaldada temaga külgnevate geenide transkriptsiooni.

Enamasti kaasneb transpositsioonisageduse järsu suurenemisega rakus kahjulike mutatsioonide kuhjumine. Kas transpositsioonisageduse suurenemine võib olla põhjustatud transpositsiooni mahasuruvate kontrollmehhanismide juhuslikust inaktiveerumisest stressis olevates rakkudes või on tegemist reguleeritud protsessiga? Meie uurimisrühma poolt saadud tulemused tõendavad, et stressi poolt indutseeritud mobiilsete elementide transpositsioon võib olla geneetiliselt programmeeritud strateegia, mis kiirendab mikroobipopulatsiooni geneetilist adapteerumist ebasoodsates keskkonnatingimustes. Oleme uurinud Tn3 perekonda kuuluva, plasmiidist pWW0 pärineva transposooni Tn4652 transpositsiooni regulatsiooni bakteris *P. putida*. See transposoon on võimeline stressitingimustes tööle lülitama vaikivaid genee, tekitades transponeerumisel liitpromotoreid, mis moodustuvad transposooni otstes ja märklaud-DNA-s olevate promotorelementide sattumisel üksteisest sobivale kaugusele. Tn4652 transponeerumine toimub ainult perekonda *Pseudomonas* kuuluvates bakterites, kuna *tnpA* geeni transkriptsiooni aktivatsiooniks on vaja ainult neile bakteritele iseloomulikku regulaatorit [Hõrak, Kivisaar, 1998]. Tn4652 transposaasi TnpA hulk on pärsitud Tn4652 poolt kodeeritud repressorvalgu TnpC poolt [Hõrak, Kivisaar, 1999]. Tn4652 transponeerub statsionaarse faasi rakkudes ning transpositsioonisagedus suureneb, kui rakud on mõne päeva nälginud [Kasak jt, 1997; Ilves jt, 2001]. Transposooni Tn4652 transponeerumist *P. putida* rakkudes reguleerivad positiivselt mitmed globaalsed regulaatorid – statsionaarse faasi-spetsiifiline sigma faktor RpoS (σ^S), mis võimaldab RNA polümeraasil seonduda mittejagunevates rakkudes aktiveeruvate geenide promootoritele, DNA-d tugevalt, kuni 180° painutav valk IHF (*Integration Host Factor*), millel on arhitektuurne roll nii DNA replikatsiooni initsiatsioonil kui ka transkriptsiooni initsiatsiooni moduleerimisel paljudelt promootoritelt, ja lisaks neile veel kahekomponendiline signaali ülekandesüsteem ColS-ColR. Transpositsioonisagedus on oluliselt langenud *P. putida* tüves, mis on defektne statsionaarse faasi sigma faktori RpoS suhtes, kuna RpoS on vajalik Tn4652 transposaasi kodeeriva geeni *tnpA* promootorilt lähtuva transkriptsiooni

initsiatsiooniks [Ilves jt, 2001]. IHF seondub transposooni mõlemale otsale [Hõrak, Kivisaar, 1998; Teras jt, 2000] ning see on vajalik selleks, et sinna saaks seonduda ka transposaas [Ilves jt, 2004]. IHF-i seondumine Tn4652 paremale otsale soodustab ka transposaasi geeni transkriptsiooni [Hõrak, Kivisaar, 1998]. Lisaks IHF-le ja statsionaarse faasi-spetsiifilisele sigma faktorile RpoS-le on Tn4652 transponeerumine mõjutatud ka mingite seniteadmata signaalide kaudu, mida vahendab kahekomponendiline signaaliülekanne süsteem ColS-ColR tingimustes, kus bakterid nälgivad fenooli juuresolekul [Hõrak jt, 2004]. ColR aminohappelise järjestuse ja struktuuri arvutianalüüsi põhjal peaks ColR olema DNA-ga ja RNA polümeraasiga seonduv valk. Samas pole me suutnud näidata ColR-i seondumist Tn4652 otstele. Seega on põhjust arvata, et ColRS signaaliülekanne süsteemi kaudu reguleeritakse mõne Tn4652 transpositsiooni mõjutava, seni veel tundmatu faktori aktiivsust.

RpoS-mutandis langes nälgivates rakkudes drastiliselt Tn4652 transpositsioonisagedus, kuid samal ajal aktiveerus IS element IS1411. IS1411 vasakus otsas asub promootor, mis aktiveerib IS elemendiga külgnevate geenide transkriptsiooni juhul, kui IS element transponeerub nende geenide ette [Kallastu jt, 1998]. Kui algses tüves oli promootorita testgeenide aktivatsioon IS1411 transponeerumise kaudu väga harv sündmus, siis RpoS-defektses mutandis tõusis IS1411 insertioonist põhjustatud mutatsioonide osakaal kõigist testgeene aktiveerivatest mutatsioonidest 50–75%-ni [Saumaa jt, 2002]. Arvatakse, et RpoS-defektses mutandis takistatud IS1411 liikumist negatiivselt kontrolliva faktori avaldumine. Kuna aga IS1411 transpositsioon sageneb alles pikemat aega nälginud rakkudes, kontrollitakse IS1411 transponeerumist ilmselt ka positiivselt, mingi(te) rakkude pikaajalisel nälgimisel vallandunud signaali(de) kaudu.

VIGADEROHKETE DNA POLÜMERAASIDE OSALUS EVOLUTSIOONIPROTSESSIS

Vigaderohkeid DNA polümeraase on bakterirakus vaja olukorras, kus DNA on kahjustatud ja replikatiivne DNA polümeraas võimetu edasi viima DNA sünteesi kahjustatud kohalt. Kuigi vigaderohkete DNA polümeraaside poolt läbi viidava DNA sünteesi tulemusena suureneb oluliselt mutatsioonisagedus ja võimalus kahjulike mutatsioonide tekkeks, on see hind, mis tuleb maksta, et jätkata genoomi paljundamist DNA kahjustuste korral. Samas võib vigaderohkeid DNA polümeraase vaadelda ka kui evolutsiooni kiirendajaid stressitingimustes. Kas nende ensüümide omadus DNA sünteesi robustsemalt läbi viia ja teatud tingimustes mutatsioonisagedust suurendada võiks samuti olla loodusliku valiku produkt? Vigaderohkete DNA polümeraaside induktsiooni DNA kahjustuste poolt on praeguseks detailideni kirjeldatud paljudes erinevates bakterites. Samas aga, kui vigutekitavate DNA polümeraaside avaldumist stimuleerivad lisaks DNA kahjustustele ka teised mehhanismid, viitab see võimalusele, et valikukriteeriumiteks võisid olla mõlemad, nii eelpool käsitle-

tud võime jätkata DNA sünteesi tingimustes, kus replikatiivne polümeraas ei tööta, aga ka mutatsioonisageduse suurenemine ebasoodsates keskkonnatingimustes, kiirendamaks uute, antud keskkonnaga paremini kohastunud variantide teket.

Näiteid DNA kahjustustest sõltumatute kontrollmehhanismide olemasolu kohta bakterirakus tõesti on. Bakteris *E. coli* on vigaderohke DNA polümeraasi Pol IV avaldumine lisaks DNA kahjustustele positiivselt kontrollitud stationaarse faasi sigma faktori RpoS poolt [Layton, Foster, 2003]. Meie oleme uurinud Pol IV mõju stationaarse faasi mutageneesile bakteris *P. putida*. Meie poolt saadud tulemused näitasid, et Pol IV mõjutab ainult teatud tüüpi mutatsioonide tekkesagedust *P. putida* stationaarse faasi rakkudes. Erinevalt teistest mutatsioonidest (asendusmutatsioonid, 2-nukleotiidsed deletsioonid) suurenes 1-nukleotiidsede deletsioonide tekkesagedus pikaajaliselt (vähemalt nädala) nälgitud rakupopulatsioonides ligikaudu 10 korda, ja seda Pol IV-st sõltuvalt [Tegova jt, 2004]. Pol IV-st sõltuva mutageneesi suurenemine pikaajaliselt nälgitud rakupopulatsioonides ei vajanud RecA valku, mis indutseerib vigaderohkete DNA polümeraaside töö DNA kahjustuste korral. Huvipakkuvaks osutus ka asjaolu, et kui nälgivates *P. putida* rakkudes mõjutab Pol IV ainult raaminihkemutatsioonide tekkesagedust, siis kasvavates rakkudes suurenes Pol IV kunstlikust üleekspressioonist tingituna asendusmutatsioonide hulk [Tegova jt, 2004]. Võimalik, et kasvavates ja nälgivates bakterirakkudes on Pol IV poolt läbiviidava DNA sünteesi käigus tekkinud vigade iseloom erinev. Samas ei saa välistada ka võimalust, et Pol IV kunstlik üleekspressioon mõjutab mõne teise DNA polümeraasi tööd.

Bakteris *E. coli* on kirjeldatud 5 erinevat DNA polümeraasi, millest Pol IV ja Pol V on vigaderohked. DNA polümeraasi Pol V kodeerivad geenid puuduvad paljude bakterite genomist, küll on neis aga leitud ülejäänud DNA polümeraase kodeerivate geenide homolooge mitmes koopias. Geen *dnaE* kodeerib replikatiivse DNA polümeraasi Pol III katalüütilist subühikut. Ligikaudu pooltes praeguseks sekveneeritud bakterigenoomidest on leitud 2 kuni 3 *dnaE* geeni homoloogi. Näiteks patogeenses bakteris *Mycobacterium tuberculosis* on nende geenide poolt kodeeritud valgud DnaE1 ja DnaE2. DnaE1 on replikatiivse DNA polümeraasi koostises, kuid DnaE2 osaleb stressi poolt indutseeritud mutageneesil. DnaE2 olemasolu suurendas antibiootikumiresistentsuse mutantide tekkesagedust ligikaudu 10 korda ja soodustas mükobakteri koloniseerimise katseloomade kopsudes [Boshoff jt, 2003].

Meie poolt uuritavad pseudomonaadid on looduses üks kõige arvukamaid ja laiemalt levinud bakterirühmi. Sinna kuulub nii taime- ja loomapatogeene kui ka saprofüütseid mullabaktereid. Kui vaadata näiteks mullabakteri *P. putida* või inimese patogeeni *P. aeruginosa* genoomi, siis mõlema liigi genoomis on 2 erinevat DnaE valgu ja Pol IV geeni, *P. putida* genoomis lisaks 2 erinevat Pol I geeni. Pseudomonaadide kromosoomis puuduvad Pol V kodeerivad gee-

mid, kuid Pol V geenide homologe on leitud kromosoomivälistes, autonoomselt replitseeruvates DNA molekulides – plasmiidides, mis levivad bakteripopulatsioonis horisontaalselt nii liigisiselt kui ka liikidevaheliselt. Üks osa meie praegusest uurimistööst on seotud *Pseudomonas*'e erinevate DNA polümeraaside osaluse väljaselgitamisega statsionaarse faasi mutatsioonide tekkel. Hiljuti leidsime, et plasmidi pWW0 poolt kodeeritud Pol V homologid sisaldavad *P. putida* rakud taluvad paremini DNA kahjustusi. Samuti on Pol V gene omavad bakterid võimelised näljatingimustes kiiremini evolutsioneeruma, mis ilmneb statsionaarses faasis surnud rakkudest vabanenud toitainete varal kasvavate GASP (*Growth Advantage in Stationary Phase*) mutantide tekkeduse suurenemises.

Selleks, et oleks tagatud teatava DNA polümeraasi jätkuv DNA sünteesivõime, peab see ensüüm olema seondunud DNA replikatsioonikompleksis asuvate teiste valkudega, mis hoiavad teda kontaktis DNA-ga. Milline DNA polümeraasidest parasjagu löögile pääseb, on väga täpselt koordineeritud protsess. Siit edasi ka küsimus, kuidas ja millised faktorid võiksid rakus mõjutada erinevate DNA polümeraaside tööd lisaks sellele, et stressitingimustel suureneb osade DNA polümeraaside hulk.

KOKKUVÕTTEKS

Viimastel aastatel on elavalt diskuteeritud selle üle, kas evolutsiooni käigus võiksid olla välja kujunenud spetsiifilised mehhanismid, mis tõstavad stressis olevates rakkudes mutatsioonisagedust, võimaldamaks populatsioonil kiiremini adapteeruda muutunud keskkonningimustes [Tenailon jt, 2001; Metzgar, Wills, 2000; Rosenberg, 2001; Bjedov jt, 2003]. Teisisõnu: kas võime „evolutsioneeruda“ on evolutsiooni käigus kujunenud adaptatsioon? Seda teemat on käsitletud ka teaduspreemiales esitatud uurimistööde tsükklisse kuuluvates ülevaateartiklites [Kivisaar, 2003; 2004]. Meie uurimisgrupp uurib mutatsioonide tekkemehhanismide molekulaarseid aluseid perekonda *Pseudomonas* kuuluvates bakterites, kontsentreerudes eeskätt nendele protsessidele, mis võimaldavad bakteripopulatsiooni geneetilist kohastumist stressitingimustes. Meie poolt saadud eksperimentaalandmed toetavad hüpoteesi, et stressi poolt indutseeritud mutagenees võib olla geneetiliselt programmeeritud strateegia, mis kiirendab mikroobipopulatsiooni geneetilist adapteerumist ebasoodsates keskkonningimustes.

Mis saab edasi? Jätkame uuringuid samas valdkonnas, selgitamaks erinevate DNA polümeraaside ja DNA reparatsioonisüsteemide efektiivsust mõjutavaid mehhanisme stressis olevates bakterirakkudes. Nii nagu ikka, tekitab igale küsimusele vastuste otsimine omakorda uusi küsimusi. Mis toimub stressis olevas bakteripopulatsioonis näiteks ühe raku tasandil? Kui homogeenne on stressis oleva rakupopulatsioon mutatsioonisageduse seisukohalt? Kas bakterite muteerumisvõimet võiksid mõjutada ka rakkudevahelised signaalid?

Lõpetuseks tahaks kindlasti rõhutada seda, et tänapäeval ei ole eksperimentaalteadustes üksi võimalik midagi ära teha. Iga artiklini jõudmine eeldab meeskonnatööd. Märkimisväärse panuse auhinnatud uurimistsükli valmimisele on andnud kõik sellega seotud artiklite autoritena toodud inimesed. Eraldi sooviksin siin rõhutada Rita Hõraku, Andres Toveri ja Heili Ilvese panust.

KIRJANDUS

Bhamre, S., Gadea, B. B., Koyama, C. A., White, S. J., Fowler, R. G. 2001. An aerobic *recA*-, *umuC*-dependent pathway of spontaneous base-pair substitution mutagenesis in *Escherichia coli*. *Mutat. Res.*, 473, 229-147.

Bjedov, I., Tenaillon, O., Gérard, B., Souza, V., Denamur, E., Radman, M., Taddei, F., Matic, I. 2003. Stress-induced mutagenesis in bacteria. *Science*, 300, 1404-1409.

Boshoff, H. I. M., Reed, M. B., Barry III C. E., Mizrahi, V. 2003. DnaE2 polymerase contributes to in vivo survival and the emergence of drug resistance in *Mycobacterium tuberculosis*. *Cell*, 113, 183-193.

Bull, H. J., Lombardo, M.-J., Rosenberg, S. M. 2001. Stationary-phase mutation in the bacterial chromosome: recombination protein and DNA polymerase IV dependence. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 8334-8341.

Cairns, J., Foster, P. L. 1991. Adaptive reversion of a frameshift mutation in *Escherichia coli*. *Genetics*, 128, 695-701.

Cairns, J., Overbaugh, J., Miller, S. 1988. The origin of mutants. *Nature*, 335, 142-145.

Foster, P. L., Trimarchi, J. M. 1994. Adaptive reversion of a frameshift mutation in *Escherichia coli* by simple base deletions in homopolymeric runs. *Science*, 265, 407-409.

Hõrak, R., Ilves, H., Pruunsild, P., Kuljus, M., Kivisaar, M. 2004. The ColR-ColS two-component signal transduction system is involved in regulation of Tn4652 transposition in *Pseudomonas putida* under starvation conditions. *Mol. Microbiol.*, 54, 795-807.

Hõrak, R., Kivisaar, M. 1998. Expression of the transposase gene *tnpA* of Tn4652 is positively affected by integration host factor. *J. Bacteriol.*, 180, 2822-2829.

Hõrak, R., Kivisaar, M. 1999. Regulation of the transposase of Tn4652 by the transposon-encoded protein TnpC. *J. Bacteriol.*, 181, 6312-6318.

Ilves, H., Hõrak, R., Kivisaar, M. 2001. Involvement of σ^S in starvation-induced transposition of *Pseudomonas putida* transposon Tn4652. *J. Bacteriol.*, 183, 5445-5448.

- Ilves, H., Hõrak, R., Teras, R., Kivisaar, M. 2004. IHF is limiting host factor in transposition of *Pseudomonas putida* transposon Tn4652 in stationary phase. *Mol. Microbiol.*, 51, 1773-1785.
- Kallastu, A., Hõrak, R., Kivisaar, M. 1998. Identification and characterization of IS1411, a new insertion sequence which causes transcriptional activation of the phenol degradation genes in *Pseudomonas putida*. *J. Bacteriol.*, 180, 5306-5312.
- Kasak, L., Hõrak, R., Kivisaar, M. 1997. Promoter-creating mutations in *Pseudomonas putida*: a model system for the study of mutation in starving bacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94, 3134-3139.
- Kivisaar, M. 2003. Stationary phase mutagenesis: mechanisms that accelerate adaptation of microbial populations under environmental stress. *Environ. Microbiol.*, 5, 814-827.
- Kivisaar, M. 2004. Transposition and other mutational processes in *Pseudomonas*. Ramos, J. L. (ed). *The Pseudomonads*. Vol I, Genomics, life style and molecular architecture. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, USA, 261-316.
- Layton, J. C., Foster, P. L. 2003. Error-prone DNA polymerase IV is controlled by the stress-response sigma factor, RpoS, in *Escherichia coli*. *Mol. Microbiol.*, 50, 549-561.
- McKenzie, G. J., Lee, P. L., Lombardo, M.-J., Hastings, P. J., Rosenberg, S. M. 2001. SOS mutator DNA polymerase IV functions in adaptive mutation and not adaptive amplification. *Mol. Cell*, 7, 571-579.
- Metzgar, D., Wills, C. 2000. Evidence for the adaptive evolution of mutation rates. *Cell*, 101, 581-584.
- Nevo, E. 2001. Evolution of genome-phenome diversity under environmental stress. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 6233-6240.
- Oliver, A., Cantón, R., Campo, P., Baquero, F., Blázquez, J. 2000. High frequency of hypermutable *Pseudomonas aeruginosa* in cystic fibrosis lung infection. *Science*, 288, 1251-1253.
- Rosenberg, S. M. 2001. Evolving responsively: adaptive mutation. *Nat. Rev. Gen.*, 2, 504-515.
- Rosenberg, S. M., Longrich, S., Gee, P., Harris, R. S. 1994. Adaptive mutation by deletions in small mononucleotide repeats. *Science*, 265, 405-407.
- Saumaa, S., Tover, A., Kasak, L., Kivisaar, M. 2002. Different spectra of stationary-phase mutations in early-arising versus late-arising mutants of *Pseudo-*

monas putida: involvement of the DNA repair enzyme MutY and stationary-phase sigma factor RpoS. J. Bacteriol., 184, 6957-6965.

Tegova, R., Tover, A., Tarassova, K., Tark, M., Kivisaar, M. 2004. Involvement of error-prone DNA polymerase pol IV on stationary phase mutagenesis in *Pseudomonas putida*. J. Bacteriol., 186, 2735-2744.

Tenaillon, O., Taddei, F., Radman, M., Matic, I. 2001. Second-order selection in bacterial evolution: selection acting on mutation and recombination rates in the course of adaptation. Res. Microbiol., 152, 11-16.

Teras, R., Hõrak, R., Kivisaar, M. 2000. Transcription from fusion promoters generated during transposition of transposon Tn4652 is positively affected by integration host factor in *Pseudomonas putida*. J. Bacteriol., 182, 589-598.

*Teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli
“Mikro- ja nanotehnoloogiliste uurimismeetodite arendamine
tööstuslike materjalide väljatöötamiseks” eest*



Jakob Kübarsepp (kollektiivi juht, esimene vasakult)

Sündinud 09.02.1947 Tallinnas

1965 Tallinna Reaalkool
1970 Tallinna Tehnikaülikool, mehaanikainsener (peenmehaanikaseadmed)
1979 tehnikakandidaat, Moskva Keemilise Peentehnoloogia Instituut
1992 tehnikadoktor, Tallinna Tehnikaülikool
1985 Eesti riiklik preemia autorite kollektiivi liikmena
1997 professor
1998, 2005 Eesti volitatud insener
2001 euroinsener

Aastatel 1970–1975 Eesti Teaduste Akadeemia Erikonstrueerimisbüroo konstruktor, juhtiv konstruktor. Alates 1975 Tallinna Tehnikaülikool: pulbermetallurgia problemlaboratoriumis aspirant, nooremteadur, vanemteadur; metallide tehnoloogia kateedri assistent, dotsent; materjalitehnika instituudi aseprofessor, metallide tehnoloogia õppetooli juhataja; 1994–2000 mehaanikateaduskonna dekaan. Alates 2000. aastast Tallinna Tehnikaülikooli õppeprorektor.

Avaldanud üle 180 teaduspublikatsiooni.

Ants Lõhmus (neljas vasakult)

Sündinud 26.03.1944 Põltsamaal

- 1963 Hugo Treffneri Gümnaasium
- 1969 Tallinna Tehnikaülikool, keemiainsener (elektroonika erimaterjalid)
- 1984 füüsika-matemaatikakandidaat, Tartu Ülikool
- 1999 Tartu Ülikooli innovatsioonipreemia
- 2000 Eesti Füüsika Seltsi aastapreemia

Alates 1969. aastast Eesti Teaduste Akadeemia, nüüd Tartu Ülikooli Füüsika Instituut: insener, vaneminsener, juhtiv insener, vanemteadur, laboratooriumi-juhataja.

Avaldanud üle 80 teaduspublikatsiooni.

Irina Hussainova (teine vasakult)

Sündinud 19.04.1961 Ivanovos, Venemaal

- 1978 Ivanovo 6. Keskkool
- 1985 Sankt-Peterburgi Tehnikaülikool, füüsikainsener (tahke keha füüsika)
- 1994 loodusteaduste magister, Tallinna Tehnikaülikool
- 1999 tehnikateaduste doktor, Tallinna Tehnikaülikool

Aastatel 1985–1994 Eesti Teaduste Akadeemia Termofüüsika ja Elektrofüüsika Instituut: insener, teadur. Alates 1995. aastast Tallinna Tehnikaülikool: masinaõpetuse instituudi teadur, materjalitehnika instituudi vanemteadur.

Avaldanud 54 teaduspublikatsiooni.

Rünno Lõhmus (kolmas vasakult)

Sündinud 7.11.1972 Tartus

- 1990 Hugo Treffneri Gümnaasium
- 1995 Tartu Ülikool, füüsika-keemiateaduskond, rakendusfüüsika
- 2002 PhD, rakendusfüüsika
- 1999 Tartu Ülikooli innovatsioonipreemia
- 2001 Eesti TA Bernhard Shmidti nimeline arendustöö preemia

Alates 1997. aastast TÜ Füüsika Instituut: insener, teadur, vanemteadur.

Avaldanud 10 teaduspublikatsiooni.

TEHNOMATERJALID

Kasutusvalade rohkuse tõttu (rõivad, eluase, transport, kommunikatsioon jms) on erinevatel materjalidel olnud inimkultuuris ülioluline roll. Inimkonna ajalugu seostub materjalide ja materjalitehnoloogiate arenguga, st võimega töödelda ja kasutada erinevaid materjale: tähtsaimate tööriista- ja relvamaterjalide järgi eristuvad kiviaeg, pronksiaeg, rauaaeg, teraseaeg. Teraseaeg seostub eelkõige terasesulatuse tööstusliku tehnoloogia väljatöötamisega 19. sajandi keskpaigas. Veel praegugi, 21. sajandi algul kestab terase, ühe peamise konstruktsioon- ja tööriistamaterjali ajastu. Terase kõrval kasutatakse ka teisi metalle (peamiselt Cu, Al, Zn, Mg ja Ti), betooni, puitu, plastikuid (materjale polümeeride baasil) ning üha enam komposiitmaterjale (erinevate materjalide baasil). Varasematel aegadel kasutati peamiselt naturaalseid (looduslikke) materjale – kivi, puit, nahk jne. Mõnevõrra hiljem võeti kasutusele keraamika ja metallid. Mingil ajaloo etapil avastati võimalus muuta metallide omadusi termotöötlemisega ja teiste elementide lisamisega (legeerimisega). Erinevate materjalide arvukuse suurenemisele vaatamata langes valik aga tavaliselt ikka tuntumate kasuks ning seda tehti katse- ja eksituse meetodil.

Alles 20. sajandi keskpaigast on teadlaste arusaam materjalide struktuuri ja omaduste vahelisest sõltuvusest oluliselt paranenud. See on võimaldanud teaduslikel alustel sünteesida kümneid tuhandeid uusi etteantud struktuuri ja omadustega (mehaanilised, elektrilised, optilised jne omadused) materjale – metalle, plaste ja keraamilisi materjale ning komposiite nende baasil. Seega on materjaliteaduse ja inseneriasjanduse üheks eesmärgiks saanud “projekteerida” (kavandada, disainida) materjal mingi kasutusvaldkonna tarvis, samuti selle tööstuslik tehnoloogia. Pole harvad juhtumid, kui mingi toode on konstruktorite poolt juba projekteeritud, kuid materjal alles ootab väljatöötamist toote või selle osa valmistamiseks. Niisiis, juba 20. sajandi keskpaigas ilmnes, et inimkond liigub uude nn tellimusmaterjalide (*taylor-made materials*) ajastusse.

Konkreetsetele toodetele esitatakse nõuded nende rakenduslike omaduste e. suutlikkuse (funktsionaalsuse) osas, vastata teatud tehnilistele nõuetele. Suutlikkus e toimivus (*performance*) sõltub materjali struktuurist ja paljudest tööstustehnoloogiaga määratud omadustest. Seetõttu on muutustega uute materjalide valdkonnas kaasnenud arengud materjalide ja toodete tööstustehnoloogiates. Näiteks on uute tehnoloogiate rakendamine metallurgias võimaldanud 20. sajandil oluliselt parandada metallisulamite, sh teraste mehaanilisi omadusi ja töökindlust. Nii madala kvaliteediga terast, millest oli valmistatud 1912. aastal hukkunud laev “Titanic”, ei toodeta enam aastakümneid.

Insenerid puutuvad igapäevaselt kokku materjalidega seotud probleemidega. Millisest materjalist valmistada näiteks masina või tööriista (pressvorm, löike-riist, stants jne) tööelement? Valikul (või uue materjali sünteesimisel) lähtutakse materjalile esitatavatest tehnilistest nõuetest. Haruharva leitakse materjal, mille omaduste kombinatsioon rahuldab kõiki funktsionaalsuse seisukohast

nõutavaid tehnilisi tingimusi. Enamikel juhtudel tuleb minna kompromissile. Klassikaliseks näiteks on kompromiss omaduste vahel, mida struktuur mõjutab vastupidises suunas, näiteks kõvadus ja sitkus. Suure kõvadusega materjali iseloomustab tagasihoidlik sitkus ning plastsus ja vastupidi.

Materjali valikul (või uue sünteesimisel) ei saa mööda vaadata majanduslikest asjaoludest, sest tootmises tekivad alati toote hinnaga (milles sisaldub nii materjali kui selle tootmise maksumus) seotud probleemid. Töötlemise maksumus moodustab tavaliselt ligi poole toote hinnast, hind sõltub omakorda toote partii suurusest ja langeb tunduvalt selle kasvades. Ka hinna küsimustes tuleb sageli kompromissile minna.

Tehnomaterjale (tehnikas kasutatavaid materjale) liigitakse lähtuvalt nende atomaarsest struktuurist metallideks, keraamilisteks materjalideks (materjalid metallide ja mittemetallide keemiliste ühendite – oksiidid, karbiidid, nitriidid jne baasil) ja polümeerideks. Lisaks nendele eristatakse komposiitmaterjale e komposiite, pooljuhte ja biomaterjale.

Komposiidid on projekteeritud koostise, struktuuri ja omadustega materjalid enam kui ühe eelnimetatud materjali (metall, keraamiline materjal, polümeer) baasil. Näiteks klaasplastid on keraamilis-polümeersed komposiidid, mille tugevuse tagavad klaaskiud (keraamiline faas) ja elastsuse polümeer. Kermised on keraamilis-metalsed komposiidid, mille keraamiline faas (karbiidid, nitriidid, boriidid jms) omistab kõvaduse ja tugevuse kõrgetel temperatuuridel ning metalne faas teatud sitkuse ja plastsuse. Tuntuimateks keraamilis-metalsed komposiitideks on kõvasulamid – komposiidid WC-Co, mis on juba ligi 80 aastat leidnud kasutamist tööriistade ja kulumiskindlate detailide tootmisel. Kermised on juba üle 25 aasta olnud Tallinna Tehnikaülikooli materjalitehnika instituudi (kuni 1992. aastani – metallide tehnoloogia kateeder) teadusuuringute objektiks.

Pooljuhte iseloomustavad omadused, mis on elektrijuhtide ja isolaatorainete vahepealsed. Selliste materjalide elektrilised omadused sõltuvad suurel määral lisandite üliväikestest kogustest. Pooljuhtideta poleks võimalikuks osutunud revolutsioonilised arengud elektroonikas, päikeseenergeetikas ja arvutustehnikas.

Biomaterjale, s.o inimkehaga sobivaid (mittetoksilisi, inimkehaga mitte reageerivaid) materjale vajatakse meditsiinis. Selliste materjalide hulgas võime leida materjale kõikidest eelnimetatud materjaligruppidest: metallid, keraamilised materjalid, polümeerid, komposiidid ja pooljuhid.

Materjaliteaduses ja inseneriasjanduses on kasutusel mõiste kõrgtehnoloogiline materjal (*advanced material*). Mõeldud on materjalide kasutusvaldkonda üldjuhul keerulistes nn kõrgtehnoloogilistes toodetes/seadmetes, näiteks arvutid, laserid, võidusõiduautod, lennundus- ja kosmosetehnika, sõjandus jms.

Kõrgtehnoloogilised võivad olla materjalid kõikidest eelnimetatud materjali-gruppidest, kuid neid iseloomustavad kõrgendatud omadused ja sellega kaasnev kõrge hind.

Vaatamata edusammudele materjaliteaduse ja -tehnoloogia valdkonnas, seisavad inseneridel ja materjaliteadlastel ees uued väljakutsed. Näiteks transporditehnikas on oluline kütusekulu vähendamine. See on saavutatav nii transpordivahendi massi vähendamise kui mootori kasuteguri suurendamise teel. Uusi, suure eritugevusega (suur tugevus väikese tiheduse juures) ja paraku seni veel kalleid kerematerjale rakendatakse juba võidusõiduautode ja -jalgrataste valmistamisel. Jätkuvad pingutused mootorihituses sobivate keraamiliste materjalide väljatöötamiseks, võimaldades mootorite töötemperatuuri ja kasuteguri edaspidist olulist suurendamist. Teine näide, millega tuleb kokku puutuda igasuguste materjalide väljatöötajatel ja kasutajatel, on seotud materjalide korduvkasutusega. See on üliaktuaalne nii ressursside (millest või mille abil materjale toodetakse – metallimaagid, kivisüsi, gaas, nafta jms) ammendumuse kui ka keskkonnakaitse seisukohalt. Kaasajal ei ole korduvkasutatav betoon, kallid on titaani korduvkasutus ja vaid osa plastidest on võimalik uuteks toodeteks ümber töödelda. Samas paljude metallide, samuti kõvasulamite WC-Co ümbertöötlemine ja korduvkasutus enamasti probleeme ei tekita. Kindlasti on vaja välja töötada uusi keskkonda mitte reostavaid materjale ja tehnoloogiaid materjalide korduvkasutamiseks. Keskkonnakaitse seisukohalt on oluline olnud TTÜ materjalitehnika instituudi koostööprojekt Soome firmadega – uue konstruktsiooni ja suure eritugevusega titaankarbiidkermistest rehviinastude tööstusliku tehnoloogia väljatöötamine. Uued rehviinastud vähendavad suurusjärgu võrra teede kulumist ja sellega seotud keskkonna kahjustusi.

Inseneriasjanduses on materjalidega seotud probleemid lahendatavad inseneride-konstruktorite ja inseneride-tehnoloogide koostöös, kaasates sellesse tegevusse üha sagedamini insenere-materjaliteadlasi. Viimaste roll on eriti suur uute tehnomaterjalide ja nende tööstustehnoloogiate väljatöötamisel ning sellega seotud uuringutes.

NANOMATERJALID – 21. SAJANDI TEHNOMATERJALID

Lisaks materjalide tüüpidele (metallid, keraamilised materjalid, polümeerid jms) ja nende omadustele (mehaanilised, elektrilised, optilised jne) eristatakse mõõtmete skaalad, mille piirides käsitletakse kõike materjalidega seonduvat (struktuuri, omadusi, tehnoloogiaid). Makroskaala on inimsilmale nähtav mõõtmete piirkond alates millimeetrist (10^{-3} m). Mikroskaala on optilise mikroskoobi abil nähtav piirkond alates mikromeetrist (10^{-6} m) ning nanotase tähendab mikroskaalast tuhat korda väiksemat mõõtmete piirkonda alates nanomeetrist st (10^{-9} m). Mida väiksem on materjali piirkond, seda suuremaks muutub vaadeldava piirkonna pinna ja ruumala suhe. Selletõttu materjali omadused

nanomahtudes või üliväikestes mikro- või nanomõõtmega konstruktsiooni-elementides on oluliselt erinevad vastavatest omadustest makromahtudes (makroomadustest).

Nanostruktuursed materjalid (*nano structural materials*) ja ülipeeneteralised materjalid (*ultra-fine grained materials*) on materjaliteaduse kiirelt arenev suund. Arengud selles suunas on parandamas arusaama seostest materjali omaduste ning mikro- ja nanotasemel struktuurikarakteristikute vahel. Arenemas ja lähiajal tööstuslike rakendusteni on jõudmas uued tööstustehnoloogiad, mis võimaldavad nanotasemel struktuuri muutes toota põhimõtteliselt täiesti uute omadustega ülipeeneteralisi ja nanomaterjale, sh metalle ja komposiite.

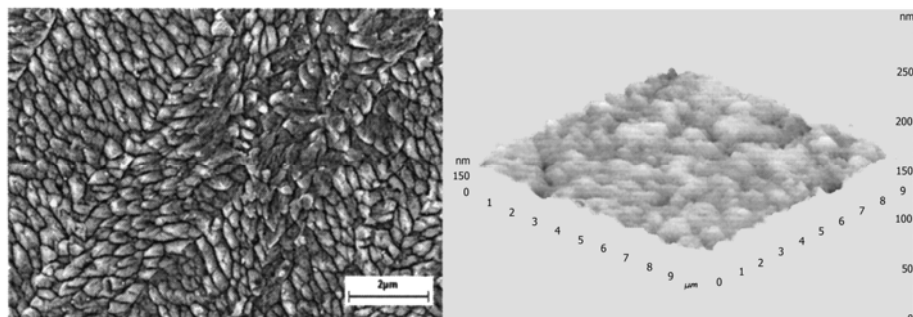
Nanostruktuurseid materjale kui tuleviku tehnomaterjale iseloomustavad tava-materjalidega võrreldes tunduvalt kõrgem voolavuspiir, tugevus, sitkus, kulumiskindlus, üliplastses olekus deformeeritavus madalamatel temperatuuridel ja suuremate deformatsioonikiirustega jne. Nanostruktuursed materjalid mitte ainult ei asenda tulevikus paljude valdkondades praegu kasutatavaid materjale, vaid võimaldavad valmistada põhimõtteliselt uute rakenduslike omadustega seadmeid, konstruktsioonelemente ja konstruktsioone.

Arusaama paranemine seostest materjalide nanotasemel struktuuri ja omaduste vahel laiendab materjaliteadlaste võimalusi materjalide nanostruktuurse disaini (*nanostructural design*) valdkonnas. Paralleelselt arengutega nanomaterjalide nanotehnoloogiate valdkonnas on toimumas kiired arengud materjalide mikro- ja nanotasemel testimise ja modelleerimise alal.

TTÜ materjalitehnika instituudis toimuvad uuringud kahte tüüpi ülipeeneteraliste- ja nanomaterjalide valdkonnas: keraamilis-metalsed komposiidid (kermised) ning vask ja vasesulamid. Tehnoloogilised võimalused nanostruktuursete materjalide saamiseks on: pulbrite mehaanilise aktivatsiooniga süntees koos järgneva tihendamise, ülisuur plastne deformatsioon (*severe plastic deformation – SPD*), nanostruktuursete osakeste gaasifaas-kondensatsioon (*gas-phase condensation*) koos järgneva tihendamise ning elektersadestus (*electrodeposition*). Edu on saavutatud nanostruktuurse vase saamisel ülisuuri plastseid deformatsioone rakendades, samuti ülipeeneteraliste kermiste saamisel, kasutades lähtekomponentide mehaanilist aktivatsiooni koos järgneva survepaagutamise.

Uuringud ülipeeneteraliste ja nanostruktuursete materjalide valdkonnas on saanud võimalikuks tänu arengutele aatomjõu mikroskoopia (*atomic-force microscopy – AFM*) ning tunnelmikroskoopia (*scanning tunneling microscopy – STM*) valdkondades. Vastavad uurimisvõimalused on olemas Tartu Ülikooli Füüsika Instituudis. Tallinna Tehnikaülikoolis (materjaliteaduse instituut) rakendatakse vastavates uuringutes skaneerivat elektron-mikroskoopiat (*scanning electron microscope – SEM*) ja röntgendifraktomeetriat (*X-ray diffraction analysis*). Kaasaegsed mikroskoopia meetodid on avardamas teadmisi

deformatsiooni ja purunemisprotsessidest keraamilis- metalsetes komposiitides ja nanostruktuurses vases (vt joonis 1).



Joonis 1.

Ülitugevalt deformeeritud nanostruktuurse vase struktuur (skaneeriv elektronmikroskoopia) – vasakul ja pinna morfoloogia (aatomjõu mikroskoopia) – paremal.

KULUMISKINDLAD KERAAMILIS-METALSED MATERJALID JA KULUMINE

UURIMISPROGRAMM

Viimaste aastate uuringuid võib liigitada kaheks allteemaks: (1) kulumiskindlad materjalid; (2) kulumine ja kulumise prognoosimine. Nimetatud uurinud on seotud tehnikateaduste valdkonna – triboloogiaga, kus uurimisobjektiks on hõõrdumine, määrimine ja kulumine.

Uuringud kulumiskindlate materjalide valdkonnas jagunevad kolme suunda.

1. Peen- ja nanostruktuursed komposiidid Ti, Cr, W ja B-ühendite baasil. Keraamilis-metalsete komposiitide omadused sõltuvad oluliselt keraamilise faasi struktuurist, sh tera suurusel. Selletõttu on pingutused olnud suunatud keraamilise faasi tera suuruse vähendamisele kuni nanomõõtmeteni. Peen- ja nanostruktuursetel kermistel on unikaalsed omadused, sest kõvaduse ja kulumiskindluse kasvuga suureneb ka tugevus. Nanostruktuurseid ja ülipeeneteralisi komposiite saadakse nanomõõtmetega pulbritest, samuti keraamilise faasi osakeste kõrgenergeetilise jahvatamise teel või mehaanilise aktivatsiooniga sünteesi kasutades. Selliste uuringute rakenduslikuks väljundiks on märgatavalt suurema kulumiskindluse ja parandatud töökindlusarakteristikutega (sitkus, väsimustugevus) tribomaterjalid (kulumiskindlad materjalid).

2. Komposiitmaterjalide defektikõrvaldustehnoloogiad. Reaalsetes materjalides (ka pulberkomposiitmaterjalides) leidub alati struktuuridefekte – poore,

mikropoore, mikropragusid, metalse faasi keemilist ja struktuurset ebahütlust jms, mis oluliselt halvendavad nende omadusi ja mille mõju materjali makroomadustele ületab sageli legerimise ja/või termotöötusega saavutatava positiivse efekti. Töödeldud pinna olek (pinnakaredus, mikropoorid, jääkpinged) võib avaldada materjali (ja sellest valmistatud toote) tugevusomadustele suurematki mõju kui sisemised defektid. Uurimissuuna peamiseks ülesandeks on uurida uudsete tehnoloogiate – survepaagutamine, kuumisostaatpressimine, jms mõju kermiste struktuurile, töökindlusomadustele, kulumiskindlusele ja tugevusele. Uurimuste rakenduslikuks väljundiks on komposiitide töökindluse märkimisväärne kasv, mis laiendab nende rakendusvaldkonda efektiivse tööriista- ja konstruktsioonmaterjalina.

3. Liitmaterjalid ja tooted. Kulumiskindlaid pindeid kasutatakse laialdaselt kermistest nn mitteteritatavate tööriistade – enamasti lõikeriistade püsivuse tõstmiseks. Keeruliste ja kallite tööriistade puhul – näiteks survetöötlustööriistad –, mille tööea suurendamiseks kasutatakse teritamist, on suurte koormuste korral otstarbekam kasutada hoopis liitmaterjale. Selliste materjalide (toodete) saamisel kasutatakse liitetehnoloogiaid – jootmine, difusioonkeevitamine jms. See võimaldab odavatest või kõrgendatud tugevuse/sitkusega materjalidest tooteid (tööriistu) armeerida kulumiskindlamate materjalidega – kermistega. TiC ja Cr₃C₂ baasil kermiste liitetehnoloogiaid on seni arendusfaasis. Käesolevas uurimissuunas on tähelepanu all TiC, Cr₃C₂ ja WC baasil kermiste jootmine, difusioonjootmine, difusioonkeevitamine ja paagutusliitmine.

Uuringud kulumise ja kulumiskindluse prognoosimise valdkonnas jagunevad kahte suunda:

1. Kulumine ning kulumise mikro- ja nanostruktuursed aspektid.

Keraamilis-metalsed komposiidid on oma struktuursetest iseärasustest (heterogeenne, kõrgetel temperatuuridel stabiilne struktuur) tingituna sobivad kasutamiseks nii kulumiskindla kui konstruktsioonmaterjalina tingimustes, kus kulumise ja hõõrdumisega kaasnevad keeruline pingeolukord, staatilised, dünaamilised või tsüklilised koormused nii mõõdukatel (< 400 ... 500°C) kui ka kõrgetel temperatuuridel. Keraamilis-metalsete komposiitide kulumist keerulises pingeolukorras (sellistes tingimustes töötavad näiteks lõike- ja survetöötlus-tööriistad), eriti aga kõrgetel temperatuuridel, on vähe uuritud. Käesolevas uurimissuunas näeb ette TTÜs väljatöötatud ja väljatöötuses olevate peeneteraliste- ja nanostruktuursete kermiste ja teiste kulumiskindlate materjalide (näiteks tööriistaterased) kulumisuuringuid erinevates tingimustes – abrasiiv-, abrasiiv-erosioon-, hõõrde-, adhesioonkulumine jne – ning tulemuste alusel kulumiskindluse kaardistamist laias temperatuurivahemikus.

Kermiste omadused (sh kulumiskindlus) sõltuvad metalse ja mittemetalse faasi struktuurist ja omadustest, sisepingetest faasides ja faaside vahel, struktuuridefektidest. Materjali kulumine algab materjali mikroskoopilistest mahtudest ja sõltub pigem faaside ja nende vaheliste piiride mikromehaanilistest omadustest.

Selletõttu uuritakse purunemise ja kulumise (olemuselt samuti purunemise) selliseid mikro- ja nanostruktuurseid aspekte, nagu keemilised reaktsioonid faaside vahel, faaside joonpaisumistegurite erinevuse mõju faasipiiride struktuurile ja faasidevahelistele jääkpingetele. See võimaldab luua teoreetilised alused nii materjali valikuks kui uute kulumiskindlate komposiitide ja nende tootmistehnoloogია väljatöötamiseks.

2. Keraamilis-metsete komposiitide väsimus.

Suure kõvadusega haprad materjalid (sh kermised) on lisaks kulumisele sageli allutatud ka tsüklilistele mehaanilistele koormustele, näiteks saab tuua tööriistad mäetööstuses, metallide lõikamisel ja survega töötlemisel. Kermiste väsimuse uuringutele on seni äärmiselt vähe tähelepanu pööratud. See raskendab teaduslikult põhjendatud materjalivalikut kulumisega kaasnevate tsükliliste mehaaniliste koormuste korral. Käesoleva uurimissuuna eesmärgiks on erineva koostisega, metallide survega töötlemisel perspektiivsete kermiste väsimuskarakteristikute määramine ning seose leidmine tsüklilise tugevuse ja teiste töökindlus-karakteristikute vahel.

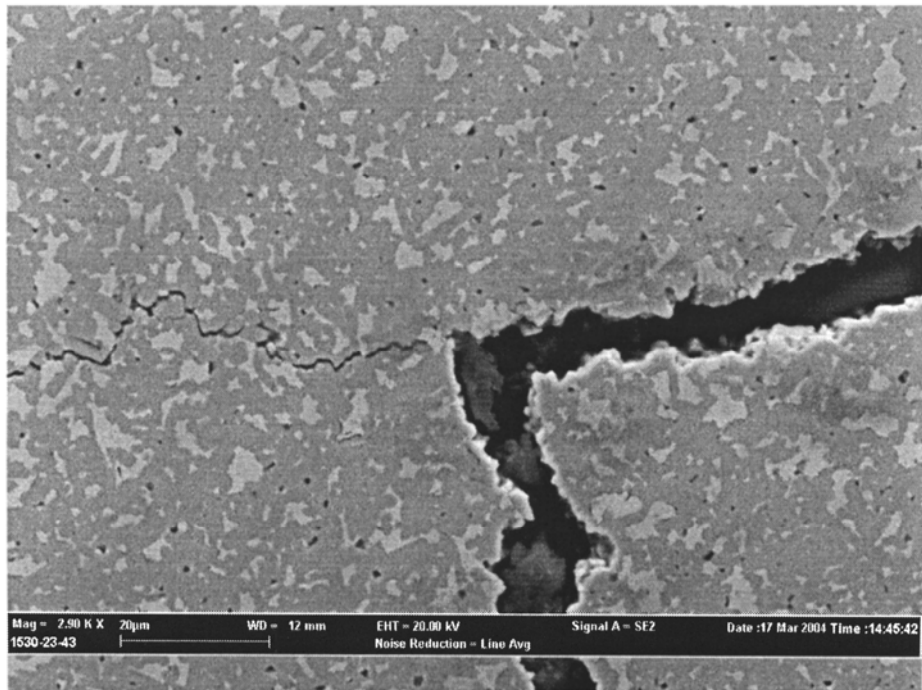
PEAMISED UURIMISTULEMUSED

Triboloogia (teadus kulumisest, hõõrdumisest ja määrimisest) omavahel tihedalt läbipõimunud alamsuundadeks on tribomaterjaliteadus, tribomeetria, triboinformaatika, tribotehnoloogia ja tribotehnika.

Tribomaterjaliteadus on materjaliteaduse osa, mis uurib materjalide purunemist kulumisel, pindmisi struktuurseid muutusi hõõrdumisel ja kulumisel. Tribomaterjaliteaduse rakenduslik väljund on uute tribomaterjalide (kulumiskindlate materjalide) väljatöötamine või materjali valiku teaduslikud alused. TTÜs on uuringud seotud peamiselt tribomaterjalide ühe alaliigiga – keraamilis-metalsed komposiidid rasksulavate ühendite baasil. Mõõdunud sajandi üheksakümnendatel on välja töötatud terve rida uusi, projekteeritud omadustega kermiseid titaan- ja kroomkarbiidi baasil. Uued materjalid sisalduvad ülemaailmses andmepangas – käsiraamatus *World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard Materials. International Carbide Data*, 1996. Viimastel aastatel on põhirõhk pandud väljatöötatud materjalide omaduste parendamisele struktuuri peenendamist ja defektikõrvaldustehnoloogiaid rakendades. Defektikõrvaldustehnoloogiaid on olulised rakendusvaldkondades, kus lisaks kulumiskindlusele on nõutav vastupanu staatilistele, dünaamilistele ja tsüklilistele koormustele. Näiteks survetööstlustööriistade tööpinnad töötavad keerulistes pingeolukordades, mida iseloomustavad eelkõige tööriistamaterjali voolavuspiirile lähedased pinged ja koormuste tsükliline iseloom. Funktsionaalsed katsed katsestantsides näitasid, et keerulise pingeolukorraga kaasneb tööriista tööpindade (servade) kulumine, sageli purunemine murenemisena. Olenevalt prevaleerivast kulumise/purunemise mehhanismist (abrasiivkulumine, adhesioonkulumine, kaasneva väsimusega) on tehniliselt ja majanduslikult otstarbekas kasutada erinevaid tööriistamaterjale.

Tribomaterjalidena survetööstlustööriistades, sh Eesti tööstuses laialdast levikut leidnud lehtmaterjalide stantside valmistamiseks kasutatakse tavaliselt volframkarbiidkermiseid – kõvasulamid WC-Co või tööriistateraseid (sh kiirlõike-teraseid). TTÜs on välja töötatud rida terassideainetega titaankarbiidkermiseid (TiC-FeNi-tüüpi) ja nende tööstlustehnoloogiaid. Sellised, suure titaankarbiidisaldusega, piisava plastuse (survel min 1%) ja purunemissitkusega kermised on osutunud WC-Co kõvasulamitega konkurentsivõimelisteks või isegi ületavad neid. Selliseid titaankarbiidkermiseid iseloomustab (volframkarbiidsetega võrreldes) tunduvalt väiksem (kuni kolm korda) tihedus ja selletõttu ülisuur eritugevus, märgatavalt väiksem hõõrdetegur kontaktis metallidega, parem adhesioonikumiskindlus ja väiksem väsimustundlikkus. Selliste kermiste väiksem väsimustundlikkus leidis koostöös Lappeenranta Tehnikaülikooliga kinnitust nii traditsioonilist kui ka kiirendatud katsemetoodikat kasutades, samuti materjali defektide tihedusele põhinevat teoreetilist arvutusmetoodikat kasutades.

Kõrgematel töötemperatuuridel, mil ilmneb WC-Co kõvasulamite väike kuumuskindlus (vastupanu oksüdeerumisele), on sobivamad niklisulamitest sideainega kermised (TiC-NiMo-tüüpi sulamid) või kermised kroomkarbiidi Cr_3C_2 baasil (vt joonis 2). Viimased on asendamatud töötingimustes, kus kulumisega



Joonis 2.
Termolöögist moodustunud praod Cr_3C_2 – baasil kermises.

kaasneb intensiivne elektrokeemiline korrosioon. Tribomaterjaliteaduse valdkonnas on olulise panuse andnud vanemteadurid Heinrich Klaasen, Jüri Pirso, Lembit Kommel, Mart Viljus ning doktorandid Irina Preis, Fjodor Sergejev ja Maksim Antonov.

Tribomeetriliste uuringute (materjalide ja pinnete hõõrdumise ja kulumise uurimine) alal on TTÜ materjalitehnika instituudil pikaajalised kogemused. Uuringutes on kasutatud peamiselt TTÜs projekteeritud ja valmistatud katse-seadmeid, samuti Tampere Ülikoolis väljatöötatud seadmeid ja meetodikat. Viimati valmis seade materjalide abrasiiv-erosioonkulumise uurimiseks kõrgendatud temperatuuridel (kuni 650°C). Katsetustegevuse tulemusena on täienenud andmepank tribomaterjalide kulumiskindluse kohta laias temperatuurivahemikus. Andmepank on rakendust leidnud tribotehnikas – materjalide valikul tööriistade, hõõrdepaaride, peenestusseadmete jne valmistamiseks. Märkimist vääriv on vanemteadurite Irina Hussainova, Jüri Pirso ja Heinrich Klaaseni panus.

Triboanalüüs seisneb tribosüsteemides (kuluvad pinnad, hõõrdepaarid) aset leidvate mehaaniliste (tribomehaanika), keemiliste (tribokeemia) ja füüsikaliste (tribofüüsika) protsesside uurimises. Viimaste aastate uuringud (koostöös Rootsi Kuningliku Tehnikaülikooli ja teiste teadusasutustega) on võimaldanud tunduvalt paremini mõista materjalide purunemisprotsesse kulumisel, sh abrasiiv-erosioon- ja adhesioonkulumisel. Selgitatud on kulumiskindluse prognoosi võimalust keraamilis-metalse komposiidi koostise, struktuuri ning mehaaniliste mikro- ja makroomaduste baasil. Näiteks, tulenevalt kulumismehhanismi iseärasustest mängivad komposiidi keraamilise faasi omadused olulisemat rolli abrasiiv-erosioonkulumisel, samal ajal kui adhesioonkulumisel on märksa olulisemad metalse faasi omadused. Erinevate faaside (keraamiline, metalne) omaduste erinev mõju kulumisele võimaldab kulumist prognoosida materjali erinevaid makroomadusi kasutades. Tribomaterjalide enimkasutatav mehaaniline omadus – kõvadus võimaldab kulumiskindlust prognoosida vaid esimeses lähenduses, sest sama kõvaduse juures võivad materjalide kulumiskindlused erineda kuni suurusjärgu võrra. Abrasiiv-erosioonkulumist saab kõige paremini prognoosida elastsusmoduli ja voolavuspiiri abil. Tingimustes, kus prevaleerib adhesioon, saab kulumiskindlust prognoosida tribomaterjali makroomaduse – voolavuspiiri abil.

Mikro- ja nanotasemel triboanalüüs on näidanud sõltuvust tehnoloogilise protsessi ning sellest tingitud aine struktuuri ja mehaaniliste omaduste vahel. On parendatud arusaama mittehomoogeensete materjalide (komposiitmaterjalid, metallisulamid) töökindluse erinevates kulumistingimustes (erosioon-, abrasiiv-, adhesioonkulumine jne) füüsikalistest alustest. Nano- ja mikrotasandil teostatud uuringud on võimaldanud välja töötada mõned uued materjalide valiku kriteeriumid erinevates kulumise ja mehaanilise koormamise tingi-

mustes, mis põhinevad purunemismehaanikal ja mikrostruktuuranalüüsil. Näidati, et mitmefaasilise materjali töökindlus on määratud mikrostruktuursete iseärasustega. Lisaks mikrostruktuuri mõjule (faasides sisalduv poorsus, tera suurus) tuleb arvestada samuti jääkpingetega, komposiitide faasidevaheliste eralduspindade energiaga ja metalse sidefaasi mittehomogeensusega. Näidati, et heterogeensete materjalide töökindluses etendavad olulist osa kõvafaasi (karbiid) ja sidefaasi omadused, faasidevahelised piirpinnad, esmajärjekorras elementide vastastikuline difusioon läbi tera piiride, kohesioonjõudude tugevus ning täppisfüüsikaliselt – eri faaside vaheline foononite ergastumise võimalus. Triboanalüüsi valdkonnas on silmapaistvaid tulemusi saanud vanemteadurid Irina Hussainova, Heinrich Klaasen ja Jüri Pirso.

Tribotehnoloogia tegeleb valdkonnaga, mis on seotud materjalide töötlemisega tribotehniliste karakteristikute (sh kulumiskindlus) parandamiseks. Kulumiskindlust on võimalik parandada pindamist ja/või kermise tera suurst vähenedes. Samasse triboloogia valdkonda – tribotehnoloogia – kuuluvad uuringud survepaagutustehnoloogia alal. Survepaagutamine (sinter/HIP) üldjuhul ei võimalda parandada pulbermaterjalide omadusi, mis ei sõltu struktuurist, või sõltuvad nõrgalt – kõvadus-, elastsusmoodul, survetugevus, purunemissitkus. Samas see tehnoloogia parandab märgatavalt kulumiskindlate komposiitide struktuuritundlikke (järeltundlikke ka defektitundlikke) omadusi, nagu paindetugevus ja mõningal määral ka adhesioonkulumiskindlus. Survepaagutustehnoloogia rakendamine TTÜs aastatel 2003–2005 Ettevõtluse Arendamise Sihtasutuse ja TTÜ vahelise lepingu “Kõrgkvaliteetsete materjalide kuumisostaatpressimise tehnoloogia” raames võimaldas märgatavalt parandada WC ja TiC baasil kermiste struktuuritundlikke omadusi. Tribotehnoloogia valdkonnas väärrib tunnustust vanemteadur Heinrich Klaaseni ja doktorant Lauri Kollo töö.

Eelnimetatud alus- ja rakendusuuringute tulemused on kasutamist leidnud tribotehnikas st hõõrduvate ja kuluvate tribosüsteemide projekteerimisel ja valmistamisel. TTÜs väljatöötatud kulumiskindlad komposiidid on rakendamist leidnud või on funktsionaalsel katsetamisel tööstuslikes tingimustes ennast hästi näidanud alljärgnevatel valdkondades: (1) survetööstustööriistad metallide mahtvormimisel (matriitsid ja templid kinnitusdetailide külmmahtvormimisel) ja müntide (Eesti sendid) reljeefstantsimisel; (2) survetööstustööriistad metallide lehtvormimisel (nt väljalõikestantsid) koostöös Eesti firmadega AS Sumar, AS Tööriistavabrik, AS PREDE jt; (3) kasutamine tingimustes, kus on nõutavad nii kulumiskindlus kui võimalikult väike tihedus: titaankarbiidkermistest rehviinaastud (koostöös Soome firmadega) ning desintegraatorite rootorite “sõrmed”; (4) mittemagnetilisest titaankarbiidkermisest pressvormid pulbriliste kõvamagnetmaterjalide vormimiseks magnetväljas; (5) treilõikurite terikute (suure jääkusega) alusplaadid; (6) lõikeriistad (lõikurid) põlevkivi kaevandamisel; (7) vedelkütuse pihustid jne.

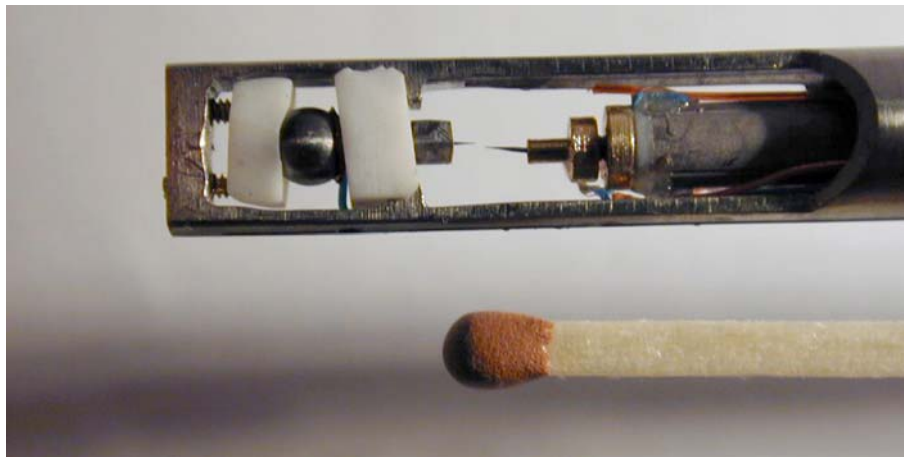
MIKRO- JA NANOTEHNOLOOGILISTE UURIMISMEETODITE ARENDAJAMINE

VAJADUS UUTE MEETODITE JÄRELE

Uurimisrühma tegevust sünergeetiliselt ühendavaks lüliks on eesmärk parendada tunnetuslikku arusaama materjali struktuuri moodustavatest protsessidest aine makro-, mikro- ja nanostruktuuridest põhjustatud omaduste vahel väga erinevate ainerühmade puhul. Ühisteks uurimisobjektideks on mitmesugused metallid ja mittemetallid ning nende ühendid. Selleks, et saada selgust tehnoloogiliste protsesside toime süvapõhjustest, ei piisa vaid valmismaterjali proovituiki analüüsimisest. Vaja on süüvida osakestevaheliste vastastikuste mõjude tasandile, kus tulevad mängu efektid, mis jäävad tööstuslikes materjalides esmapilgul nähtamatuks. Samuti tuleb vaadata neid objekte, mis tööstuse tarvis jäävad kaugteks, aga kus meid huvitav nähtus avaldub palju selgemalt. See aga tõstab uurimismetoodika väljatöötamise huvitavaks palju laiemale teadlasteringile – keemikutele, bioloogidele, meedikutele. Samas tuleb aga silmas pidada, et uurimistööd kulgevad kogu maailmas ideede ja nende realiseerimiseks vajalike võimaluste vastuolulistes tingimustes. Viimased kujundavad-määravad sageli ka teadustöö olemuse ja selle edukuse. Idee, millega lahendada konkreetne ülesanne, põrkub tihti kättesaamatute vahendite vastu. Need võivad osutada kas liiga kalliteks, et osta, liiga aeglasteks, et ise välja töötada, või liiga kaugteks, et nende juurde minna. Siit saab alguse teadusevaenulik mõtteviis, kus loobutakse sellest, mis on huvitav ja kasulik ning suunatakse tähelepanu sinna, kus piisab kohapeal olemasolevatest ressurssidest, et midagigi ära teha. Sellega aga programmeeritakse sisse hiilgavast teadusideest alanud uudse lahenduse mahajäämus alus- ja rakendusuuringutest tootearenduseni. Arutlustes kolleegidega Põhjamaade ülikoolides-teadusparkides on välja koorunud arvamus, et kommertsiaalselt toodetud aparaadist moodustab vaid 10% tegelik tootmis-hind, ülejäänud on väljatöötamise maksumus, selle juurde kuuluv *know-how* ja äri, mille osatähtsust ei või alahinnata. Kohapealne väljatöötamine aga loob veel ühe lisaväärtuse peale selle, mida vajatakse konkreetsetes uurimistöös, – koolitab kompetentse asjatundja, kellega koos jätkata uurimistööd.

Umbes 15 aastat tagasi viis õnnelik juhus Eesti füüsikud-tehnoloogid Rootsi, Lundi Ülikooli eestlasest professori Indrek Martinsoni kaudu sealsete nanospetsialistide juurde. Kiiresti arenenud sidemed võimaldasid koostöös sealse nanokonsortsiumiga hakata orienteeruma Eestis seni tundmata tehnomaastikul. Juba mõne aasta pärast valmisid Eestis esimesed nanoseadmed: tunnel- ja aatomjõu mikroskoobid. Viimaste õnnestumisele aitas kaasa Eesti Tehnoloogiaagentuuri, tollase Eesti Innovatsioonifondi toetus. Just tänu viimasele, TÜ *spin-off* väikefirma “Maico Metriksi” ja Rootsis ülikoolidest väljakasvanud firmadele “nQuip” ja “Nanofactory Instruments” õnnestusid esimesed väike-seeriatele aluse pannud prototüübid.

Meie tegevuse suund oli saada selgust, kuidas nanoosakesed omavahel on seotud. Ühtlasi aitas see teadmine ka sügavuti mõista, kuidas teravikmikroskoop töötab. Selleks tuli viimane teha niivõrd väike, et tööprotsessi saaks jälgida elektronmikroskoobiga. Sisuliselt tuli vähendada tunnel- või aatomjõu mikroskoobi mõõtmeid, mis ületasid vaid veidi tuletiku läbimõõtu (vt joonis 3).



Joonis 3.

Elektronmikroskoobi ja skaneeriva tunnelmikroskoobi hübriid, mis võimaldab uurida/visualiseerida nanoprotsesse kahe teraviku vahel.

Seejuures oli vajalik lähendada kahte teravikku mikromeetrilise täpsusega kõigis kolmes ruumidimensioonis, et seejärel alustada juba nanoliigutustega suurusjärgudes, kuhu kuuluvad aatomid. Vaatepilt, kus on näha, kuidas tahke aine voolab kahe teraviku vahel, mis on teineteisest vaid kümnekonna aatomi kaugusel, kompenseerib kogu vaeva ja kulutused. Reaalselt on võimalik tõdeda, et kvantefektid pole vaid teoreetikute fantaasia. Näiteks ei kehti nanotraadi puhul enam Ohmi seadus. Tänu kvantomadustele pole voltamperkarakteristik enam sirge, vaid trepiline. Asendades aga ühe kontakti aatomjõu mikroskoobi konsooliga, mille otsas on teravik, saame näha, kuidas mittekontaktne hõõrdumine läheb üle kontaktseks. Teravikke lähendades konsool paindub ja siis käib “klõps” ning teravikud hüppavad kokku. Nende lahtirebimiseks kulub aga “üksjagu” jõudu. Meie mõõtmiste tulemusel on selleks *ca* 1 nanonjuuton 1 aatomi kohta. Nende eksperimentide õnnestumise eest peame tänama oma kolleegi dr Donats Ertsi Läti Ülikoolist. Saadud tulemused on maiuspalaks teoreetikutele. Ukraina RTA Materjaliprobleemide Instituudi professor Vladimir Pokropivny ja dr Alex Pokropivny on oma arvutustega aidanud seletada mitmeid nanotasemel nähtud efekte. Nimelt kipub kontaktide vahele tekkima mõnikord kaks nanokaela. Teoreetiliste arvutuste järgi sai loodud videoklipp, kus on näha, et nii saab juhtuda, kui kontaktid vibreeruvad. Imeväike, mikromeetri kümnendikes toimuv vibratsioon nanoteravikes on

nagu maavärisemine, aga vaid aatomtasandil, purustab ja loob “mägesid”-“orge”.

Hiljuti töötati välja koostöös TÜ Orgaanilise ja Bioorgaanilise Keemia Instituudiga dots U. Mäeoru juhendamisel uudne materjal, mida on võimalik kasutada lähiväljamikroskoobi teravike valmistamiseks. Läbipaistev ja samaaegselt hea elektrijuhtivusega teravik avaks uued võimalused tunnelmikroskoopia baasil pinna spektraaluuringuteks. Senini on seda üritatud teha, kasutades helesinist looduslikku India teemanti, mille kõrge hind ja eriti veel selle töötlemise kallidus ei võimalda seda materjali praktikas kasutada.

Valguse kui ühe uue dimensiooni lisamine nano-uurimismeetoditesse avab sootuks uued võimalused teravikmikroskoopilisteks uuringuteks. Hiljuti koostöös Max Plancki Polümeeride Instituudiga õnnestus saada koos tunnelmikroskoopilise topograafilise kujutisega samaaegselt peaaegu sama footonkujutis teraviku luminesentsi abil. Nendes töödes on kandev roll TÜ doktorandil Tanel Tättel. Elseviere kirjastus soovitas üht esimest tööd selles vallas nimetada pioneertööks. See võimaldab luua uut tüüpi tunnelmikroskoobi, millega peale pinna topograafia saab detekteerida aine koostist. Aineosakeste teravikmikroskoopilistes uuringutes on eriline tähtsus pinnal, millel uuritav objekt asub või kinnitatakse. Näiteks silmale paistab klaas siledamast siledam, teravikmikroskoobis on see aga kõrgmägede ja orgude kogum, milles nanoosakese leidmine on peaaegu võimatu.

Nanosiledade õhukeste ja veel paljude osakeste suhtes funktsionaalsete ränioksiidsete loomise eestvedajaks on doktorant Kristjan Saal. Väljatöötatud meetodite kasutusõigus on üle antud litsentsilepingu alusel Eesti Geenitehnoloogia firmale “Asper Biotech”. See võimaldab nanouuringutes selgelt eristada aluspinna struktuuri ja uuritavat objekti.

NANOTRIBOLOOGIA

Üheks huvitavaks teadussuunaks, kus nanotehnoloogiat otseselt rakendatakse ja mis põhimõtteliselt võib kiiresti igapäevaelus rakendatavaid tulemusi saavutada, on nanotriboloogia. See on uus tehnika ja füüsika piirimail olev uurimissuund, kus selgitatakse nakkumise (ehk teisisõnu kleepumise), hõõrdumise, kulumise ja määrimise, keemilise aktiivsuse ning triboelektromagnetismi olemust nanostruktuurisel tasandil. Üheks nanotriboloogia levinud uurimismeetodiks on skaneeriva nanoteraviku kasutamine ülalloodud protsesside uurimiseks. Nanotriboloogia arengus on oluline mõistmine, et pindade hõõrdumisel on printsiipiaalne tähtsus mikro- ja nanokontaktidel, mille üldpindala on suurusjärgudes väiksem hõõrduvate pindade pindalast. Ühtset hõõrdumise-kulumise teooriat, mis põhineks keemilise sideme aatomudelil ja elektron-fofononprotsessidel, ei ole veel loodud. Pole isegi selge, kas libisemisel pindade liikumine toimub ühtlase kiirusega või seeriana diskreetsetest kleepumis-libisemisprotsessidest. Eelmises lõigus kirjeldatud nähtused on äratanud tähelepanu Euroopa nanotriboloogide hulgas. Koos kolleegidega paljudest Euroopa

ülikoolidest on jõutud järeldusele, et lõhe nanomaailma ja reaalse tehnoloogilise protsessi vahel on olemas ja seda ei olegi alati tunnetuslikul tasemel kerge ületada. Tallinna Tehnikaülikoolis on juba kümmekond aastat püütud selektada karbiidkomposiitide omaduste ja nanostruktuuride vahelist seost, eriti hõõrdumise ja kulumise aspektist vaadatuna. Siiani pole ka materjalitehnika instituudi teadlaskond päris ühtse arusaamani jõudnud.

NANOTOMOGRAAFIA

Pinnauuringu alal ilmub ligi 20 soliidset ajakirja kokku umbes 1000 artikliga kuus, pinnaaluste kohta aga paar suurusjärku vähem. Paljudel juhtudel on aga see, mis jääb pinna alla, määrava tähtsusega aine omaduste kujunemisel. Selgituseks tarvitseb vaadata vaid asfaldiauke teel. Kulumine ei toimu mitte ainult millimeeterhaaval pinnalt, vaid ka suurte latakatena. Aine sisemusse vaatamine kiht-kihilt lõikeid tehes ja hiljem arvutiga kokku monteerides on laialdaselt tuntud. Nanotasemel on aga olukord keerulisem. Kiht-kihilt aine eemaldamine on üsna lihtne nii mehaaniliselt, keemiliselt, termiliselt kui laserlõikamisega. Probleemiks saab aga sama pinnakoha ülesleidmine. Teravikmikroskoobi nõel on liiga õrn selleks, et jätta ta pinda töötleva protsessi meeleva. Töötlemisprotsessi ajaks teraviku eemaldamine oligi probleemiks, mis meil õnnestus üsnagi hästi lahendada. Nimelt tuleb teravik asetada tagasi pinnale mõnekümne nanomeetri täpsusega ja seda vähemalt kümmekond korda järgemööda. (Parimate kuullaagrite täpsus on paar suurusjärku viletsam). Siin tulid appi teadmised nanotriboloogiast. Liughõõre safiiri ja grafiidi vahel tagab parima libisemisvabaduse. Nanotomograafiline meetod annab unikaalset informatsiooni aine ehituse ja struktuuri kohta, mille saamiseks mõnikord puuduvad alternatiivsed võimalused, eriti juhul, kui uuritava kihi paksus ongi vaid mikromeeter. Seda meetodit saab rakendada ka mitmetes teistes teadusuuringutes, mis rikastavad teadmisi fundamentaalsete seoste kohta aine struktuuri ning omaduste vahel. Siiski on meetod alles "roheline". Täpsema kujutise konstrueerimist segavad mitmed asjaolud. Näiteks pole esmane pind, millest lõikeid hakatakse tegema, sugugi sile, järgmine kiht eemaldatakse ebahõltselise paksusega. Juhtub aga pinna sees olema tühimik, siis ei jää see keemiale ega laserile märkamata – söövitatakse ka tühimiku põhja ja seinu. Seni pole loodud ka nii tarka arvutiprogrammi, mis oskaks üheselt monteerida järjestikustest mägede-organite kujutistest ruumilise pildi. Sellele vaatamata saab aga selgust, et struktuuris on kihid, praod, kanalid, jälgida nende sümmeetriat jne. Nende tööde arendamisel on oluline osa TÜ FI vanemteaduril Ilmar Kingul.

RESSURSID JA VÕIMALUSED UURIMISTÖÖKS

TTÜ ja TÜ teadlaste tegevust toetavad sihtfinantseeritavad teemad: "Nanostruktuursed materjalid" (teema juht K. Haller) ja "Kulumiskindlad materjalid ja kulumine" (teema juht J. Kübarsepp). Ühistöö on kooskõlastatud ETF grandiga nr 5015 "Materjalide ja kaitsekilede nanotriboloogilised uuringud"

(2002–2005, grandihoidja A. Lõhmus). Seoses temaatika laienemisega aine sisestruktuuride uurimise suunas ja uute tegijate liitumisega, eraldati I. Hussainovale ETF grant “Kaasaegsete materjalide nanostruktuuri disain” (2005–2008). Lisaks sellele toetavad ja koordineerivad ühisuuringuid Euroopa Teadusfondi programm “Nanotriboloogia” (2002–2006, juhtkomitee liige A. Lõhmus ja 2004. a alanud COST P13 programm “Molsimu” (molekulaarsimulatsioonid) (korraldava komitee liige A. Lõhmus). Selliselt kooskõlastatud tegevusega on sisuliselt pandud alus Tallinna Tehnikülikooli ja Tartu Ülikooli materjaliteaduse ühisuuringute laboratooriumile, mille Tallinna-poolset osa koordineerib J. Kübarsepp ja Tartu-poolset A. Lõhmus.

TULEVIKUPERSPEKTIIVIDEST

See, et osagi uutest väljatöötluste tulemustest rakendamist leiab, on suur asi. Ära ei tohi unustada ka saadud kogemuste ja uute teadmiste tunnetuslikku väärtust. Nanostruktuurides lakkab materia olemast ainult aatomite ja molekulide stabiilne kogum ja iga aatom omandab individuaalse mõõtme, mis toob endaga kaasa kontseptuaalselt erineva lähenemise vajaduse, mis omakorda viib tunnetusliku maailmapildi uuele tasemele. Nanotehnoloogia olulisust tulevikus on teadvustanud endale nii Eesti teadlaskond kui ka laiem üldsus. Kuigi praegu leiab nanotehnoloogia Eesti majanduses vaid minimaalsel tasemel rakendamist, on tulevikule mõeldes oluline Eesti teadus- ja uurimisasutustes nanoteadusega aktiivselt edasi tegeleda, et olla valmis murranguks nanotehnoloogia laialdaseks rakendamiseks kõrgtehnoloogilises tööstuses. Juba olemasolev tase lubab edukalt osaleda nanoteaduste arengus ja kaasa aidata murrangu kujundamisele, kuid pidev ja laiaulatuslik töö on hädavajalik taseme säilitamiseks ja valmisoleku kindlustamiseks. Loodame, et sellele aitab igati kaasa ka hiljuti loodud Eesti Nanotehnoloogia Arenduskeskus.

KIRJANDUS

Bhushan, B. 1999. Nanoscale tribophysics and tribomechanics. *Wear*, 225-229, 465-492.

Erts, D., Lõhmus, A., Lõhmus, R., Olin, H., Pokropivny, A. V., Ryen, L., Svensson, K. 2002. Force interactions and adhesion of gold contacts using a combined atomic force microscope and transmission electron microscope. *Appl. Surf. Sci.*, 188, 460-466.

Erts, D., Polyakov, B., Lõhmus, A., Lõhmus, R., Olin, H., Morris, M. A., Holmes, J. D. 2003. Metallic and semiconducting nanowires studied by TEM-SPM. *Phys. Low-Dim. Struct.*, 3-4, 65-74.

Hussainova, I. 2003. Effect of microstructure on the erosive wear of titanium carbide based cermets. *Wear*, 255, 121-128.

- Hussainova, I. 2002. Effect of microstructure and service conditions on tribological performance of cermets. *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials. Part 8, Material Properties.* Metal Powder Industry Publications, USA, Princeton, 6-15.
- Hussainova, I. 2001. Some aspects of solid particle erosion of cermets. *Tribol. Int.*, 34, 89-93.
- Hussainova, I., Antonov, M. 2003. Elevated temperature wear of chromium carbide based cermets. *Proc. Est. Acad. Sci. Eng.*, 9, 4, 261-271.
- Hussainova, I., Kübarsepp, J. 2004. Assessment of the wear resistance of multiphase materials. *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials. Part 6, Hard Metals. Refractory metals. Composites.* Metal Powder Industry Publications, Princeton, USA, 16-27.
- Hussainova, I., Kübarsepp, J. 2001. The effect of impact angle on the erosion of cermets. *Fundamentals of Tribology.* Kluwer Academic Publishers, Nederland, 537-542.
- Hussainova, I., Kübarsepp, J., Pirso, J. 2001. Mechanical properties and features of erosion of cermets. *Wear*, 250, 818-825.
- Hussainova, I., Pirso, J. 2003. Microstructural aspects of wear of particle reinforced composites. *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials. Part 6, Hard Metals. Refractory metals Composites.* Metal Powder Industry Publications, Princeton, USA, 71-81.
- Hussainova, I., Pirso, J., Viljus, M. 2002. Processing and tribological properties of chromium carbide based cermets. *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials. Part 6, Hard Metals. Refractory metals. Composites.* Metal Powder Industry Publications, Princeton, USA, 23-30.
- Hussainova, I., Viljus, M. 2003. Microstructural effects on wear of non-homogeneous materials. *Proc. Est. Acad. Sci. Eng.*, 9, 2, 126-136.
- Kink, I., Kisand, V., Saal, K., Tätte, T., Lobjakas, M., Lõhmus, A. 2004. Laser ablation for 3D nanometric imaging of solids. *Proc. Est. Acad. Sci. Eng.*, 10, 1, 30-38.
- Kink, I., Lõhmus, R., Adamovich, M., Jaaniso, R., Saal, K., Lobjakas, M., Lõhmus, A. 2003. Three-dimensional subsurface imaging with laser ablation/AFM. *Proc. of SPIE (International Society for optical Engineering)*, 5123, 266-269.
- Klaasen, H., Kübarsepp, J. 2001. Properties of hardmetals influencing their adhesive wear in sheet metal blanking. *Finnish Journal of Tribology*, 20, 1, 23-30.

Klaasen, H., Kübarsepp, J. 2004a. Wear of advanced cemented carbides for metalforming tool materials. *Wear*, 256, 7-8, 846-853.

Klaasen, H., Kübarsepp, J. 2004b. Wear behaviour and mechanical properties of sinterhipped hardmetals. *Powder Metallurgy*, 47, 2, 161-167.

Klaasen, H., Kübarsepp, J., Preis, I. 2003. Durability of advanced TiC-base cermets. *Proc. Est. Acad. Sci. Eng.*, 9, 4, 272-280.

Klaasen, H., Kübarsepp, J., Preis, I. 2004. Wear behaviour, durability, and cyclic strength of TiC base cermets. *Mater. Sci. Tech.*, 20, 8, 1006-1010.

Kommel, L., Hussainova, I., Kimmari, E. 2002. The structure and properties forming in boron carbide/aluminium composite during processing. *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials. Part 6, Hard Metals. Refractory metals. Composites. Metal Powder Industry Publications, USA, Princeton*, 8-15.

Kumar, K., Van Swygenhoven, H., Suresh, S. 2003. Mechanical behaviour of nanocrystalline metals and alloys. *Acta Mat.*, 51, 5743-5774.

Kübarsepp, J., Klaasen, H., Pirso, J. 2001. Behaviour of TiC-base cermets in different wear conditions. *Wear*, 249, 3-4, 229-234.

Kübarsepp, J., Klaasen, H., Vainola, V. 2004. Performance of hard alloys in abrasive-erosive and sliding wear conditions. *Proc. Est. Acad. Sci. Eng.*, 10, 4, 308-315.

Lõhmus, R., Erts, D., Lõhmus, A., Svensson, K., Jompol, Y., Olin, H. 2001. STM and AFM instrumentation combined with transmission electron microscope. *Phys. Low-Dim. Struct.*, 3-4, 81-89.

Pokropivny, A. V., Erts, D., Pokropivny, V., Lõhmus, A., Lõhmus, R., Olin, H. 2004. Study of nanoscale contacts with help of combined TEM-AFM technique and theoretical MD-TM calculation : In situ transformations of gold nanowires. *Phys. Low-Dim. Struct.*, 1-2, 83-90.

Raamat, R., Lõhmus, R., Lõhmus, A., Liblik, P., Lobjakas, M., Montelius, L., Lindahl, J., Erts, D., Olin, H. 2001. Piezoresonance driver for positioning scanning probe microscopes in a wide temperature range. *Ferroelectrics*, 258, 1-4, 339-344.

Tarassov, M., Stepantsov, E., Lindström, T., Lõhmus, A., Ivanov, Z. 2002. Submillimeter-wave quasioptical integrated tester based on bicrystal Josephson junctions. *Physica*, C372-376, 347-350.

Tarte, E. J., Magnelind, P. E., Tzalenchuk, A. Ya., Lõhmus, A., Ansell, D. A., Blamire, M. G., Ivanov, Z. G., Dyball, R. E. 2002. High Te SQUID systems for magnetophysiology. *Physica*, C368, 50-54.

Tätte, T., Avarmaa, T., Lõhmus, R., Mäeorg, U., Pistol, M.-E., Raid, R., Sil-dos, I., Lõhmus, A. 2002. Transparent and conductive Sb-doped tin oxide SPM tips prepared by sol-gel method. *Mat. Sci. Eng.*, C19, 100-104.

Tätte, T., Reedo, V., Adamovich, M., Avarmaa, T., Lõhmus, R., Mäeorg, U., Pistol, M. E., Subbi, J., Lõhmus, A. 2002. Metal oxide based SPM tips prepared by sol-gel method. *Phys. Low-Dim. Struct.*, 5-6, 31-37.

Tätte, T., Saal, K., Kink, I., Kurg, A., Lõhmus, R., Mäeorg, U., Rahi, M., Rinke, A., Lõhmus, A. 2003. Preparation of smooth siloxane surfaces for AFM visualization of immobilized biomolecules. *Surf. Sci.*, 532, 1085-1091.

*Teaduspreemia arstiteaduste alal
afektide neurobioloogilise regulatsiooni alaste tööde eest*



Jaanus Harro

Sündinud 7.11.1962 Tartus.

1981 Võru Kreutzwaldi Gümnaasium
1987 Tartu Ülikool, arstiteaduskond
1990 meditsiinkandidaat (farmakoloogia), Tartu Ülikool
1993 arstiteaduse doktor meditsiinilise farmakoloogia erialal, Uppsala Ülikool

Alates 1994. aastast Tartu Ülikool: neuropsühhofarmakoloogia erakorraline professor, terviseedenduse erakorraline professor, arstiteaduskonna prodekaan, psühhofüsioloogia professor, sotsiaalteaduskonna dekaan. 2001. aastast alates Eesti Käitumis- ja Terviseteaduste Keskuse juhataja.

Alates 2004. aastast *Collegium Internationale Neuro-Psychopharmacologicum*'i hariduskomitee liige ning Kesk- ja Ida-Euroopa regionaalkomitee teaduslik sekretär.

Avaldanud rahvusvaheliste ajakirjade artiklite ning raamatupeatükkidena üle saja teadusliku töö.

XX sajandi vältel leidis psüühikateadustes aset mitu pööret. Füsioloogide sajandi alguseks valitsema pääsenud üldised ettekujutused ajutegevusest käitumise reguleerimisel ei olnud küllaldased vastamiseks olulistele konkreetsetele igapäevasesse käitumisse puutuvatele küsimustele. Seetõttu võtsid juhtpositsiooni üle pealtnäha paljulubavad ajukauged teooriad ja realiseerus uus vorm kartesiaanlikust dualismist. Freudi ja tema järgijate teadvustamatu-kontseptsioonid ei tuginenud, vaatamata füsioloogiatermineid sisaldavale retoorikale, tegelikele teadmistele ajutalitlusest. Biheivioristlikud käsitlused seevastu võtsid aju “musta kastina”, pidades vajalikuks käsitleda vaid sisendit ja väljundit. Psühholoogiategade eelmise sajandi suurkuju B. F. Skinneri lausung “emotsioonid on suurepäraseks näiteks käitumise väljamõeldud põhjustest” illustreerib hästi tekkinud kriisi käitumisteadustes. Kriisist väljatulemise teedeks olid nn kognitiivne revolutsioon, mis määras uue peajoone n-ö normaalse psühholoogia jaoks, ja hiilivamalt psühhofarmakoloogiline revolutsioon, mis muutis põhjalikult psüühikahaiguste käsitlemist. Viimastel aastakümnetel on oluliselt rikastunud aju ja käitumise uurimise meetodite arsenal ning ajukuvamismeetodid kombineeritult neurokeemiliste ja psühhofarmakoloogiliste analüüsidega ja molekulaargeneetika annavad lootust, et üks teaduse suurimastest väljakutsetest – mõista inimvaimu ja -hinge olemust – tasub vastu võtta.

Käesolevate ridade autori töö on välja kasvanud Lembit Allikmetsa neurofarmakoloogilise koolkonna traditsioonidest, mille kujundamisel osalesin koos Lembit Rägo ja Raul-Allan Kiivetiga ärevust tekitavate ja ärevusevastaste ravimite toimeid ja stressimehhanisme uurides ning koos Eero Vasaraga

neuropeptiid koletsüstokiniini alases uurimistöös. Edasine tutvumine Rootsi kuulsa neurokeemiakoolkonnaga, mille värskem suurtunnustus on Nobeli preemia Arvid Carlssonile 2000. aastal, ja eksperimentaalpsühholoogilise traditsiooniga on saanud aluseks katsele avada uus multidistsiplinaarne suund, milleks organisatsioonilise võimaluse andis Jüri Alliku pakkumine luua TÜ-s psühhofüsioloogia uurimisrühm. Täna võib seda pidada ülesehitatuks. Peamised uurimisülesanded ja -objektid on patogeneetiliste ja endofenotüüpidel põhinevate depressioonimudelite ning antidepressantide seiremodelite loomine, isiksuseomaduste neurokeemilised alused, sealhulgas eriti uudsusel suunatud ehk neootilisel ja sotsiaalsel käitumisel, neuropeptiidide (NPY, CRF, CCK) rolli selgitamine ärevushäirete, depressiooni ja sõltuvushäirete arengus, individuaalsete erinevuste psühhofarmakoloogia arendamine, eriti psühhostimulaatoritundlikkuse osas, tervistmõjustavat käitumist ennustavad biokeemilised ja geneetilised markerid ning impulsiivsus, ülemääraselt riskiv käitumine ning nende bioloogilised alused.

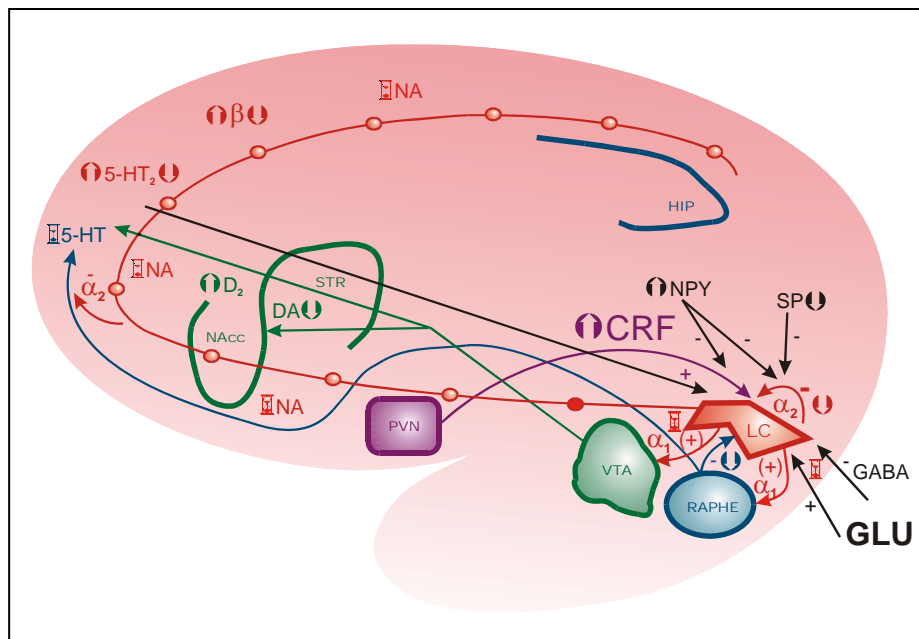
Eelmises lauses kirjasolevaid ülesandeid näikse olevat liiga palju – piisaks ehk, kui üks neist korralikult ja süvenenult ette võtta? Piisakski, kui psüühikateadus oleks samasse arengufaasi jõudnud kui täppisteadused. Kuulame aga korra, mida võiks öelda analüüsiv agnostik: afektiivsete psüühiliste nähtuste kategoriseerimine on lahendamata, vähemalt loodusteaduslikus mõttes; senituntud psüühikaravimite prototüübid on avastatud juhuslikult ja me ei ole racionaalse disainiga suutnud luua ühtegi põhimõtteliselt uut toimemehhanismi; kasutuselolevad psüühikahäirete ja -ravimite loomkatsemudelid on nii piiratud valiidsusega, et me tegelikult ei tea, mida nad mõõdavad; küsimustikes ise kirjeldatud ja tegelikult jälgitavad käitumiseelistused langevad vähe kokku. Kui lugeda juhtivate emotsiooniteadlaste neurobioloogilisi käsitlusi, tundub, et nad elavad eri planeetidel, sest kontinendid ju tänapäeval enam nii kaugel üksteisest ei asu. Mida siis teha? Minna valitud eesmärgi – afektide neurobioloogilise regulatsiooni mõistmise – poole multidistsiplinaarselt, ammutades mõtteid uutest teadmistest nii aju ehitus- ja talitusprintsipiide kui inimpsühholoogia taksonoomiliste lahenduste vallas. Meie teadustöö afektide neurobioloogilise regulatsioonist põhineb innovaatsel teoreetilisel käsitlusel, mis toetub multidistsiplinaarsele eksperimentaalsele uurimistööle.

Oleme aastatel 2001–2004 esitanud afektiivsete häirete patogeneesi kohta rea teoreetilisi üldistusi ja uudseid ideid nende eksperimentaalseks modelleerimiseks ning ravimiseire meetodite kvalitatiivseks arendamiseks, loonud sellega paralleelselt uusi afektiivsete häirete eksperimentaalseid mudeleid ning kirjeldanud afektidestjuhitud käitumise uusi neurobioloogilisi regulaatormehhanisme. Selles töös on olnud ühendatud paarikümne mitmesse uurimisrühma kuuluva kolleegi töö, kelle panuse õiglaseks sisuliseks kirjeldamiseks jääb kirjutise maht napiks – autorite nimed avaldatud tööde loetelus aga annavad sellest ligikaudse ülevaate.

Valdkonna aktuaalsust näitab see, et depressioon tõuseb XXI sajandi algusperioodil WHO prognoosi järgi teisele kohale eluiga ja -kvaliteeti halvendavate haiguste ja häirete ülemaailmses nimekirjas. 1950.–1960. aastail tõi psühhofarmakoloogiline revolutsioon kasutusele esimesed tõepoolest efektiivsed depressiooni ravivad ning haiguse taaskordumist vältivad ravimid. XX sajandi lõpukümnendel lisandus teine antidepressantide põlvkond (eeskätt SSRI-d ehk selektiivselt serotoniini tagasihaaret pärssivad ravimid nagu *Prozac*) ning käesoleval ajal võitleb endale edukalt eluõigust välja nn kolmas põlvkond antidepressante. Depressiooniravimite tarbimine kasvas 1990. aastail kogu arenenud majandusega maailmaosas eksponentsiaalselt.

Püüd luua veelgi uuemaid antidepressante, mis tänast ravimitööstust iseloomustab, annab aga selgelt mõista, et saavutatuga rahulolemiseks ei ole sugugi põhjust. Nüüdisaegsed depressiooniravimid a) avaldavad nii spetsiifiliselt depressioonivastast kui ka rahustavat toimet alles pärast mõnenädalast manustamist, b) ei aita kõiki patsiente, eriti noorukeid, c) ei hoiä ära depressioonihoogude kordumist, kui ravimit ei kasutata aastaid, ja d) ei ole kõikidele patsientidele talutavad kõrvaltoimete tõttu. Uute ravimite loomist aga raskendab asjaolu, et depressiooni patogenees (vt joonis 1) on tegelikult siiani ebaselge ning uute ravimite seireks kasutatavad mudelid on vähetundlikud ning ebaspetsiifilised. 1960. aastail esitati monoamiiniteooria, mis püsis peamise depressiooni tekkimise neurobioloogilise seletusena tänaseni. Kuna see klassikaline teooria ei suuda paljusid empiirilisi fakte seletada ja näib olevat mitmete teistega lausa vastuolus, on viimaseil aastail esitatud mitmeid alternatiivseid teooriaid. Paraku ühendab neid tõlgendamiseks võetud faktide piiratud valik, mis teeb need hüpoteesid tegelikult võimetuks tõsiselt konkureerima klassikalise monoamiiniteooriaga.

Meie teoreetilis-eksperimentaalsete tööde sarjas esimene olulisem töö on ajakirjas *Brain Research Reviews* ilmunud depressiooniteooria [Harro, Oreländ, 2001], mis näib olevat ühtaegu senistest kõige laiema haardega ja neurobioloogiliselt detailseim. Esitatud teooria peamisteks tugevateks külgedeks on 1) toetumine üldiselt aktsepteeritud monoamiiniteooria alusfaktidele, 2) nende faktide originaalne interpreteerimine täiendava empiirilise andmestiku alusel, 3) “normaalsete” meeleolukõikumiste, ärevushäirete, depressiooni ja ravile allumatu depressiooni neurobioloogia eritlemine, 4) häire teadaolevate tekkepõhjuste ja loomuliku kulu arvestamine, 5) uute neurobioloogiliste mehhanismide sissetoomine teoriasse neid “klassikalistega” sidudes, 6) lühike ülevaade peamistest seniavaldatud depressiooniteooriatest koos nende olemuslike probleemide kriitikaga ja näidetega, kuidas need teooriad on integreeritavad käesoleva teooriaga, 7) võimalus teooria alusel püstitada eksperimentaalselt falsifitseeritavaid hüpoteese. Selle afektiivsete häirete teooria ühe komponendi edasiarenduseks on neuropeptiidide osa mõtestamine monoamiinvirgatsainete talitluse ja käitumise kontrollimisel. Neuropeptiid Y uurimiseks tehtud töö kokkuvõte [Kask jt, 2002] koos tervikliku mudeli väljapakumiseega rahvusva-



Joonis 1.
 Depressiooni patogenees on etapiline, dünaamiline ja interaktiivne [Harro, Oreland, 2001].

helise autorite kollektiivi poolt, milles Tartu uurijatel oli juhtiv osa, on saanud paari aastaga valdkonna põhiallikaks. Neuropeptiididele keskendub ka analüüs, mille peamiseks eesmärgiks on kontseptuaalse nihke saavutamine psühhofarmakoloogias, arvestamaks sisuliselt neurobioloogilisi individuaalseid erinevusi ja keskkonna mõju [Panksepp, Harro, 2004].

Niisugune lähenemisviis võimaldab paremini mõista tänases erialakirjanduses ülitavaliseks muutunud faktilisi vastuolusid ja vältida katseandmete väärtõlgendusi [Harro, 2002]. Hüpooteesipõhisel aju ja käitumise uurimisel on aktualiseerunud nii farmakoloogiliste kui psühholoogiliste printsiipide süstemaatilisem käsitus. Sellele aitavad kaasa nii isiksuse biomarkerite analüüs geeniekspressiooni kontekstis [Oreland jt, 2002] kui ka farmakoloogia põhimõistete süstemaatika rõhutamine bioloogilises psühhiaatrias [Harro, 2004b].

Viimasel aastal on meie uurimisrühma üheks prioriteediks olnud strateegia kujundamine niisuguste meetodite loomiseks, mille abil saaks luua põhimõtteliselt uude toimemehhanismiga afektiivsete häirete ravimeid – seda kirjeldab ajakirja *BioTechniques* uude, ravimiarendusele pühendatud tütarväljaandesse *Preclinica* tellitud artikkel [Harro, 2004a]. Uurimisrühma strateegiat praegu ja

ettevaatavalt kirjeldab ka *Collegium Internationale Neuro-Psychopharmacologicum*'i poolt välja antavas psühhofarmakoloogide autobiograafiate kaudu valdkonna ajalugu kirjeldavas raamatus ilmunud peatükk [Harro, 2004c].

Meie uurimisrühma eksperimentaalne töö on lihtsustatult jagatav loom- ja inimkatseteks, kuigi mõlema taga on ühtsete eesmärkidega multidistsiplinaarne strateegia selgitada afektide struktuuri neurobioloogiliste alusmehhanismide kaudu. Patogeneesi eksperimentaalses uurimises on eriline koht olnud katsetel luua depressiooni neurokeemilised mudelid, mis põhinevad bioloogilise haavatavuse simuleerimisel ja kontrollimatu stressi kombineeritud rakendamisel sellega. Depressioonil on oluline polügeenne komponent, mis harva manifesteerub ilma kohanemisvõime häirumiseta ülemäärase stressi tingimustes. Kasutades kroonilise ennustamatu stressi kombineerimist neurokeemiliselt ja -anatomiliselt valikuliste kahjustustega on loodud kaks erinevat neurobioloogilist afektiivsete häirete eksperimentaalset mudelit [Harro jt, 2001a; Häidkind jt, 2003]. Esimene neist on juba pälvinud märgatavat tähelepanu, kuna kinnitab eksperimentaalselt oletusi nn ebatüüpilise, magusahimuga ärevusdepressiooni bioloogilise mehhanismi kohta. Originaalsete depressiooni teoreetilise ja eksperimentaalse modelleerimise alaste tööde tõttu kutsuti meie uurimisrühm partneriks EC 6. raamprogrammi integreeritud projekti NEWMOOD, mille eesmärgiks on depressiooni molekulaarse ja süsteemse patogeneesi selgitamine.

Afektiivsete häirete patogeneesi selgitamisel on oluline arvestada erinevate monoamiinisüsteemide koostalitlust. Oleme näidanud, et noradren(NA)ergiliste mehhanismide talitluse muutumisel levivad häired teistesse monoamiinisüsteemidesse, nii serotoniini(5-HT)süsteemi [Eller, Harro, 2002] kui ka dopamiini(DA)süsteemi. Eespoolkirjeldatud depressiooniteoorias järeldub, et depressiooni, sõltuvushäirete ja Parkinsoni tõve puhul ilmnevad muutused DA-süsteemis tulenevad esmasest NA-süsteemi alatalitlusest. Mitmed uurimisrühma varasemad katsed on näidanud, et NA-neuronite kahjustamisel tekib psühhostimulaatorite toime suhtes ülitundlikkus, ja seda tulemust kinnitab hiljuti Howard Hughes'i Meditsiiniinstituudis D. Weinshenkeri ja R. Palmiteri poolt NA-sünteesi tagava ensüümi geneetiliselt modifitseeritud hiirtega tehtud uurimistöö. Meie uurimisrühm on näidanud, et see võib olla seotud D₂ retseptorite ülitundlikkusega, mis ilmneb juba minimaalse demonstreeritava LC denervatsiooni tingimustes [Harro jt, 2003]. Nähtuse tekkepõhjuseks võib olla DA vabanemise vähenemine: vabalt liikuvatel katseloomadel teostatud neurokeemiline eksperiment (*in vivo* mikrodialüüs) näitas, et NA-neuronite kahjustamisel väheneb tõepoolest DA vabanemise potentsiaal [Häidkind jt, 2002]. Seega võib mitmete traditsiooniliselt DA-neuronite talitlushäireks peetavate psühhopatoloogiliste seisundite taga olla primaarselt hoopis *locus coeruleus*'e (LC) NA-neuronite puudulik talitus.

Üheks vastamata küsimuseks on monoamiinisüsteemides defektide tekkimise molekulaarne mehhanism. Suurenenud psühhiaatrilise haavatavusega inimestel esinev polümorfism AP-2 perekonda kuuluva transkriptsioonifaktori geenis võib olla seotud nende faktorite osalusega monoamiinineuronite talitluse kontrollimisel ajutüves [Damberg jt, 2001]. AP-2 transkriptsioonifaktorite olulisest mõjust monoamiinisüsteemidele seoses kohastumisega stressile räägib ka korrelatsioon AP-2 tasemete vahel LC-s noradrenaliinitasemetega LC projektsioonialadel, kusjuures see korrelatsioon pöörduv vastupidiseks kestva stressi tingimustes [Mällo jt, 2004].

Monoamiinisüsteemide talitluse integriteedi tagamisel osalevad mitmed neuropeptiidid, millest olulisemat rolli mängivad juba nimetatud NPY kõrval CCK ja CRF. Kui CCK kahesuunalist rolli katehoolamiine vabastavate psühhostimulaatorite toimes on kirjeldatud korduvalt ja vastuoluliselt, siis katsetingimuste rafineerimine näitab, et CCK-DA interaktsioonis on tähtis roll keskkonnal: amfetamiini toime moduleerimine ilmneb eriti selgelt siis, kui toime seostub alati kindla kontekstiga [Altoa, Harro, 2004]. Sensitisatsioon psühhostimulaatori suhtes, mida peetakse sõltuvushäire aluseks, puudub täielikult, kui CCK ei saa toimida CCK₁-tüüpi retseptoritele, kujuneb aga tugevamalt välja, kui CCK ei toimi amfetamiini mõju ajal CCK₂-tüüpi retseptoritele. Sellest järeldub, et tundlikkus psühhostimulaatoritele sõltuvuse väljakujunemises sõltub uimasti korduvalt tarvitamisel CCK toime tasakaalust kaht eri tüüpi retseptorile. Uute depressiooniravimite loomisel on eriline tähelepanu neuropeptiid CRF-il kui universaalsel stressimediatoril. Meie grupp näitas, et CRF-i kahetine roll käitumises on seletatav NA-neuronite seisundiga [Harro jt, 2001b; Mällo jt, 2004], mis võimaldab ületada senist vastuolu CRF rolli mõistmisel normis vs patoloogias. On ju CRF-i vabanemine loomulik algus igale stressireaktsioonile, olgu see kohanemisele kaasaaitav või häiretele viiv. CRF₁-retseptorite blokeerimine hoiab täielikult ära kestva stressi mõjul väljakujunevad muutused AP-2 transkriptsioonifaktorite ja NA-tasemete vahel LC-süsteemis [Mällo jt, 2004]. Sellest järeldub, et stressitingimustes alati vabanev CRF aitab organismil kohaneda, käivitades AP-2-sõltuvad geenitranskriptsiooni muutused LC-neuronites.

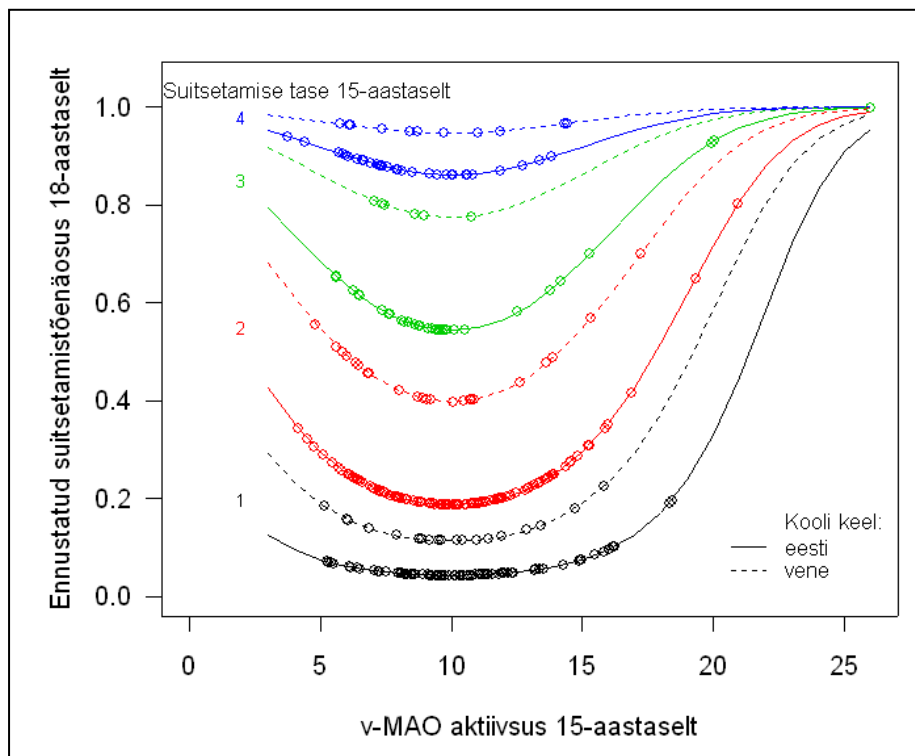
Afektiiivsete häirete heterogeensus nõuab lisaks uuringutele sündroomi tasemel selle komponentide neurobioloogilist eritlemist. Afektiiivsete häirete kognitiivsete ja emotsiooniliste tahkude üheks sidujaks näib olevat impulsiivsus [Harro, 2002], mis on tänapäeva psühholoogiateooriates omamoodi õnnetu omadus: keegi ei kahtle, et impulsiivsus on olemas, aga isiksuseomaduste taksonoomiates on tal tagasihoidlik ja teooriaid võrreldes ilmselt vastuoluline koht. Seetõttu on meie uurimistöe üheks aspektiks impulsiivsuse ning sellega seostuvate käitumisviiside neurobioloogiline analüüs [Harro, Viru, 2001; Arro jt, 2001; Häidkind jt, 2004]. Eriti oluline on avastus, et rottidel on jälgitav selline fundamentaalne isiksuseomadus nagu sotsiaalsus, mis eksisteerib püsiva kalduvusena rohkem või vähem sotsiaalselt käituda, kuigi on piiratud ulatuses

moduleeritav keskkonna, sealhulgas partneri sotsiaalse käitumise poolt [Tõnissaar jt, 2004]. Püsisotsiaalsus rottidel osutus olevat kontrollitav prefrontaalse ajukoore serotoniinimetabolismi kaudu.

Uurimaks impulsiivsuse ja teiste afektiivsete konstruktide poolt mõjustatavaid käitumiseelistusi koos serotoniinisüsteemi perifeersete markeritega inimestel, on meie uurimisrühm loonud kaks enam kui tuhandet uuritavat hõlmavat isiksuseomaduste, ülemääraselt riskiva käitumise ja biomarkerite andmebaasi, ühe neist koostöös TÜ tervishoiuinstituudi ja Tervise Arengu Instituudiga nende südameuuringute partneritena, teise Maanteeameti toetusel toimuva liikluskäitumise uuringu raames. Serotoniinisüsteemi biomarkerite uuringud niisugustel andmebaasidel on leidnud esmast kirjeldamist rea tuntud hüpoteeside kontrollimisel uudsetes ja valiidses tingimustes [Harro jt, 2001c; Kiive jt, 2002, 2004; Merenäkk jt, 2003]. Kvalitatiivseks edasiminekuks valdkonnas on 2004. aastal avaldatud tulemused. Longituuduuringuga näitasime, et ensüüm monoamiinide oksüdaasi aktiivsus vereliistakutel (v-MAO), mis peegeldab aju serotoniinineuronite kapatsiteeti, võimaldab iseseisva tegurina ennustada regulaarset suitsetamist teismelistel [Harro jt, 2004] (vt joonis 2).

Vaid 10%-protsendiline hälve keskmisest v-MAO aktiivsusest suurendab tõenäosust saada regulaarseks suitsetajaks. Teiseks täiesti uudeks tulemuseks longituuduuringus oligi see, et v-MAO aktiivsus on mittelineaarne ennustav tegur, mis võimaldab seletada paljusid loom- ja inimuuringute seniseid vastuolulisi tulemusi serotoniini mõjust käitumisele. V-MAO kui serotoniinineuronite talitluse peegeldaja seos käitumiseelistustega ilmnes politsei poolt joores juhtimiselt tabatute võrdlemisel kontrollrühmaga [Eensoo jt, 2004]: joores juhtinud on suurema düsfunktsionaalse impulsiivsusega ja madalama serotoniinineuronite kapatsiteediga. V-MAO aktiivsus on kogupopulatsioonis koos mõnede psühholoogiliste ja käitumuslike teguritega iseseisvaks ennustavaks teguriks alkoholijoores autojuhtimisele vastavalt statistilisele mudelile, mille koguennustusväärtus on väga suur [Eensoo jt, 2005].

Kokkuvõttes, on loodud teoreetiline alus, eksperimentaalsed mudelid ja epidemioloogiliselt adekvaatne andmebaas afektiivsete häirete uurimisel uue kvaliteedi saavutamiseks. Eriti suur väärtus on kogunenud uurimisrühm, mis on psüühikateadustes, sealhulgas eriti afekti regulatsiooni küsimustes, eelseisvateks väljakutseteks valmis.



Joonis 2.

Regulaarset suitsetamist 18-aastaselt ennustavad Tartu linnas ja maakonnas kolm sõltumatut tegurit: varasem suitsetamiskogemus, koolikeel ja kõrvalekalduvus keskmisest v-MAO aktiivsusest (ehk siis serotoniinineuronite aktiivsusest) [Harro jt, 2004].

Preemia aluseks olnud tööde tsükkel:

TEOREETILISED JA TEOREETILIS-EKSPERIMENTAALSED TÖÖD

Harro, J. 2004a. Animal models for better antidepressants: can pathogenetic approaches make a difference? *Preclinica*, 2, 402-407.

Harro, J. 2004b. Appendix A: Pharmacodynamics and pharmacokinetics. Panksepp, J. (ed). *Textbook of Biological Psychiatry*. John Wiley & Sons, 661-681.

Harro, J. 2004c. On Holy Ground: Modern neuropsychopharmacology in the old laboratories of Buchheim, Schmiedeberg and Kraepelin in Tartu/Dorpat.

Ban, T. A., Healy, D., Shorter, E. (eds). Reflections on Twentieth-Century Psychopharmacology. Animula, Budapest, 355-360.

Harro, J. 2002. Long-term partial 5-HT depletion: interference of anxiety and impulsivity? *Psychopharmacology*, 164, 433-434.

Harro, J., Oreland, L. 2001. Depression as a spreading adjustment disorder of monoaminergic neurons: a case for primary implication of the locus coeruleus. *Brain Research Reviews*, 38, 79-128.

Kask, A., Harro, J., von Hörsten, S., Redrobe, P., Dumont, Y., Quirion, R. 2002. The neurocircuitry and receptor subtypes mediating anxiolytic-like effects of neuropeptide Y. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26, 259-283.

Oreland, L., Damberg, M., Garpenstrand, H., Harro, J., Hallman, J. 2002. Platelet monoamine oxidase, transcription factor AP-2 and personality – a functional triangle? Nagatsu, T., Nabeshima, T., McCarty, R., Goldstein, D. S. (eds). *Catecholamine Research: From Molecular Insights to Clinical Medicine*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 439-442.

Panksepp, J., Harro, J. 2004. Future of neuropeptides in biological psychiatry and emotional psychopharmacology: Goals and strategies. Panksepp, J. (ed). *Textbook of Biological Psychiatry*. John Wiley & Sons, 627-659.

AFEKTIIVSETE HÄIRETE PATOGENEESI EKSPERIMENTAALNE UURIMINE
Altoa, A., Harro, J. 2004. Effect of CCK₁ and CCK₂ receptor blockade on amphetamine-stimulated exploratory behaviour and sensitization to amphetamine. *European Neuropsychopharmacology*, 14, 324-331.

Arro, A., Uustare, A., Harro, J., Rincken, A. 2001. Modulation of [³H] 8-OH-DPAT binding to rat brain membranes by metal ions. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*, 50, 28-38.

Damberg, M., Eller, M., Tõnissaar, M., Oreland, L., Harro, J. 2001. Levels of transcription factors AP-2 α and AP-2 β in the brainstem are correlated to monoamine turnover in the rat forebrain. *Neuroscience Letters*, 313, 102-104.

Eller, M., Harro, J. 2002. Partial denervation of the locus coeruleus projections by treatment with the selective neurotoxin DSP-4 potentiates the long-term effect of parachloroamphetamine on 5-HT metabolism in the rat. *Neuroscience Letters*, 322, 53-56.

Harro, J., Terasmaa, A., Eller, M., Rincken, A. 2003. Effect of denervation of the locus coeruleus projections by DSP-4 treatment on [³H]-raclopride binding to dopamine D₂ receptors and D₂ receptor - G-protein interaction in the rat striatum. *Brain Research*, 976, 209-216.

Harro, J., Tõnissaar, M., Eller, M., Kask, A., Oreland, L. 2001a. Chronic variable stress and partial 5-HT denervation by parachloroamphetamine treatment in the rat: effects on behavior and monoamine neurochemistry. *Brain Research*, 899, 227-239.

Harro, J., Tõnissaar, M., Eller, M. 2001b. The effects of CRA 1000, a non-peptide antagonist of corticotropin-releasing factor receptor type 1, on adaptive behaviour in the rat. *Neuropeptides*, 35, 100-109.

Harro, J., Viru, A.-M. 2001. Endurance training by forced swimming reduces emotionality in rats. *Biology of Sport*, 18, 119-125.

Häidkind, R., Eller, M., Harro, M., Kask, A., Rincken, A., Oreland, L., Harro, J. 2003. Effects of partial locus coeruleus denervation and chronic mild stress on behaviour and monoamine neurochemistry in the rat. *European Neuropsychopharmacology*, 13, 19-28.

Häidkind, R., Eller, M., Kask, A., Harro, M., Rincken, A., Oreland, L., Harro, J. 2004. Increased behavioural activity of rats in forced swimming test after partial denervation of serotonergic system by parachloroamphetamine treatment. *Neurochemistry International*, 45, 721-732.

Häidkind, R., Kivastik, T., Eller, M., Kolts, I., Oreland, L., Harro, J. 2002. Denervation of the locus coeruleus projections by treatment with the selective neurotoxin DSP-4 reduces dopamine release potential in the nucleus accumbens shell in conscious rats. *Neuroscience Letters*, 332, 79-82.

Mällo, T., Berggård, C., Eller, M., Damberg, M., Oreland, L., Harro, J. 2004. Effect of long-term blockade of CRF₁ receptors on exploratory behavior, monoamines and transcription factor AP-2. *Pharmacology Biochemistry & Behavior*, 77, 855-865.

Tõnissaar, M., Philips, M.-A., Eller, M., Harro, J. 2004. Sociability trait and serotonin metabolism in the rat social interaction test. *Neuroscience Letters*, 367, 309-312.

AFEKTIIVSE KÄITUMISE BIOLOOGILISED MARKERID JA PATOGENEES

Eensoo, D., Paaver, M., Harro, M., Harro, J. 2005. Predicting drunk driving: contribution of alcohol use and related problems, traffic behaviour, personality and platelet monoamine oxidase (MAO) activity. *Alcohol & Alcoholism*, 40, 140-146.

Eensoo, D., Paaver, M., Pulver, A., Harro, M., Harro, J. 2004. Low platelet MAO activity associated with high dysfunctional impulsivity and antisocial behaviour: evidence from drunk drivers. *Psychopharmacology*, 172, 356-358.

Harro, M., Eensoo, D., Kiive, E., Merenäkk, L., Alep, J., Oreland, L., Harro, J. 2001c. Platelet monoamine oxidase in healthy 9- and 15-years old children:

the effect of gender, smoking and puberty. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 25, 1497-1511.

Harro, J., Fischer, K., Vansteelandt, S., Harro, M. 2004. Both low and high activity of platelet monoamine oxidase increase the probability of becoming a smoker. *European Neuropsychopharmacology*, 14, 65-69.

Kiive, E., Eensoo, D., Harro, M., Harro, J. 2002. Platelet monoamine oxidase activity in association with childhood aggressive and hyperactive behaviour: the effect of smoking? *Personality & Individual Differences*, 33, 355-363.

Kiive, E., Maaros, J., Shlik, J., Tõru, I., Harro, J. 2004. Growth hormone, cortisol and prolactin responses to physical exercise: higher prolactin response in depressed patients. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 28, 1007-1013.

Merenäkk, L., Harro, M., Kiive, E., Laidra, K., Eensoo, D., Allik, J., Orelund, L., Harro, J. 2003. Association between substance use, personality traits and platelet MAO activity in preadolescents and adolescents. *Addictive Behaviors*, 28, 1507-1514.

ESTICA

Harro, J. 2002. Depressiooni psühhofüsioloogia: kurbuse normaalsuse piirid. *Neurobioloogia: teadmised ja rakendused*. Eesti Teaduste Akadeemia seminari materjalid. Tallinn, 5-11.

Harro, J. 2002. Hirmust/On Fear. Eesti Kunstiakadeemia konverentsi "Nocturnus" materjalid. Tallinn, 96-101.

Harro, J. 2002. Inimvaim ja aju. Allik, J., Rauk, M. (toim). *Psühholoogia gümnaasiumile Tartu* : Tartu Ülikooli Kirjastus.

Harro, J. 2001. Moodsa ravimitööstuse arengusuunad. *Moodne Meditsiin*, märts, 5-7.

Harro, J. 2004. Opiadisõltuvust tekitavad mehhanismid, neid võimendavad ja vähendavad tegurid. *Lege Artis*, lisaväljaanne, 8-10

Harro, J., Merenäkk, L., Eensoo, D., Kiive, E., Laidra, K., Harro, M., Allik, J. 2002. Ebatervislik eluviis ja ülemääraselt riskiv käitumine: psühholoogilised ja psühhobioloogilised determinandid. *Eesti Arst*, 4, 211-215.

Kiivet, R.-A., Harro, J. (toim). 2002. *Eesti rahva tervis/Health in Estonia 1991-2000*. Tartu.

*Teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal tööde tsükli
“Keskpaleosoiliste selgroogsete evolutsioon ja levik põhjapoolkera
meredes ning nende praktiline väärtus geoloogias” eest*



Tiiu Märss

Sündinud 5. 10. 1943 Elvas

1963 Tallinna 16. Keskkool

1970 Tartu Ülikool, geoloogiainsener

1984 geoloogia-mineraloogiakandidaat, Eesti Teaduste Akadeemia

Alates 1970 Eesti Teaduste Akadeemia (praegu Tallinna Tehnikaülikooli) Geoloogia Instituut: insener, aspirant, nooremteadur, alates 1985 vanemteadur

Rahvusvahelise Geoloogialiidu Siluri stratigraafia alamkomisjoni kirjavahe-tajaliige; Balti Stratigraafia Assotsiatsiooni liige; Rahvusvahelise Paleonto- loogia Ühingu liige; Rahvusvahelise Selgroogsete Morfoloogide Ühingu liige.

Töötanud geoloogiliste ekspeditsioonide liikmena Siluri ja Devoni kivimite avamustel Timaanis, Lähis-Polaar- ja Kesk-Uuralites, Podoolias, Püharisti- mägedes Poolas, Böömimaal, Austria Alpides, Hispaanias, Briti saartel, Skandinaavias (Skåne, Ringerike), Kanadas (arktilised saared, Mac-kenzie mäestik, Põhja Apalatsid), mitmes USA osariigis ning Austraalias.

Alates 1970. avaldanud üle 80 teaduspublikatsiooni.

SISSEJUHATUSEKS

“Mida teie siit leida tahate? Kulda või?” oli meile sageli esitatud küsimus, kui aastaid tagasi töötasime Saaremaal Himmiste-Kuigu paemurrus. Kui püüdsime selgitada, et ei, hoopis kalu, oli küsija muigele läinud nägu tunnistajaks, et seda nüüd küll uskuda ei saa. Paarile eakamale inimesele siiski meenus üks ameeriklane, kes eelmise sajandi algupoolel kohapealt värvatud 27 töömehega ka mingeid kalu otsis ja need siis kõik üle ookeani viis. Ju nad siis ikka huvipakkuvad olid, kui neid nii kaugelt kaevandama tuldi. Kas on ikka võimalik kividest kalu “püüda”? Millal nad ilmusid, kus elasid ja kuidas arenesid? Milleks üldse uurida väljasurnud loomi, antud juhul varajasi selgroogseid, lõuatuid ja kalu?

Esimesed lõuatud e agnaadid ilmusid Ordoviitsiumi ajastul (u 500 miljonit aastat tagasi), kalad umbes samal ajal. Nende õitseng oli Siluris ja Devonis, kuid Devoni lõpuks (u 360 miljonit aastat tagasi) suri enamik agnaate välja, kuid kalade areng jätkub tänapäevalgi. Uurin Siluri- ja Vara-Devoni troopiliste merede selgroogseid, kes elasid u 400–435 miljonit aastat tagasi. Nende mere- de setendid, mis tänaseks on muutunud kõvastunud kivimiteks, sisaldavad tol ajal elanud organismide jäänuseid, selgrootute mitmesuguseid toeseid, karpe ja kodasid, aga ka varajaste selgroogsete terveid välisskelette ja väiksemaid osi- seid, soomuseid, uimi toetanud ogasid, hambaid, jne. Terveid välisskelette saa- dakse paekivi murdmisel, kuid nad on siiski üliharuldased, sest nende säilimi- seks olid vajalikud teatud kindlad tingimused – kiire settimine ja mattumine

vaikseveelistes tingimustes ning hilisem setendite ühtlane kõvastumine. Väiksemaid agnaatide ja kalade osi saadakse kivimite töötlemisel nõrga äädikhappes, mis lahustab küll karbonaatse kivimi, kuid jätab terveks fosfaatses koostisega skeletielemendid, mida saamegi lahustusjääkidest kokku korjata ja siis uurida. Üks proov võib sisaldada nii erinevate organismide ja liikide, kui ka erinevate isendite skeletielemente nende erinevatelt kehaosadelt.

Üle pooleteise sajandi tagasi kirjeldati Inglismaal esimene Siluriaegne lõuatu [Agassiz, 1838], Eestimaal veidi hiljem [Eichwald, 1854]. Sellest ajast alates on nende loomade uurimised laienenud ka Euroopa teistele maadele ja teistele kontinentidele. Varajaste selgroogsete uurimise tähtsus seisneb selles, et kuna nad olid üheks komponendiks kunagisest merd asustanud loomadest, siis saame nende uurimisel täiuslikuma pildi toleaegsest mereelustikust; nende põhjal selgitatakse kogu selgroogsete hõimkonna arenemist ajas ja ruumis; nad aitavad määrata neid sisaldavate kihtide suhtelist vanust, nende levikuandmeid kasutatakse praktilistes töodes maakera erinevate regioonide (näiteks Baltikum, Briti saared, Timaani-Petšoori alad, Severnaja Zemlja, Uuralid, Kanada põhjalad) kivimkihtide rööbistamisel, mida vajatakse nii antud regioonide kui ka mandrite ja Maa geoloogilise arenguloo selgitamiseks ning maavarade leiukohtade prognoosimiseks.

Minu viimaste aastate tööd Siluri ja Vara-Devoni selgroogsete paleontoloogia, biostratigraafia ja fülogeneesi alal on viinud artiklite seeriani, milles olen käsitlenud agnaatide ja kalade koosseisu, arenemist ja levikut Siluri- ja Devoniaegsetes meredes, aladel, mis tänapäeval asuvad põhjapoolkeral. Ekspeditsioonid kaugel põhjas asuvatesse leiukohtadesse olid väga kallid ja neid rahastasid paljud asutused ja organisatsioonid. Koos kolleegidega kogutud kivististe uurimistulemused on põhiliselt avaldatud kaasautorluses.

AUTASUSTATUD TÖÖDE TSÜKLIST LÄHEMALT

Teaduspreemiales esitatud artiklite seerias on 19 olulisemat publikatsiooni järgmiste uurimistulemustega.

AGNAATIDE JA KALADE MORFOLOOGILIS-TAKSONOOMILISED UURINGUD

[Blom jt, 2002, 2003; Karatajütë-Talimaa, Märss, 2002, 2004; Miller jt, 2004; Märss, 2001, 2002ac, 2003; Märss, Gagnier, 2001; Märss, Karatajütë-Talimaa, 2004; Märss, Miller, 2004; Märss jt, 2002; Schultze, Märss, 2004; Soehn jt, 2001]

Põhilise uurimismaterjali moodustasid sette kivimeist välja lahustatud selgroogsete välisskelettide mikroosakesed (soomused, hambad, uimi toetanud ogad, jne). Nende identifitseerimisel on oluline teada tervete soomuskatete kõikide soomuste morfoloogiat, skulptuuri ning nende muutlikkust ühe indiviidi kehal. Eesti ja Šotimaa telodontide soomuskatete kaardistamise meetodikal [Märss, 1986ab; Märss, Ritchie, 1998] on otsene praktiline väljund

mikroosakeste leidude määramisel. Seda kasutati ka Kanada Arktika tervelt säilinud telodontide ja mitmelt poolt põhjapoolkeralt kogutud anaspiidide puhul.

Nii mikro- kui makromaterjali morfoloogia-alaste uuringute tulemusena täienes oluliselt Keskpaleosoiliste mereliste selgroogsete fauna koosseis ja näidati nende tunduvalt suuremat taksonoomilist mitmekesisust kui oli teada varem. Selle ilmekaks näiteks on 116 uue taksoni püstitamine, kusjuures Kanada põhjaosa (Selwyni ja Franklini basseinid) ja Venemaa arktiliste saarte (Severnaja Zemlja bassein) Silurist ja Alam-Devonist kirjeldati kaks täiesti uut telodondifaunat. Nende tööde põhjal teatakse palju paremini nende varajaste selgroogsete kehakuju, silmade ja suu asendit ning uimede arvu. Tõestati teise paari ventraalsete uimede olemasolu telodontidel, mis oli eeltingimuseks neljajalgsete tekkele.

Monograafiliselt kirjeldati põhjapoolkera birkeniidsed anaspiidid, mis samuti kuuluvad agnaatide rühma, nende mitmekesisus, levik ja evolutsioonilised suundumused uue taksonoomia kontekstis. See töö põhines peamiselt minu 30 aasta jooksul kogutud materjalil.

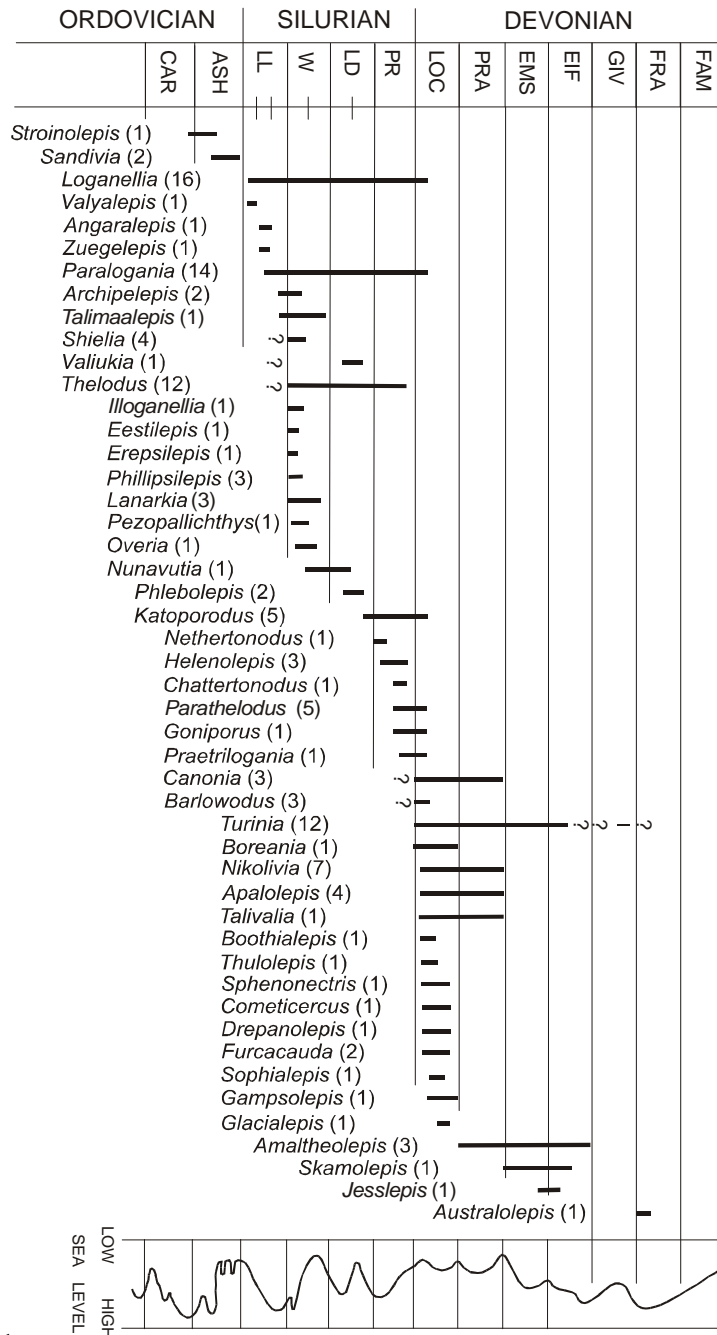
Oluliselt täienes varajaste kõhr- ja luukalade taksonoomiline koosseis ja näidati nende laiemat geograafilist levikuareali.

Alustati agnaatide ja kalade soomuste ultraskulptuuri süstemaatiliste uuringutega. Selle tulemusel eristati ultraskulptuuri erimid, grupeeriti need ning leiti, et teatud tüübid iseloomustavad soomuste pinnakihi teatud kindlaid kudesid, seega ka teatud kõrgemaid taksoneid. Need uuringud tõestasid ultraskulptuuri kasutatavuse olulise mikrotunnusena agnaatide ja kalade taksonoomias.

FÜLOGENEESI- JA EVOLUTSIOONIALASED UURINGUD JA NENDE TÄHTSUS

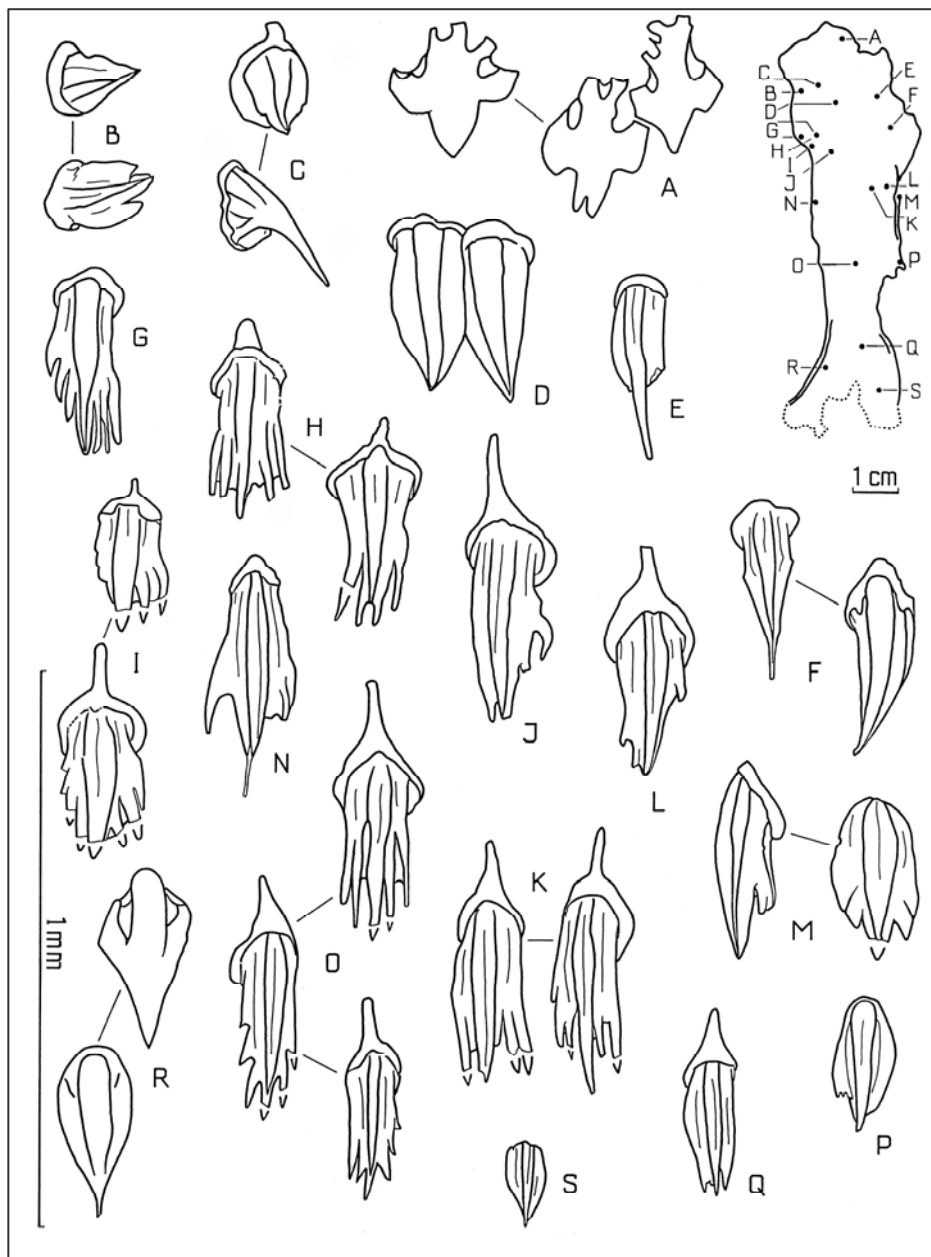
[Blom jt, 2002, 2003; Karatajūtë-Talimaa, Märss, 2002, 2004; Märss, Gagnier, 2001; Märss, 2002b; Märss, Karatajūtë-Talimaa, 2002; Märss, Miller, 2004; Märss jt, 2002; Schultze, Märss, 2004; Wilson, Märss, 2004]

Siluri ja Devoni selgroogsed on oluliseks lüliks kogu selgroogsete hõimkonna evolutsioonis. Tuginedes morfoloogilis-taksonoomilistele uurimistele, rekonstrueeriti ülalnimetatud töödes telodontide, anaspiidide, luukalade ja kiirumsete rühmade arengulugusid, mis oluliselt täiendasid varajaste selgroogsete fülogeneesi tundmist, kusjuures telodontide puhul kasutati esmakordselt kladistilist analüüsi, mis viidi läbi 53 tunnuse alusel tervelt säilinud soomuskatet omava 25 liigi kohta. Analüüsil leiti, et alamklassi Thelodonti peaks käsitlema monofüleetilise rühmana. Siiski tuleb lugeda analüüsi tulemusi esialgseteks, sest selles ei arvestatud soomuste põhjal kirjeldatud liikidega. Kladistilist analüüsi kasutati ka varajaste kalade mõnede rühmade omavaheliste sugulussuhete väljaselgitamisel.



Joonis 1.

Lōuatute kalalaadsete, telodontide vertikaalne levik rühma eksisteerimise vältel. Lühendid tähistavad Ordoviitsiumi, Siluri ja Devoni ajastute alajaotusi. Sulgudes on antud liikide arv vastavas perekonnas. Mereveetaseme kõikumised Barnes jt, 1996, Einasto (Märss, 1986b artiklis) ja Walliser, 1996 järgi.



Joonis 2.
 Soomuste variatsioonid telodondi *Shielia parca* Märss et al. soomuskattes.
 Eksemplar pärineb Kanada Arktikast Cornwallise saare Alam-Silurist.

Paleosoiliste kalade mitmekesisuse ja leviku uurimisel tuvastati, et uute taksonite tekkimine on kõige intensiivsem merede transgressiivsete arengufaaside maksimumide ajal. Endeemiliste vormide teke ja väljasuremise sündmused leidsid aga vastupidi aset merevee globaalsete madalseisude ajal. Telodontifauna täielik uuenemine leidis aset Devoni ajastu alguses, ning nende väljasuremine – varajases Hilis-Devonis. Niisugused seosed viitavad ilmselt ökoloogilise konteksti olulisusele uuritud selgroogsete arenguloos.

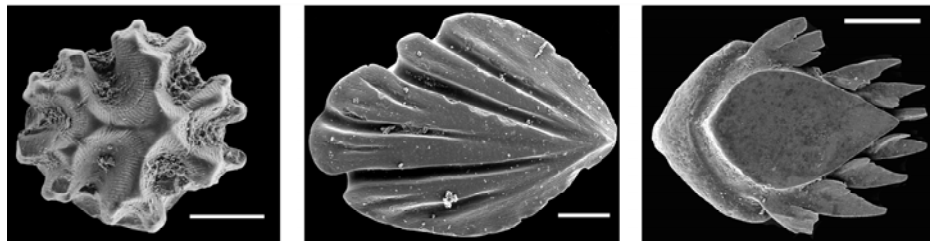


Foto 1.

Telodontide soomuste väliskuju ja skulptuur on olulised liikide määramisel. Näitena on toodud (vasakult paremale): *Barlowodus floralis* Märss et al. peasoimus ja *Thelodus laevis* (Pander) ning *Paralogania martinssoni* (Gross) keresoomused. Esimene soomus on välja lahustatud Cornwallise saare ja kaks järgnevat – Saaremaa Siluri kivimitest. Mõõtjoon 100 µm.

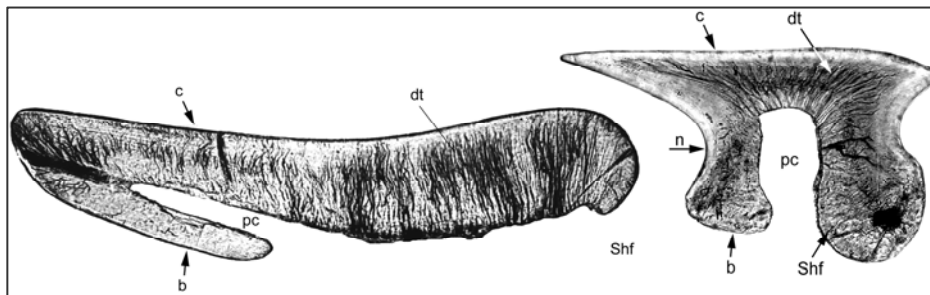


Foto 2.

Soomuste mikrostruktuur on tähtis tunnus perekondade määramisel; vasakul *Glacialepis corpulenta* Märss et al. ja paremal *Oeselia mosaica* Märss. Esimene soomus pärineb Cornwallise saare, teine – Saaremaa Alam-Silurist. *G. corpulenta* soomuse pikkus on 1.0 mm ja *O. mosaica* soomuse oma - 0.25 mm.



Foto 3.

Phlebolepis elegans Pander 'parv' Saaremaalt Himmiste paemurrust. Telodondi pikkus on 7 cm. Kivimplaat on Tartu Ülikooli geoloogiamuuseumi kogudest.

SÜSTEMAATIKAALASED UURINGUD

[Märss, 2001, 2003; Märss, Gagnier, 2001; Märss, Karatajütë-Talimaa, 2002; Märss, Miller, 2004; Märss jt, 2002; Blom jt, 2002; Karatajütë-Talimaa, Märss, 2002, 2004; Schultze, Märss, 2004]

Taksonoomia ja fülogeneesialaste uuringute tulemusel korrastati nii agnaatide kui kalade süstemaatikat ja leiti koht mõnele küsitava positsiooniga taksonitele selgroogsete süsteemis; põhjalikult töötati ümber telodontide süstemaatika. Ka birkeniidsete anaspiidide soomuste mitmekesisuse uuringud leidsid väljundi uues süstemaatikas, mis sisaldab kaht uut sugukonda, 10 uut perekonda 15 uut liiki; kogu anaspiidide rühma teati varem vaid väheste tervete leidude põhjal Šotimaalt, Norrast ja Eestist.

Varajaste selgroogsete alases käsiraamatus võeti kokku Venemaa ja seda ümbritsevate maade Siluri ja Devoni merede telodontide lühiandmed: loomade keha ja soomuste kuju, nende ajaline ja ruumiline levik, elukeskkond ja eluviis, ning anti võrdlus ja võimalikud seosed teiste agnaatide ja mõnede lõugsuus-

tega. Täiendatud süstemaatika tõttu on see 40 aastat tagasi ilmunud samalaadse töö [Obruchev, 1964] tunduv edasiarendus.

Varajaste kiirumsete soomuste morfoloogilistele iseärasustele toetudes, sh suletud küljejoonekanalitega soomuste vastandamisel avatud kanaleid omavatele soomustele ning viimaste erineva morfoloogia, skulptuuri ja mikrostruktuuri alusel korrastati perekondade *Andreolepis* ja *Lophosteus* süstemaatilist asendit, eraldades esimese omaette sugukonnas ja tuues viimase kiirumsete alt luukalade klassi basaalseks rühmaks.

TAFONOOMIAALASED UURINGUD

[Märss jt, 2003]

Tervete Keskpaleosoiliste selgroogsete välisskelettide leiud on äärmiselt harvad ja neid sisaldavate kihtide tekketingimuste selgitamine on oluline uute kalaleiukohtade avastamiseks. Üks selline haruldane paemurd asub Eestis Saaremaal, Himmiste külas. Telodondi *Phlebolepis elegans* Pander parve mattumistingimuste analüüsil järeldati, et tervelt säilinud soomuskatetega setted moodustusid Hilis-Siluri Paadla eal troopilises vööndis Paleobalti meres rivi-vööndi taga eksisteerinud laguunis. Põhinedes nii makro- kui ka mikrolitoloogilistel kivimi tunnustel, leiti, et telodondiparv jäi mõõna tõttu madalasse lohku laguuni põhjal, mis toimus lõksuna. Ebasobivad tingimused, põhiliselt hapniku vähesus soojas ja väga madalas vees ning toidu puudus, põhjustasid kala-parve hukkumise; õrn vee liikuvus ei hajutanud soomuseid. Soomuskatete kiire konserveerumine mudas vältis nende edasise lagunemise.

PALEONTOLOOGILISTE JA BIOSTRATIGRAAFILISTE UURINGUTE PRAKTILINE VÄÄRTUS GEOLOOGIAS

[Karatajütë-Talimaa, Märss, 2002; Märss, 2003; Märss, Karatajütë-Talimaa, 2002; Märss, Miller, 2004; Märss jt, 2002; Schultze, Märss, 2004; Nestor jt, 2001]

Agnaatide ja kalade uued levikuandmed näitavad nende selgroogsete tunduvalt laiemat levikut kui oli teada varem. Läbiviidud biostratigraafilistel uuringutel on väljund praktilistes geoloogilistes töodes läbilõigete liigestamisel ja nii regionaalsetel kui ka regionidevahelistel korrelatsioonidel, aga ka biogeograafilistel rekonstruktsioonidel. Need tööd täiendasid Siluri globaalset selgroogsete biotsonaalset skeemi, mis koostati aastatel 1993–1995 [Märss jt, 1995, 1996]. Levikuandmed annavad ka tagasisideme selgroogsete fülogeneesi interpreteerimisel.

Esmakordselt saadi ülevaade telodontide koosseisust ja jaotumusest Franklini, Selwyni ja Severnaja Zemlja merelistes basseinides Siluri ja Vara-Devoni jooksul, ning tulemusi kasutati kihtide liigestamisel, vastandamisel tüüpläbilõigetega ja basseinide arengulugude selgitamisel.

Siluri ja Alam-Devoni telodontide ja konodontide koosinemise alusel Siluri stratotüüpse Walesi Ääreala läbilõigetes anti nende geograafiline ja ajaline levik ning Briti saarte selle ala ja Baltikumi Siluri kihtide korrelatsioon. Riikliku kihistu tüüpläbilõike liigendamist ja kirjeldust täiendasid varajaste selgroogsete levikuandmed ning korrelatsioonid lateraalsete ekvivalentidega Eestis ja Gotlandi saarel.

KIRJANDUS

(premeeritud tööde tsükkel 2001–2004)

Blom, H., Märss, T., Miller, G. C. 2002. Silurian and earliest Devonian birkeniid anaspids from the Northern Hemisphere. Transactions of the Royal Society of Edinburgh : Earth Science, 92, 3-4, 263-323.

Blom, H., Märss, T., Miller, C. G. 2003. A new birkeniid anaspid from the Upper Silurian of Skåne, south Sweden. Geologiska Föreningen i Stockholms Förhandlingar, 125, 57-61.

Karatajütè-Talimaa, V., Märss, T. 2002. Upper Silurian thelodonts from Severnaya Zemlya Archipelago (Russia). Geodiversitas, 24, 2, 405-443.

Karatajütè-Talimaa, V., Märss, T. 2004. Novitskaya, L. I., Afanassieva, O. B. (eds). Fossil vertebrates of Russia and adjacent countries : Agnathans and early fishes : Handbook. GEOS, Moscow, 6-62. (In Russian).

Miller, C. G., Märss, T., Blom, H. 2004. New anaspid material from the late Silurian of Britain and Estonia. Luksevics, E. (ed). The Gross Symposium. 2, Advances in Palaeoichthyology. Riga, 46-56. (Acta Universitatis Latviensis. Earth and Environment Sciences; 679).

Märss, T. 2001. *Andreolepis* (Actinopterygii) in the Upper Silurian of northern Eurasia. Proc. Eston. Acad. Sci. Geol., 50, 3, 190-206.

Märss, T. 2002a. Silurian and Lower Devonian anaspids (Agnatha) from Severnaya Zemlya (Russia). Geodiversitas, 24, 1, 123-137.

Märss, T. 2002b. Thelodonts and eustatic sea-level changes. Yushkin, N. P., Tsyganko, V. S., Männik, P. (eds). Geology of the Devonian System : Proc. Intern. Symp., Syktyvkar, Komi Republic, July 9-12, 2002. Geoprint, Syktyvkar, 100-102.

Märss, T. 2002c. Ultrasculpture on the exoskeleton of early agnathans and fishes. Satkūnas, J., Lazauskiene, J. (eds). The Fifth Baltic Stratigraphical Conference "Basin stratigraphy – modern methods and problems". September 22-27, 2002, Vilnius, Lithuania : Extended abstr., 119-120.

Märss, T. 2003. *Paralogania* from the Rootsikūla, Wenlock, and Paadla, Ludlow, stages of Estonia. Proc. Eston. Acad. Sci. Geol., 52, 2, 98-112.

Märss, T., Gagnier, P.-Y. 2001. A new chondrichthyan from the Wenlock, Lower Silurian, of Baillie-Hamilton Island, the Canadian Arctic. *J. Vertebr. Paleontol.*, 21, 4, 693-701.

Märss, T., Karatajūtė-Talimaa, V. 2002. Ordovician and Lower Silurian thelodonts from Severnaya Zemlya Archipelago (Russia). *Geodiversitas*, 24, 2, 381-404.

Märss, T., Miller, C. G. 2004. Thelodonts and distribution of associated conodonts from the Llandovery-lowermost Lochkovian of the Welsh Borderland. *Palaeontology*, 47, 5, 1211-1266.

Märss, T., Perens, H., Klaos, T. 2003. Sedimentation of the Himmiste-Kuigu fish bed (Ludlow of Estonia), and taphonomy of the *Phlebolepis elegans* Pander (Thelodonti) shoal. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, 52, 4, 239-264.

Märss, T., Wilson, M. V. H., Thorsteinsson, R. 2002. New thelodont (Agnatha) and possible chondrichthyan (Gnathostomata) taxa established in the Silurian and Lower Devonian of the Canadian Arctic Archipelago. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, 51, 2, 88-120.

Nestor, H., Einasto, R., Nestor, V., Märss, T., Viira, V. 2001. Description of the type section, cyclicity, and correlation of the of the Riksu Formation (Wenlock, Estonia). *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, 50, 3, 149-173.

Schultze, H.-P., Märss, T. 2004. Revisiting *Lophosteus* Pander 1856, a primitive osteichthyan. Luksevics, E. (ed). *The Gross Symposium. 2, Advances in Palaeoichthyology*. Riga, 57-78. (Acta Universitatis Latviensis. Earth and Environment Sciences; 679).

Soehn, K. L., Märss, T., Caldwell, M. W., Wilson, M. V. H. 2001. New and biostratigraphically useful thelodonts from the Silurian of the Mackenzie Mountains, Northwest Territories, Canada. *J. Vertebr. Paleontol.*, 21, 4, 651-659.

Wilson, M. V. H., Märss, T. 2004. Toward a phylogeny of the thelodonts. Arratia, G., Wilson, M. V. H., Cloutier R. (eds). *Recent Advances in the Origin and Early Radiation of the Vertebrates* [Honoring Hans-Peter Schultze]. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 95-108.

MUU VIIDATUD KIRJANDUS

Agassiz, L. 1838. Murchison, R. J. On the Fishes of the Ludlow Rocks, or Upper Beds of the Silurian System. Report of the British Association for the Advancement of Science. Liverpool, 91.

Barnes, C. R., Fortey, R. A., Williams, S. H. 1996. The pattern of global bio-events during the Ordovician period. Walliser, O. H. (ed). *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer, Berlin-Heidelberg, 139-172.

Eichwald, E. 1854. Die Grauwackenschichten von Liv- und Esthland. Bulletin de la Société Imperiale des Natural. de Moscou, 27, 1-111.

Märss, T. 1986a. Squamation of the thelodont agnathan *Phlebolepis*. J. Vertebr. Paleontol., 6, 1-11.

Märss, T. 1986b. Silurian vertebrates of Estonia and West Latvia. Tallinn : Valgus, 104 p. (Fossilia Baltica; 1). (In Russian).

Märss, T., Fredholm, D., Talimaa, V., Turner, S., Jeppsson, L., Nowlan, G. 1995. Silurian vertebrate biozonal scéheme. Lelièvre, H., Wenz, S., Blicck, A., Cloutier, R. (eds). Premiers Vertébrés et Vertébrés Inferieurs. Geobios, M.S.,19, 369-372.

Märss, T., Fredholm, D., Talimaa, V., Turner, S., Jeppsson, L., Nowlan, G. 1996. Towards the Silurian vertebrate biozonal standard. The James Hall Symposium : Second International Symposium on the Silurian System : Progr. and Abstr., University of Rochester, N.Y., August 4-9, 1996, 73-74.

Märss, T., Ritchie, A. 1998. Articulated thelodonts (Agnatha) of Scotland. Transactions of the Royal Society of Edinburgh : Earth Sciences, 88, 3, 143-195.

Obruchev, D. V. (ed). 1964. Fundamentals of Palaeontology. 11, Agnathans and fishes. Moskow : Nauka, 522 p. (In Russian).

Walliser, O. H. 1996. Global events in the Devonian and Carboniferous. Walliser, O. H. (ed). Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic. Springer, Berlin-Heidelberg, 225-250.

*Teaduspreemia sotsiaalteaduste alal
eksperimentaal-, sotsiaal- ja isiksusepsühholoogiliste uurimistööde eest*



Jüri Allik

Sündinud 3. märtsil 1949 Tallinnas

1968 Tallinna 7. Keskkool
1973 Tartu Ülikool, psühholoogia
1976 psühholoogiakandidaat, Moskva Ülikool
1991 PhD (psühholoogia), Tampere Ülikool
1997 Soome Teaduste Akadeemia välisliige
1998 Eesti Vabariigi teaduspreemia sotsiaalteaduste alal

Alates 1973 Tartu Ülikool: teadur, vanemteadur, juhtivateadur, dotsent, professor, osakonnajuhataja, dekaan.

Aastatel 1988–1994 Eesti Psühholoogide Liidu esimene president. Alates 2003 Eesti Teadusfondi nõukogu esimees. Ajakirjade *European Journal of Personality* ja *Trames* toimetaja.

Avaldanud üle 80 olulisema teaduspublikatsiooni.

LIIGUTUSE PROGRAMMEERIMINE

Tihti võib mingi konkreetse mõistatuse lahendamine nõuda rohkem taibukust, tööd ja mõistust kui mingi väga elulise probleemi lahendamine, mille keerukus osutub arvatust palju lihtsamaks. Selles mõttes on heaks näiteks töö, millega õnnestus lahendada küsimus, kuidas arvutatakse välja kavandatava silmaliigutuse suund ja pikkus [Allik jt, 2003].

Inimene teeb päevas silmadega ligikaudu 50 000 suure kiiruse ja täpsusega hüpet, millega vahetatakse üks peatuspunkt teise vastu. Kuna iga üksik liigutus ei kesta kauem kui 50 ms, siis hüppe käigus pole liigutuse trajektoori enam võimalik muuta, mis tähendab, et kogu ballistilise iseloomuga liigutuse programm tuleb ette valmistada juba enne liigutuse algust. Üks seni lahendamata probleem oli selles, kas liigutuse programmi osa, mis ütleb millises suunas silmamuna pöörata ja osa, mis ütleb kui palju silmamuna pöörata, on võimalik valmis kirjutada teineteisest sõltumata. Enamus uurijaid on tänapäeval arvamusel, et kusagil ajus on liigutuste kaart, kus on valmis kujul kõik võimalikud silmamuna liigutuste vektorid, milles on kõik mõeldavad suuna ja amplituudi kombinatsioonid. Kuigi see lahendus oleks pillav, on see siiski veel teostatav, kuna silmamuna liikumisel on vaid kaks vabadusastet. Sellise lahenduse poolt kõneleb ka see, et ajus on leitud omadusi, mis väga meenutavad tervikliigutuste kaarte. Lisaks on veel järjestikulise programmeerimise võimalus, et näiteks amplituudi ei saa arvutama hakata enne kui pole täpselt teada, millises suunas tuleb silmamuna pöörata. Mõeldes selle küsimuse lahendusele, tulin ma juba 1976. aastal lihtsale mõttele esitada informatsioon nõutava liigutuse parameetrite (suund ja amplituud) kohta erineval ajal, mis lubaks varem esitatud

parameetrit hakata juba programmeerima ilma, et teine oleks teada. Juhul kui liigutuste programm tehakse valmis “ühes tükis” või kindlas järjekorras, siis ei tohiks ühe liigutuse parameetri (suuna või amplituudi) varasem teadasaamine liigutuse ettevalmistuseks kuluvat aega mõjutada. Katsed, mida me tegime koos Mai Toome ja Aavo Luugiga (mitmel põhjusel alles 25 aastat pärast idee tekkimisest) näitasid, et kummagi parameetri eelnev teadasaamine lühendab märkimisväärselt liigutuse ettevalmistamiseks kuluvat aega. Tulemuste ilupool oli aga selles, et ettevalmistusperioodi lühenemise sõltuvus suuna ja amplituudi etteteatamise ajast võimaldas suure usutavusega identifitseerida nii suuna kui ka amplituudi programmeerimise iseloomu ja ka selle ajalist kulgu. Ülimalt lihtne kasvuprotsessi mudel ennustas katsetulemusi peaaegu ideaalse arvulise täpsusega. Selle töö tulemusel teame me üsna suure kindlusega, et liigutuse planeerija võib juba ette valmis kirjutada tulevase liigutuse suuna ja amplituudi programmi isegi juhul, kui pole teada vastavalt kui kaugele ja millises suunas on kavas silma liigutada. Veelgi enam, primitiivsuse lihtne mudel võimaldas kindlaks teha aja, mis kulub ühe silmahüppe suuna ja pikkuse välja-arvutamiseks. Selle probleemi uurijad ei osanud isegi aimata, et ühest vastust sellele küsimusele ei ole: amplituudi kavandamine osutus kiiremaks juhul, kui samal ajal ei tule kirjutada suuna programmi, ning aeglasemaks juhul, kui ühe-aegselt tuleb planeerida nii tulevase hüppe pikkust kui ka suunda.

See töö on tähelepanuväärne mitte üksnes pika haudeperioodi ja, nagu mulle tundub, oma teostuse rafineerituse poolest. Märkimisväärne on ka see, et enne ilmumist ajakirjas *Psychological Research* lükati see artikkel tagasi 4 (!) muust ajakirjast, kusjuures tagasilükkamise viis ja vorm kõneleb rohkem anonüümse retsenseerimise süsteemi pahedest kui töö puudustest. Retsensentideks sattusid need, kes ei saanud aru töö lihtsast matemaatikast või olid veendunud “ühes tükis” programmeerimise pooldajad, kes keeldusid muid võimalusi isegi arutamast. Kui selle artikli ilmumise vaevarikast ilmumisloost muud kasu ei ole, siis olgu see õppetunniks noortele uurijatele – kui te olete veendunud oma ideede õigsuses ja oma töö väärtuses, siis ei tohi heita meelt ka pärast töö mitmekordset tagasilükkamist.

ISIKSUSE GEOGRAAFIA

Natuke rohkem kui kümme aastat tagasi otsustasin sukelduda täiesti uude valdkonda – isiksusepsühholoogiasse. Isiksuse all mõeldakse inimese (või ka looma) püsivat kalduvust teatud kindlal viisil mõelda, tunda või käituda. Näiteks mõni inimene on enamuse ajast rõõmsameelne, samal ajal kui teisel on pidev kalduvus kurvameelsusele. Mõni inimene on kõigis seltskondades jutukas, samal ajal kui teine teeb harva suu lahti. Leidub neid, kes on alati valmis järele proovima midagi uut vastandina neile, kes eelistavad seda, millega nad on harjunud ja tunnevad hästi. Ühesõnaga, inimesed erinevad üksteisest selle

iseloomuliku viisi poolest, kuidas nad asjadesse suhtuvad ja kuidas nad lahendavad olukordi, mis nende ette kerkib.

Eksperimentalistile oli uus valdkond, mis ilmselt viibis ikka veel eelteoreetilises seisundis, tulvil üllatusi. Raske oli kohaneda kümnete konkureerivate, kuid omavahel vähe erinevate küsimustike ja nende põhjal tehtud uuringutega, mille mõte jäi tihti selgusetuks. Kogu valdkond oli jagatud väikesteks sektiideks, mis suhtlesid oma salakeeles, millest teised ei püüdnudki aru saada. Õnneks oli selles kaootilises maailmas tekkimas üks esimesi pidepunkte, millele võiks hakata rajama tõsikäändamat teadmist. Selleks pidepunktiks oli uurijate seas üha kasvav üksmeel, et kõige põhilisemate isiksuse seadumuste kirjeldamiseks piisab vaid viiest sõltumatust faktorist, mida võib nimetada neurootilisuseks, ekstraveritsuseks, avatuseks, sotsiaalsuseks ja meelekindluseks. Segaduse vähenemisele aitas kaasa ka NEO isiksuse küsimustiku edu, mis kiiresti tõlgiti peamistesse Euroopa keeltesse, teiste kõrval ka eesti keelde [Kallasmaa jt, 2000]. Selle loojad Paul Costa ja Robert McCrae USA Rahvuslikust Tervishoiu Instituudist hoolitsesid ise ka teist laadi tõlke eest: hoolsa tööga näitasid nad, kuidas nende loodud isiksuse mõõdik seostub praktiliselt kõigi teiste olulisemate isiksuse uurimise instrumentidega [McCrae, Costa, 1987].

Kui oli tekkinud üksmeel, millised on peamised isiksuse omadused ja kuidas neid saab mõõta, võis hakata lahendama huvitavamaid küsimusi. Näiteks, kas tüüpilise eestlase isiksus erineb sakslase ja korealase omast? 1997. aastal võrdlesid McCrae ja Costa NEO küsimustiku 30 alaskaala omavahelist seoste mustrit saksa-, portugali-, heebrea-, hiina-, korea- ja jaapanikeelses versioonis ingliskeelse originaaliga [McCrae, Costa, 1997]. Need mustrid osutusid kõigis kuues keeles märkimisväärselt sarnaseks originaalile, mis lubas teha julge oletuse, et isiksuse struktuur on kõikjal ühesugune ning ei sõltu vastaja keelest ega kultuurist. Mingil põhjusel on see nii, et kui inimene kaldub enda ja teiste antud hinnangute põhjal jutukusele, siis on üsna suur tõenäosus, et ta on loomult pigem rõõmsa- kui kurvameelne. Samuti on reeglilik näiteks see, et kes sageli vihastab, kaldub ka teistest enam kurvameelsusele.

Kui kaheksa aastat tagasi oli isiksuse struktuuri universaalsus julge oletus, siis nüüd võib seda juba palju suurema kindlusega väita, kuna NEO küsimustikku on kasutatud rohkem kui poolesajal eri maal ja kultuuris [McCrae, 2002; McCrae jt, 2005]. Testi tõlkimine ühest keelest ja kultuurist teise on trikiga ülesanne, kuna on kümneid põhjusi, miks tõlge võib originaalist erineda. Tõlke keeleline täpsus on seejuures üks lihtsamaid ja kergemini kõrvaldatavaid vea põhjusi. Vaatamata moonutuste ja vigade suurele tõenäosusele on eri keeltes ja maades kogutud andmed märkimisväärselt sarnased [Allik, McCrae, 2002]. Isiksuse omaduste universaalsus, suur ajaline püsivus ja vähemalt 50-protsendiline päritavus annavad tuge teooriale, mille kohaselt on isiksuse seadumused bioloogilised omadused, mida kultuur ja keskkond (näiteks kasvatus) ei ole võimelised muutma [Allik, McCrae, 2002]. Selle tavaarusaamadele vas-

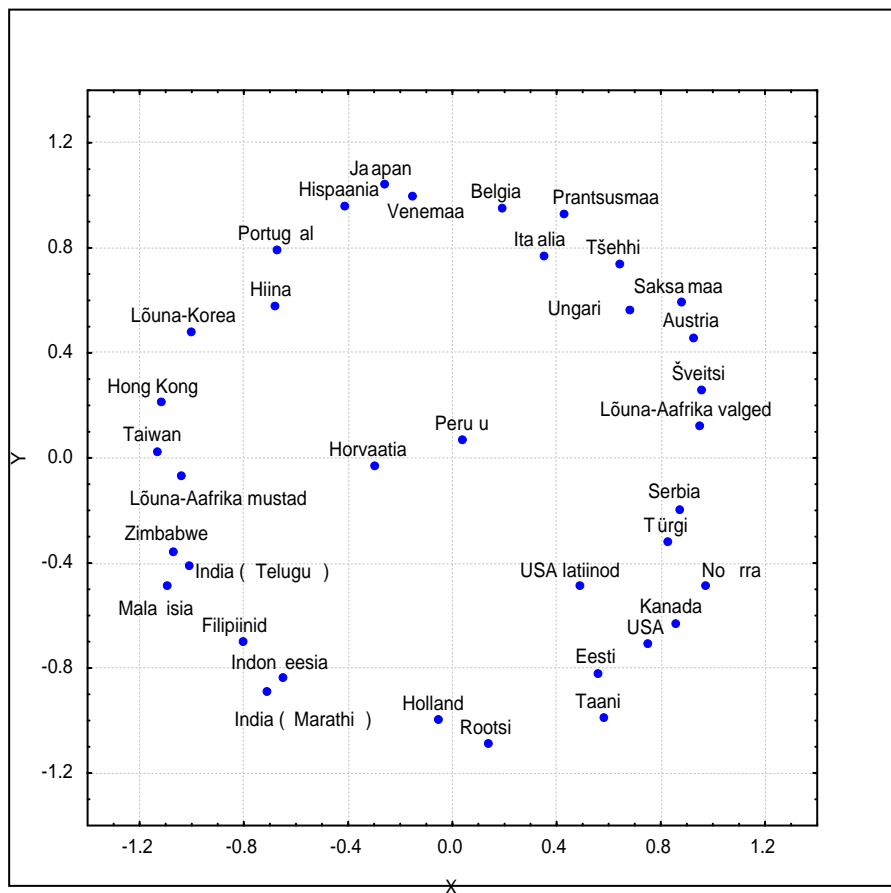
tukäiva seletuse kohaselt saavad kaks inimeste rühma omavahel erineda isiksuse omaduste poolest eelkõige siis, kui nad erinevad bioloogiliselt, näiteks geenide poolest.

Kuidas jaotuvad isiksuse omadused geograafiliselt? Kindlasti on kõik imetlenud kaarte, mis näitavad näiteks sademete või aasta keskmiste temperatuuride geograafilist jaotust. Oleks ju väga tore kui samal viisil saaks kujutada isiksuse omaduste geograafilist jaotust. Paraku tervet isiksuse omaduste kaarti või isegi piisavalt suurt tükki sellest pole lihtne kokku panna, kuna andmed isiksuse omaduste kohta on väga lünklikud. Alles viimastel aastatel on suure rahvusvahelise koostöö tulemusel õnnestunud koguda andmeid piisavalt suurelt arvult maadest [vt näiteks Schmitt jt, 2003]. Kolm aastat tagasi muutsid kättesaadavaks NEO küsimustiku andmed 36 riigi kohta [McCrae, 2002]. Nende andmete põhjal püüdsime välja selgitada, kas isiksuse omaduste geograafilises jaotuses on olemas mingi seaduspära või mitte [Allik, McCrae, 2004].¹ Esimene asi, mis silma torkas, on see, et ruumiliste ja ajalooliste naabrite (näiteks austerlased ja sakslased) keskmised isiksuse profiilid on omavahel kõige sarnasemad. Kui me üritasime kujutada isiksuse profiilide omavahelist sarnasust-erinevust tasapinnal, siis tekkis järgmine pilt (joonis 1). Kuna telgede asend on kokkuleppeline, siis kogu pilti sai pööratud selliselt, et põhi (N) langeks kokku neurotismiga ja ida (E) ekstravertsusega.

Jälgides tähelepanelikult maade/kultuuride jaotusmustrit võib märgata, et Euroopa ja Põhja-Ameerika riigid on koondunud pildi paremasse poolde, samal ajal kui Aafrika ja Aasia maad jäävad vasakusse poolde. Seejuures ei ole rühmituse aluseks mitte niivõrd geograafiline kuiivõrd etniline või kultuuriline taust. Näiteks Lõuna-Aafrika valged paiknevad oma isiksuse omaduste poolest mitte Aafrika põliselanike seas, vaid Euroopa rahvaste hulgas, kust nad algselt pärit on.

See on esimene kindlam tõend selle kohta, et populatsioonid erinevad isiksuse omaduste poolest. Üks põhjus, miks isiksuse omaduste geograafilise jaotuse seaduspära varem ei märgatud, on erinevuste väiksus. Maksimaalne populatsioonide vaheline erinevus isiksuse omadustes on väga väike võrreldes erinevustega populatsiooni sees. Kaks ühest rahvusest, sarnase kultuurilise tausta ja ühte keelt kõnelevat inimest on vaid tühisel määral rohkem sarnased kui inimeste paar kahest huupi valitud maailma paigast. Parimal juhul küünib kahe maa vaheline keskmine erinevus 1/3 standardhälbeni sellest, mis iseloomustab

¹ Sarnaselt kirjutise alguses mainitud tööle on ka sellel artiklil üsna vaevaline ilmumislugu. Enne kui see töö lõpuks ajakirjas *Journal of Cross-Cultural Psychology* ära trükiti, lükati ta kahe ajakirja poolt tagasi. Tagasilükkamist ei hoidnud ära ka see, et üks autoritest – Robert McCrae – kuulub juba kümmekond aastat maailma enim tsiteeritud psühholoogide esikümnesse [Garfield, 1992]. Vähemalt selles osas on ajakirjade eelretsenseerimissüsteem demokraatlik, kuigi mitte tingimata kõige arukam.



Joonis 1.

Mitmemõõtmelise skaleerimisega saadud parim tasapinnaline lahend isiksuse omaduste sarnasusele. Joonis on mugandatud artiklist: Allik, J., McCrae, R. R. 2004. Towards a geography of personality traits: patterns of profiles across 36 cultures. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 35, 13-28.

inimeste mitmekesisust ühe maa sees [Allik, 2005]. Selline tulemus on üsna ootuspärane, kuna suurte inimpopulatsioonide geneetiline erinevus moodustab vaid 3–5% kogu geneetilisest hajuvusest [Rosenberg jt, 2002]. Kuigi hetkel pole teada, mis põhjustab populatsioonide vahelisi isiksuslikke erinevusi, on kõige tõenäosem, et just need suhteliselt väikesed geneetilised erinevused ongi põhjuseks, miks näiteks eurooplased on veidi ekstravertsemad kui Aafrikat ja Aasiat asustavad rahvad [Allik, McCrae, 2004].

MÕNED TEISED UURIMUSED

Kaasaegsed ja majanduslikult arenenud riigid tekkisid suure kultuurirevolutsiooni käigus, mis seadis esikohale üksiku inimese vabaduse ja tema võõrandamatud õigused. Kultuuri uurijad on näidanud, et individualismi aste on kõige tõhusam mõõde, mis eristab ühte ühiskonda ja kultuuri teisest [Hofstede, 2001]. Selles põhiliselt lääneliku individualismi kasvus on aga paljud mõtlejad ja kriitikud näinud ohtu ühiskonna orgaanilisele solidaarsusele ja terviklikkusele. On arvatud, et tõkestamatu individualismi areng viib sotsiaalse kapitali kadumisele, mida peetakse selleks määrdeks, mis väldib sotsiaalset hõõrdumist, hoiab koos ühiskonda ning hoiab kõrgel inimeste omavahelist usaldust [Putnam, 2000]. Ometi on selline käsitlus pinnapealne, kuna sõltumatu ja vaba tahte alusel ühiskondlikesse lepingutesse astuv inimene on arenenud ja demokraatliku ühiskonna eeltingimuseks. Analüüsidest olemasolevaid andmeid õnnestus näidata, et nendes riikides või riigi osades, kus inimesed meelsamini loovad vabatahtlikke organisatsioone, kus nad on poliitiliselt aktiivsemad, veedavad rohkem aega sõpradega ja usaldavad teisi inimesi, on individualismi aste mitte madalam, vaid hoopis kõrgem [Allik, Realo, 2004]. See tulemus kummutab laialt levinud eksiarvamuse, et individualism ohustab sotsiaalset kapitali. Pigem kinnitab see Emile Durkheimi märgatud paradoksi, et sel ajal, kui kasvab inimese näilik sõltumatus ja rippumatus ühiskondlikest sidemetest, suureneb tegelikult hoopis tema lõimumine ühiskonda ja sotsiaalsesse võrgustikesse.

Viimase aja üheks menuteemaks, millega populaarne psühholoogia meediat toidab, on jutud emotsionaalsest intelligentsusest. Publik on valmis ahnelt uskuma seda, et edukuseks ei piisa ainult raamatutarkusest, vaid selleks on vaja ka empaatiat, oskust aru saada, mida teised inimesed tunnevad ja mõtlevad. Koos kolleegidega uurisime seda, kuidas on seotud inimese arvamused enda inimesetundmise võimekusest tema tegeliku edukusega mõista seda, mis toimub teise inimese peas ja hinges [Realo jt, 2003]. Kõik instrumendid, mis lubavad kindlaks teha inimese emotsionaalse intelligentsuse, põhinevad inimese enda antud raportitel, kuid nagu karta oligi, selgus meie tööst, et inimese arvamused enda emotsionaalsest intelligentsusest ei lange kokku tema tegelike võimetega. Selgus, et need, kes on keskmisest edukamad keeruliste mõtlemisülesannete lahendamisel, on samuti edukamad väliste märkide tõlgendamisel ja nende põhjal hinges toimuva üle otsustamisel. Meie uurimus koos mõnede teiste töödega ei jäta küll väga palju lootust, et inimesel võiks olla mingi eriline inimese tundmise vaist, mis erineks üldisest võimest märgata enda ümber toimuvaid asju ja arukusest, mis on vajalik nende tõlgendamiseks.

Viimase paari aasta jooksul oleme eelkõige Helle Pullmanni eestvedamisel ja koostöös Richard Lynn'iga mõõtnud rohkem kui 5000 eesti koolilapse vaimseid võimeid ja isiksust. Nendest tulemustest on praeguseks trükki jõudnud vaid väike murdosa [Lynn jt, 2002; 2003, 2004ab; Pullmann jt, 2004; Allik jt,

2004]. Kõnelemata praktilisest vajadusest luua koolilaste hindamiseks usaldusväärsed psühholoogilised mõõdikud, võimaldab kogutud andmestik lahendada ka põhimõttelisi küsimusi, millele seni vastus puudub. Näiteks polnud sugugi kindel, mis on juhtunud eesti laste vaimse võimekusega pärast pool sajandit kestnud poliitilisi torme, mis oluliselt muutsid rahvastiku kooslust. Õnneks näitavad meie uurimuste tulemused, et ajaloolised eksperimendid ei ole võimetele väga laastavalt mõjunud, kuna eesti koolilaste keskmine võimekus ei erine näiteks inglise ja islandi eakaaslaste omast [Lynn jt, 2003]. Kuid erinev näib olevat kiirus ja trajektoor, millega kasvab eesti laste vaimne võimekus [Pullmann jt, 2004]. Millest see tuleb, et 10. eluaastaks jäävad eesti lapsed oma vaimses arengus inglise ja islandi eakaaslastest maha, kuid siis jõuavad paari aastaga taas järele. See on järjekordne mõistatus, mis otsib endale vastust. Loodetavasti on vastus huvitav ja ütleb midagi ka selle kohta, mis asi on mõistus ja kuidas see areneb.

KIRJANDUS

Allik, J. 2005. Personality dimensions across cultures. *Journal of Personality Disorders*, 19, 212-232.

Allik, J., Laidra, K., Realo, A., Pullmann, H. 2004. Personality development from 12 to 18 years of age: Changes in mean levels and structure of traits. *European Journal of Personality*, 18, 445-462.

Allik, J., McCrae, R. R. 2002. A Five-Factor Theory perspective. McCrae, R. R., Allik, J. (eds). *The Five-Factor Model personality across cultures*. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers, 303-322.

Allik, J., McCrae, R. R. 2004. Towards a geography of personality traits: Patterns of profiles across 36 cultures. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 35, 13-28.

Allik, J., Realo, A. 2004. Individualism-collectivism and social capital. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 35, 1, 29-49.

Allik, J., Toom, M., Luuk, A. 2003. Planning of saccadic eye movements. *Psychological Research*, 67, 10-21.

Garfield, E. 1992. Psychology research, 1986-1990: A citationist perspective on the highest impact papers, institutions, and authors. *Current Contents*, 41, 5-15.

Hofstede, G. 2001. *Culture consequences. Comparing values, behaviors, institutions, and organizations across nations*. 2nd ed. Thousand Oaks : Sage Publications.

Kallasmaa, T., Allik, J., Realo, A., McCrae, R. R. 2000. The Estonian version of the NEO-PI-R: An examination of universal and culture-specific aspects of

the five-factor model. *European Journal of Personality*, 14, 265-278.

Lynn, R., Allik, J., Irwing, P. 2004a. Sex differences on three factors identified in Raven's standard progressive matrices. *Intelligence*, 32, 4, 411-424.

Lynn, R., Allik, J., Pullmann, H., Laidra, K. 2002. A study of intelligence in Estonia. *Psychological Reports*, 91, 1022-1026.

Lynn, R., Allik, J., Pullmann, H., Laidra, K. 2004b. Sex differences on the progressive matrices among adolescents: Some data from Estonia. *Personality and Individual Differences*, 36, 1249-1255.

Lynn, R., Pullmann, H., Allik, J. 2003. A new estimate of the IQ in Estonia. *Perceptual and Motor Skills*, 97, 662-664.

McCrae, R. R. 2002. NEO-PI-R data from 36 cultures. McCrae, R. R., Allik, J. (eds). *The Five-Factor Model personality across cultures*. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers, 105-125.

McCrae, R. R., Costa, P. T. Jr. 1997. Personality trait structure as a human universal. *American Psychologist*, 52, 509-516.

McCrae, R. R., Costa, P. T. 1987. Validation of the five-factor model of personality across instruments and observers. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52, 81-90.

McCrae, R. R., Terracciano, A., Khoury, B., Nansubuga, F., Knežević, G. D. J. D., Ahn, H., Ahn, C., De Fruyt, F., Gülgöz, S., Ruch, W., Arif Ghayur, M., Avia, M. D., Sánchez-Bernardos, M. L., Rossier, J., Dahourou, D., Fischer, R., Shakespeare-Finch, J., Yik, M. S. M., Smith, P. B., Angleitner, A., Ostendorf, F., Halim, M. S., Hřebíčková, M., Martin, T. A., Sineshaw, T., Sekowski, A., Klinkosz, W., Prentice, G., McRorie, M., Flores-Mendoza, C., Shimonaka, Y., Nakazato, K., Mastor, K. A., Barbaranelli, C., Alcalay, L., Simonetti, F., Pramila, V. S., Falzon, R., Lauri, M. A., Borg Cunen, M. A., Calleja, S. S., Pedroso de Lima, M., Bratko, D., Marušić, I., Allik, J., Realo, A., Abdel Khalek, A. M., Alansari, B. M., del Pilar, G. E. H., Ojedokun, A. O., Munyae, M., Budzinski, L., Oishi, S., Diener, E., Chittcharat, N., Wang, L., Beer, A., Humrichouse, J., Mortensen, E. L., Jensen, H. H., Jónsson, F. H., Ficková, E., Adamovová, L., Rus, V. S., Podobnik, N., Diaz-Loving, R., Leibovich, N. B., Schmidt, V., Reátegui, N., Brunner-Sciarrá, M., Ayearst, L. E., Trobst, K. K., Matsumoto, D., Neubauer, A., Porrata, J., Rolland, J.-P., Petot, J.-M., Camart, N. 2005. Universal features of personality traits from the observer's perspective: Data from 50 cultures. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88, 547-561.

Pullmann, H., Allik, J., Lynn, R. 2004. The growth of IQ among Estonian schoolchildren from ages 7 to 19. *Journal of Biosocial Science*, 36, 735-470.

Putnam, R. D. 2000. Bowling alone the collapse and revival of American community. New York : Simon & Schuster.

Realo, A., Allik, J., Nõlvak, A., Valk, R., Ruus, T., Schmidt, M., Eilola, T. 2003. Mind-reading ability: Beliefs and performance. *Journal of Research in Personality*, 37, 420-445.

Rosenberg, N. A., Pritchard, J. K., Weber, J. L., Cann, H. M., Kidd, K. K., Zhivotovsky, L. A., Feldman, M. W. 2002. Genetic structure of human populations. *Science*, 298, 2381-2385.

Schmitt, D. P., Alcalay, L., Allik, J., Ault, L., Austers, I., Bennett, K. L., Bianchi, G., Boholst, F., Borg Cunen, M. A., Braeckman, J., Brainerd Jr., E. G., Caral, L. G. A., Caron, G., Casullo, M. M., Cunningham, M., Daibo, I., De Backer, C., De Souza, E., Diaz-Loving, R., Diniz, G., Durkin, K., Echegaray, M., Eremsoy, E., Euler, H. A., Falzon, R., Fisher, M. L., Foley, D., Fry, D. P., Fry, S., Ghayur, M. A., Golden, D. L., Grammer, K., Grimaldi, L., Halberstadt, J., Herrera, D., Hertel, J., Hoffman, H., Hradilekova, Z., Hudek-Kenevi, J., Jaafar, J., Jankauskaite, M., Kabangu-Stahel, H., Kardum, I., Khoury, B., Kwon, H., Laidra, K., Laireiter, A., Lakerveld, D., Lampart, A., Lauri, M., Lavallée, M., Lee, S., Leung, L. C., Locke, K. D., Locke, V., Luksik, I., Magaisa, I., Marcinkeviciene, J., Mata, A., Mata, R., McCarthy, B., Mills, M. E., Moreira, J., Moreira, S., Moya, M., Munyea, M., Noller, P., Opre, A., Panayiotou, A., Petrovic, N., Poels, K., Popper, M., Poulimenou, M., P'yatokha, V., Raymond, M., Reips, U., Reneau, S. E., Rivera-Aragon, S., Rowatt, W. C., Ruch, W., Rus, V. S., Safir, M. P., Salas, S., Sambataro, F., Sandnabba, K. N., Schulmeyer, M. K., Schütz, A., Scrimali, T., Shackelford, T. K., Shaver, P. R., Sichona, F., Simonetti, F., Sineshaw, T., Sookdew, R., Spielman, T., Spyrou, S., Sümer, H. C., Sümer, N., Supekova, M., Szlendak, T., Taylor, R., Timmermans, B., Tooke, W., Tsaousis, I., Tungaraza, F. S. K., Vandermassen, G., Vanhooissen, T., Van Overwalle, F., Vanwesenbeek, I., Vasey, P. L., Verissimo, J., Voracek, M., Wan, W. W. N., Wang, T., Weiss, P., Wijaya, A., Wotertment, L., Youn, G., Zupanèie, A. 2003. Universal sex differences in the desire for sexual variety: Tests from 52 nations, 6 continents, and 13 islands. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85, 85-104.

*Teaduspreemia humanitaarteaduste alal
Eesti ja teiste Balti riikide välispoliitika alaste uurimuste:
monograafia "Hääletu alistumine" ja teiste publikatsioonide eest*



Magnus Ilmjärv

Sündinud 31.08.1961 Viljandis

1979 Viljandi 4. Keskkool
1988 Tartu Ülikool, ajalugu
1997 magister, Tallinna Pedagoogikaülikool
2004 poliitikateaduste doktor, Helsingi Ülikool

Alates 1990. aastast Ajaloo Instituut: nooremteadur, teadur, vanemteadur (alates 2004).

Avaldanud umbes 20 teadusartiklit, ühe dokumentide kogumiku ja kolm monograafiat.

Kahe maailmasõja vahelise perioodi ajalugu on Lääne-Euroopas ja ka Soomes üldjoontes piisavalt uuritud. Selle perioodi uurimise tippaeg oli 1960. ja 1970. aastatel. Ida-Euroopas, sealhulgas Balti riikides on olukord teistsugune. Rohkem kui pool sajandit nõukogude võimu löi olukorra, kus Balti riikide sõdadevahelist välis- ja sisepoliitikat käsitlevad uurimused, milles oleks leidnud kasutamist nii lääne kui ka ida arhiivide dokumente, jäid kirjutamata. Taasiseseisvunud Balti riikide geograafiline asend pole muutunud. Suurriikide huvi Balti riikide vastu ei ole kadunud. Seepärast ei ole minevik ka täna oma aktuaalsust kaotanud. See mõjutab sageli tänaseid otsuseid, suhteid Venemaa ja teiste Euroopa suurriikidega.

Ajaloo eripäraks on see, et ta on lahutamatult seotud tänapäevaga. Ühiskond vajab uute otsustuste tegemisel võimalikult palju usaldusväärset teavet arengust, mis viis tänapäeva. Vajadus sellise teabe järgi on viimase 50 aasta jooksul pidevalt kasvanud.

Iga riigi välispoliitika peamine ülesanne on kaitsta riigi iseseisvust. Tõsi, ajastu, maailmasõdadevaheline periood, mil kolm Balti riiki olid iseseisvad, ei olnud väikeriikide vastu heatahtlik. See oli komplitseeritud aeg, mil süvenesid vastuolud Euroopa demokraatlike ja totalitaarsete riikide vahel. Just totalitaarsed riigid astusid 1939. aastal saatuslikud sammud, mis lükkasid Euroopa uude sõtta.

Sõdade vahel eksisteerinud Balti riikide välispoliitika analüüsimisel on võimalikud kaks lähenemisviisi. Esimene võimalus: Balti riigid olid etturid, kes sattusid suurriikide välispoliitilistesse kombinatsioonidesse ja kes ohverdati julmas mängus suurriikide poliitiliste eesmärkide nimel. Iseseisvuse kadumise põhjust võib siis näha ainult selles. Ühtlasi võib Balti riikide sise- ja majanduspoliitikat pidada sündmuste käigus tähtsusetuks. Sellise lähenemise järgi võib pidada Balti riikide iseseisvuse sündi imeks ja nende riikide kadumist

loomulikuks. Teine võimalus on vaadelda Balti riike kui ajaloo subjekte, kes oma huvimid silmas pidades püüdsid kohaneda Euroopa suurpoliitika muutustega. Sellise lähenemise järgi on otsustav riigijuhtide ja poliitikute tahe, tegevus ja vead, sise- ja majanduspoliitika.

Välispoliitika mõistmise aluseks on ka tingimus, et uurija tunneks välispoliitika tegijate tausta ja riigi institutsioonide ehitust. See eeldab, et rahvusvahelistest suhetest kirjutamisel arvestatakse ka sisepoliitilisi, kaitsepoliitilisi, sotsiaalseid, majanduslikke, kultuurilisi ja psühholoogilisi tegureid. Riigi välispoliitika on seotud sisepoliitikaga. Sise- ja välispoliitika mõjutavad sageli teineteist ja seda eriti väikeriikide puhul. Sisepoliitika loob sageli eelduse riigi välispoliitika õnnestumiseks või ebaõnnestumiseks.

Lääne ajalooteadus on tunginud üha enam ühiskonna äärealadele ja hakanud tegelema perifeersete uurimisteedadega. See on rikaste maade luksus, kes on olulisema oma ajaloost juba läbi uurinud. Uute uurimissuundade või meetodite mitterakendamine ei anna aga mingil moel tunnistust ajaloo uurimise nõrgast tasemest. Uute uurimissuundade, teooriate ja meetodite rakendamine maailmasõdadevahelise Eesti, Läti ja Leedu poliitilise ajaloo uurimises võiks tulla kõne alla alles pärast põhjalike uuringute teostamist. Kuni puudub kirjeldus, ei pruugi õige olla ka seletus. See tähendab, et enne uute uurimissuundade rakendamist peaksime omama piisavat hulka esmaallikatele tuginevaid uurimusi. XX sajandi Eesti ajaloo pöördpunktide uurimisel vajame eeskätt Rankelikku poliitilist sündmusajalugu. Mõned uurijad peavad historismi rõhutamist ajaloo uurimise meetodina ülearuseks. Siinkirjutaja määratleks historismi kui kriitilist uurimissuunda, mis rõhutab ajaloolise konteksti tähtsust ja seda mis tahes teksti tõlgendamisel.

Kui uurime kaotajate või kodusõdade ajalugu, märkame kohe, et teema on teatud moel delikaatne. Võidetute, alistujate ja kodusõdade ajaloo kirjutamine kutsub alati esile ühiskonna ühe osa pahameele ja tekitab kohe teatud eelarvamusi. Nn "raskete" teemade vältimine on aga ajalooteaduse seisukohalt lubamatu. Just "raskeid" teemasid tuleb uurida eriti intensiivselt, et ühiskonnale saaksid selgeks kollektiivse trauma põhjused. Kinnitust leiab ka prantslasest teoreetiku Ernest Renani tõdemus, et rahvuslikus identiteedimüüris sisaldub muu hulgas tubli annus eksitust ja unustust.

Kaotajate ajaloo käsitlemisel põrkume sageli mõistele tagantjäreletarkus. See on oma olemuselt halvim tarkuse liik. Tõsi, ajaloos eksisteerivad alati teatud alternatiivid, ehkki ajalugu on teostunud üheselt. See tähendab, et teostunud on ainult üks mitmest võimalusest. Kuid see ei muuda valikusituatsiooni olematuks. On väidetud et valiku alternatiivitus saab eksisteerida ainult väljaspool inimühiskonda. Ainult selle fikseerimine, mis tegelikult aset leidis, välistaks võimalused hinnanguteks ja võrdlusteks ning annaks heakskiidu või hukkamõistu toimunule. Kuid alternatiivide konstrueerimiseks vajalikud faktid ja empiiriline materjal peab olema sündmuste arengu seisukohast piisavalt rea-

listlik ja usutav. See tähendab, et kontrafaktuaalne analüüs peab põhinema faktidel.

Läänes ilmunud teaduslikud tööd võib jagada kahte rühma. Enamikus lääne-riikides ilmunud töödes käsitletakse Balti riike geopoliitilist aspekti aluseks võttes suurpoliitika objektidena. Seda tehakse tahtmatult. Balti riike vaadeldakse kui suuriikide ettureid, kelle suurriigid neile sobival hetkel ohverdasid. Iseseisvuse kadumist nähakse ainult selles. Balti riikide enda sise- ja majanduspoliitikat peetakse väheoluliseks. Samas korratakse mitmeid legende ja mälestusteraamatutes esinevaid valesid.

Endise Nõukogude Liidu arhiivid olid lääne uurijatele suletud, mistõttu läänes ilmunud töödel on olulisi puudusi. Seepärast on täiesti hüpoteetilised järeldused ja memuaartekstides esinevate valede kordamine ka mõistetavad. Alles viimastel aastatel on Soomes ilmunud mitmeid uurimusi, kus on kasutatud ka endise Nõukogude Liidu arhiivide materjale. Märkimist väärivad Osmo Hyytiä uurimus Eesti välispoliitikast, Jari Leskineni mahukas uurimus Soome ja Eesti salajasest sõjalisest koostööst ning Martti Turtola sulest ilmunud Konstantin Pätsi elulugu. Välispoliitilisi küsimusi on valgustanud ka André Sahlström Eesti sisepoliitilist kriisi, vabadussõjalaste ja Soome paremäärmuslaste suhteid kajastavas uurimuses.

Ajal, mil Balti riigid kuulusid Nõukogude Liidu koosseisu, ei olnud nõukogude ajaloolastel võimalik maailmasõdade vahel eksisteerinud Balti riikide ajalugu objektiivselt uurida. Nõukogude propaganda teenistuses olev ajaloo-teadus tegeles peamiselt töölis- ja revolutsioonilise liikumise küsimustega, mis seoti ka välispoliitikaga. Ehkki nõukogude ajaloo-teadus kuulutas geopoliitika reaktsiooniliseks pseudoteaduslikuks teooriaks, lähtusid sellest ka nõukogude autorid. Nõukogude autorid kuulutasid, et Baltikumi minevik ja olevik oli ja on lahutamatult seotud Venemaa ja Nõukogude Liiduga, ja et ka tulevik jääb lahutamatult seotuks Nõukogude Liiduga. Nõukogude välispoliitikat näidati äärmiselt positiivses valguses, Balti riikide välispoliitikat reaktsioonilisena. Teise maailmasõja puhkemise põhjusi nähti peamiselt Versailles' lepingus, 1935. aastal sõlmitud Inglise-Saksa laevastikulepingus ja Müncheneri sobingus. Olulistest sündmustest, näiteks Molotovi-Ribbentropi lepingu lisaprotokollist, mille valgustamine võinuks kahjustada Nõukogude Liidu mainet, püüti vaikida. Nõukogude Liidu ja Saksamaa mittekallaletungilepingu sõlmimist käsitleti rahvusvahelise olukorra pealesunnituna käiguna. Allikad, mis näitasid lepinguga kaasaskäiva lisaprotokolli olemasolu, kuulutati võltsinguks. Balti riikidega rahulepingu sõlmimine 1920. aastal, mittekallaletungilepingu sõlmimine 1932. aastal ja vastastikuse abistamise lepingu sõlmimine 1939. aastal kuulutati Nõukogude rahupoliitika eredateks näideteks. Kõigi kolme Balti riigi välispoliitika eesmärgiks peeti Nõukogudevastaste intriigide või koguni agressiooni ettevalmistamist. Balti riikides kehtinud autoritaarregiime nimetati fašistlikeks. Balti riikide juhte süüdistati selles, et nad ei tuginenud Nõukogude

Liidu rahuarmastavale välispoliitikale, keeldusid vastastikuse abistamise lepingu sõlmimisest juba 1930. aastate keskel ja et nad rikkusid 1939. aastal sõlmitud vastastikuse abistamise lepingut.

Kõigis nõukogude autorite töödes tsiteeriti nn marksismi-leninismi klassikuid ja Nõukogude riigijuhte, kelle töödel ja seisukohavõttudel ei olnud Balti riikide välis- ja sisepoliitikaga midagi tegemist. Metodoloogiline alus leiti just siit. Eesmärk oli tõestada, et Balti riigid annekteeriti rahvusvaheliste kokkulepete alusel ja sisemisest arengust tulenevalt, töötava rahva tahtel ja et toimunu oli ajaloo seaduspärasus.

Tõsi, ajastu olemust ja iseloomu silmas pidades oleks asjatu tagantjärele soovida, et toona oleks kirjutaud avalikult Molotovi-Ribbentropi lepingu salajasest lisaprotokollist. Samuti seda, et 1940. aasta sündmuste puhul oleks räägitud Punaarmee ja Nõukogude Liidu emissaride – Andrei Ždanovi, Andrei Võšinski ja Vladimir Dekanozovi erilisest rollist. Teame, et Nõukogude Liidus valitses totaalne tsensuur. Muidugi võib väita, et olnuks parem, kui kogu nõukogude perioodi vältel ei oleks ilmunud ühtki kirjutist Balti riikide välispoliitikast. Võib siiski arvata, et toona ilmunud kirjandus tekitas sageli soovitud hoopis vastupidise reaktsiooni ja süvendas enamiku lugejate eitavat suhtumist Nõukogude režiimi, kutsus mõtlema ja hoidis ülal huvi kaotatud iseseisvuse vastu. Kuid kõik, mis väideti, ei olnud päris vale. Saksa orientatsioon Eesti välispoliitikas ja pärast Müncheneri lepingu sõlmimist ka Läti ja Leedu välispoliitikas oli olemas. Lõhe sisepoliitikas, autoritaarrežiimi ja rahva vahel oli samuti olemas. Sellele juhtisid tähelepanu ka mitmed läänes ilmunud uurimuste autorid.

Lähiminevikust huvitatud avalikkusel on olnud kättesaadav ka suur hulk Balti pagulaste memuaare ja artikleid. Paguluses ilmus ka teaduslikul tasemel artikleid ja uurimusi. Lätlastest ja leedulastest pagulusajaloolased olid selles osas eestlastest hoopis edukamad. Eesti autoritest, kes lähenesid küsimusele teaduslikult ja ka kriitiliselt, võiks nimetada vaid Evald Uustalu, Esmo Ridala ja Tõnu Parmingu üksikuid artikleid.

Pagulaste enamusele olid Balti riigid ajaloo objektid. Eksisteeris nn poliitilise korrektsuse doktriin. Paguluses leidis palju neid, kes arvasid, et kuna autoritaarrežiimi vigade ja pahede kritiseerimine langeb kokku Nõukogude propagandaga, siis tähendaks sellega nõustumine riikliku kontinuiteedi põhimõttest lahtiütlemist ja Balti riikide Nõukogude Liitu inkorporeerimise heakskiitmist. Oma osa pagulaste ajaloopildis oli nostalgial. Nad olid kaotanud kodumaa ja kogenud võõrsil arvukaid kannatusi. Kõik see tingis emotsionaalse lähenemise ja ideoloogilise lubatavuse tõstatamise. Viimane jätkub sageli tänapäevalgi.

Presidendid Päts, Ulmanis ja Smetona kuulutati pagulaskonna enamuse poolt kolme riigi iseseisvuse sümboliteks. Nende tegevuse kritiseerimist pidas enamik pagulasi lubamatuks. Kõiges, mis juhtus, olid süüdi Nõukogude Liit ja

Saksamaa. Vaieldi vastu Nõukogude autorite väidetele, et Balti riigid olid liitunud või taasühinenud lepingute alusel ja sisemisest arengust tulenevalt. Samas süüdistati Nõukogude Liidu ja Saksamaa kõrval ka naabreid, kes olevat keeldunud otsustaval hetkel poliitilisest ja sõjalisest koostööst. Olulisel kohal oli tagantjärele tarkus – arutlemine selle üle, et kui oleks tehtud nii või naa, siis missugune olnuks saatus. Nii arutlejad loetlesid Nõukogude Liidu kuritegusid ja järeldasid, et suurriigi kõigi nõudmiste hääletu vastuvõtmine oli optimaalne ja et kui olekski toimitud teisiti, olnuksid tagajärjed veelgi hullemad. Nii loodi müüt, milles kahtlejad kuulutas enamik pagulasi ketseriteks, Nõukogude Liidu käsilasteks ja Balti riikide iseseisvuse mõtte vaenlasteks. Vastuseks teisitimõtlejatele väideti, et ei ole põhjust rebida lahti vanu haavu ja uurida ajaloo dramaatilisi sündmusi. Pagulaskonna enamus unustas üllatavalt ruttu autoritaarajastu tegelikkuse. Kuid see oli isegi mõistetav, sest kõik, mis tuli iseseisvuse kaotamise järel – küüditamised, sõda, Hitleri ja Stalini vangilaagrid –, oli midagi kohutavat. Püüti luua “rahvuslikku” ajalookäsitlust. Seepärast sai minevikust ideaal, mis aitas pagulastel raskeid aegu üle elada. Ühiskond võtab ju ikka kergemini omaks müüdid kui tunnistab karmi tegelikkust.

Esimesteks autoritaarrežiimide ja 1939.–1940. aastal vastu võetud otsuste kritiseerijateks said need pagulased, keda autoritaarrežiim oli represseerinud. 1960. aastal ilmus New Yorgis Eesti vabadussõjalastega seotud William Tomingase “Vaikiv ajastu Eestis”. Juba enne seda, 1950. aastal, oli Läti sotsiaaldemokraatide liider Bruno Kalniņš avaldanud Stockholmis raamatu “De Baltiska staternas frihetskamp”. 1956. aastal aga ilmus Kalniņši sulest raamat Läti sotsiaaldemokraatiast. Neis kritiseeris Kalniņš teravalt Ulmanise režiimi. Tõsi, nii Tomingas kui ka Kalniņš pöörasid peatahelepanu sisepoliitikale. Nad tulid järeldusele, et iseseisvuse likvideerimise tegid võimalikuks need sisepoliitilised olusuhed, mis valitsesid hetkel, kui toimus iseseisvuse likvideerimist võimaldav välispoliitiline muutus. Kalniņš ja Tomingas esitasid esimestena avalikult küsimuse, kas toimunud olid süüdi ainult Saksamaa ja Nõukogude Liit.

Taasiseseisvumise ajajärgul vaadeldi maailmasõdade vahel eksisteerinud riike ideaalriikidena. Vabadusvõitluses püüti vastukaaluks Nõukogude propagandale tuua esile esimese iseseisvuse aja saavutusi. Nende kritiseerimine samastati vaenulikkusega Eesti, Läti ja Leedu riikluse vastu. Balti autoritaarrežiime kujutati suurepäraselt toimiva mehhanismina, mis olevat toonud kaasa rahva tõelise ühtsuse ja majandusliku tõusu. Ka taasiseseisvumisaegses ajalookirjanduses oli tagantjärele tarkusel oluline koht. Leiti ka, et on lubamatult kasutada fakte ja järeldusi, mida olid kasutanud või teinud nõukogude ajaloolased. Ajakirjanikud ja ka ajaloolased pakkusid seega rahvale ilma igasuguse kriitikata ümber kirjutatud pagulaste mälestusi ja ajaleheartikleid, milles minevikusündmusi ja minevikumehi kujutati üha kaunimas valguses. Seejuures unustati täielikult, et mitmed nendest sündmustest või isikutest olid rohkem kui pool sajandit tagasi rahva terava kriitika objektiks. Sündisid faktidega täielikus vastuolus olevad väited ja seisukohavõtted.

Kui Balti riigid said tagasi iseseisvuse, leidsid neid, kes uskusid, et on võimalik naasta 1939. aastasse. Usuti, et Nõukogude ajastu on võimalik unustada või minema pühkida ja naasta kaotatud paradiisi. Paljud nostalgias kantud ajaleheartiklid, filmid ja ka telesaated on kuni viimase ajani püüdnud näidata sõdadevahelist perioodi kui vigadeta üldise heaolu aega. Kuid nostalgიაvaiba alt paljastuv tegelikkus on hoopis midagi muud. Küsimuseks on kindlasti olnud ajaloopildi piiratus ja mittekriitiline eneseteadvus. Ka täna leidub neid, kes tõstatavad minevikust rääkides küsimuse ideoloogilisest lubatavusest ja kuulutavad avalikult, et mitte heroiseerida tähendab reeta. Aga vist ei küsitagi sellistel puhkudel endalt, et keda reeta. Isikud, kes määrasid rohkem kui pool sajandit tagasi riigi saatust, on ajalooareenilt kadunud ning nende toonased tõekspidamised ja ideoloogia on enamusele meist täna täiesti vastuvõtmatu.

Tänapäeva Vene ajalookirjandus on Balti küsimusele vähe tähelepanu osutanud. Nõukogude Liidu suhteid Balti riikidega on üksikud autorid käsitleanud vaid Nõukogude Liidu välispoliitikat kajastavates uurimustes. Mitmed nõukogude perioodist tuntud autorid on jätkanud oma uurimistööd ja esitavad endiselt nõukogudeaegseid seisukohti. Veel täna võib kohata suurriiklikust ja šovinistlikust seisukohast lähtuvat lähenemist Balti riikide ajaloole. Balti riikide välispoliitikaga seotud küsimuste uurimisel lähtuvad tänased vene ajaloolased sageli traditsioonilisest paradigmat, mille järgi justnagu eksisteeriks rahvusvahelistes suhetes ainult nn realistlik kontseptsioon. Realistlik kontseptsioon kontsenteerib peatähelepanu mitmesugustele konfliktidele, riikliku poliitika ilmingutele ja suurriikide omavahelisele võitlusele, tehes seejuures väikeriigid ajaloo objektideks. Selline lähenemine ei suuda avada sündmuste sisemise arengu loogikat.

Viimastel aastatel on Balti küsimusest huvitunud siiski ka mitmed nooremad ajaloolased, kes on suutnud Balti riikide välispoliitikat käsitleda objektiivselt.

KOKKUVÕTTEKS

Eesti välispoliitikat ja suhteid naabritega maailmasõdade vahel polnud seni piisavalt uuritud. Monograafia "Hääletu alistumine" peaks võimaldama paremini mõista ka neid põhjusi, mis kustutasid kolm riiki iseseisvate riikide hulgast. Senisest ulatuslikum arhiividokumentide kasutamine võimaldas vastata olulistele küsimustele ja lükata ümber meie senine müütidel põhinev minevikunägemus. Ühelt poolt on uurimuses paratamatult korratud juba teadaolevaid fakte. Teiselt poolt võimaldas endise Nõukogude Liidu ja ka lääneriikide arhiivide üheaegne kasutamine tuua kasutusse uusi fakte ja näidata sündmusi hoopis teises valguses. Mida laiem allikaline baas, seda paremini mineviku mõistmine õnnestub.

1939.–1940. aasta on Balti rahvaste ajaloos kõige valulikum tragöödia XX sajandil. Neil aastatel lõppes üks ajastu – esimese omariikluse ajastu. Kuid ei saa eitada, et Balti riikide iseseisvuse sünni juures oli oluline suurpoliitilise kons-

tellatsiooni muutumine, kuid sellele lisandus subjektiivse faktorina tahteavaldus saada iseseisvaks ja iseseisvus sündis. Iseseisvuse kadumise juures oli taas oluliseks faktoriks suurpoliitilise konstellatsiooni muutumine, kuid sellele ei kaasnud subjektiivse faktorina mingit tahteavaldust jääda iseseisvaks. Balti riikide iseseisvuse kaotamisel said ühelt poolt määravaks Euroopa suurpoliitikas 1930. aastate keskel tekkinud kriis, Müncheneri leping, Nõukogude Liidu ja Saksamaa kokkulepped, Saksamaa reeturlikkus, Nõukogude Liidu oskuslik propaganda ja tulevikku suunatud õõnestusöö, teiselt poolt Balti riikide iseseisva välispoliitika puudumine 1939.–1940. aastal ja need Balti riikide sisepoliitilised olusuhed, mis valitsesid hetkel, kui Euroopa suurpoliitikas leidis aset iseseisvuse likvideerimist võimalikuks tegev muutus. 1939.–1940. aasta katastroof oli siis ka selle sügava sisepoliitilise kriisi loogiline tulemus, milles vaevlesid kõik kolm Balti riiki. Seega oli Balti riikide iseseisvuse hääletu kaotus ja täielik tasalülitamine pikema protsessi tulemus, mitte aga väljapääsmatust olukorrast – ainult Molotovi-Ribbentropi pakti sõlmimisest tulenev sundkäik. Näidete demokraatlik-autoritaarne põhjal võib muidugi Tšehhoslovakkia ja Balti riike võrreldes polemiseerida: Tšehhoslovakkia oli demokraatlik, aga ometi kaotas ka suurriikide sobingust tulenevalt iseseisvuse. Kuid Tšehhoslovakkia puhul olid erinevate rahvusgruppide – tšehhide, slovakkide, sudeedisakslaste ja ka ungarlaste – vastuolud need, mis purustasid riigi.

Kokkuvõtteks võib öelda, et pole võimalik kirjutada Balti rahvaste XX sajandi ajalugu nii, et see oleks ühtviisi kõigile vastuvõetav. Kujutlegem ette uurijat, kes valib arhiivitoimikutest välja ainult need faktid, mis on kooskõlas massiteaduse minevikunägemusega. Mis mõte on sellisel uurimisel? Iga riigi ja rahva ajaloos leidub diskuteeritavaid sündmusi ja perioode, mille käsitlemisel võivad ilmuda väga vastandlikud seisukohad. Kaine sündmuste ja faktide analüüs võidab varem või hiljem lõplikult naiivrahvusliku paatose. Ajalooteadus peab suutma hoiduda politiseerimisest või massiteaduse kannupoisi rollist. Ajalugu ei ole kauplemisobjekt. Realistlik minevikunägemus on tänases maailmas toimuva mõistmise eelduseks. Üks rahvusliku küpsuse mõõdupuu on kindlasti võime hinnata ausalt oma ajalugu. Ühe või teise müüdi purunemine ei hävita rahvuslikku identiteeti, vaid toodab kainen realismi ja enesekriitikat. Poliitikute ja erinevate parteide kiusatus propageerida ajalugu oma poliitilistest ja ideoloogilistest eesmärkidest lähtudes või kujundada see poliitilise võitluse tallermaaks, muidugi jääb. Kuid ajaloo uurija peaks otsima vaid tõde. Õige teave poliitilisest ajaloost on oluline, eriti väikestele riikidele ja kindlasti ka selleks, et kaitsta end egoistlike suurriikide eest. Äkki aitab kaine ajaloo hinnang kunagi segastes oludes ära tunda mineviku analoogiaid ja vältida neis peituvaid ohte.

KIRJANDUS

Ajaloo võltsijad : ajalooline ülevaade. 1948. Tallinn.

Helk, V. 1996. Eesti ajalugu on mitmetahuline. Looming, 2.

- Hyytiä, O. 1992. Viron kohtalontie 1933 .. 1939 .. 1940. Jyväskylä.
- Ilmjärv, M. 1998. The Baltic States between the Soviet Union and Germany. : the Soviet Union and the question of establishment of the Baltic Entente 1933-1934. Roiko-Jokela, E. (ed). Images and Mutual Perceptions of the Finns the Estonians and the Russians in the 20th Century. : A Symposium on the 23.-25.11. 1998 at the University of Jyväskylä. Department of History. Jyväskylä.
- Ilmjärv, M. 2004. Hääletu alistumine : Eesti, Läti ja Leedu välispoliitilise orientatsiooni kujunemine ja iseseisvuse kaotus. 1920. aastate kesksaigast anneksioonini. Tallinn.
- Ilmjärv, M. 2004. Kesäkuun hallitusten muodostamisesta Baltian maissa sekä Neuvostoliiton kulttuuridiplomatiasta. Ajankohta : poliittisen historian vuosikirja 2004. Helsinki. (Helsingin yliopiston poliittisen historian laitoksen julkaisuja).
- Ilmjärv, M. 1993. Nõukogude Liidu ja Saksamaa vahel : Balti riigid ja Soome 1934–1940. Tallinn. (Academia, 3).
- Ilmjärv, M. 2004. Silent submission : formation of foreign policy of Estonia, Latvia and Lithuania : period from mid 1920s to annexation in 1940. Stockholm. (Acta Universitatis Stockholmiensis. Studia Baltica Stockholmiensia ; 24).
- Ilmjärv, M. 1998. Viron ja toisten Baltian maiden 30-luvun ulkopoliitikan heijastuminen historiainkirjallisuudessa. Ajankohta : poliittisen historian vuosikirja 1998. Helsinki. (Helsingin yliopiston poliittisen historian laitoksen julkaisuja).
- Kalniņš, B. 1956. Latvijas socialdemokratijas piecdesmit gadi. Stokholma.
- Kleesment, J. 1948. Riiklik tegevus ei tohi katkeda. Eesti vabadusvõitlus ja poliitilise keskuse probleem. Stockholm. (Eesti Rahvusnõukogu toimetised ; 1).
- Leskinen, J. 1997. Vaiaettu Suomen silta : Suomen ja Viron salainen sotilaallinen yhteistoiminta Neuvostliiton varalta vuosina 1930–1939. Helsinki.
- Parming, T. 1974. Estonia between two powers. Journal of Baltic Studies, 2.
- Parming, T. 1979. Vabariigi juhtkond riigikriisi vahendajana. Metroo teine raamat. Stockholm.
- Ridala, E. 1979. Peajooni Eesti välispoliitikast 1934–1940. Eesti Teadusliku Seltsi Rootsis Aastaraamat VIII, 1977–1979. Stockholm.
- Sahlström, A. 2000. Under blåsvarta färger : den estniska konstitutionella krisens verkningar i de finsk–estniska relationerna åren 1934–1938. Helsinki.
- Tomingas W. 1992. Vaikiv ajastu Eestis. Tallinn.

Turtola, M. 2002. President Konstantin Päts : Eesti ja Soome teed. Tallinn.

Uustalu, E. 1968. Eesti Vabariik 1918–1940 : ajalooline ülevaade sõnas ja pildis. Lund.

Uustalu, E. 1952. The History of Estonian People. London.

Uustalu, E. 1987. Riigikogu väliskomisjoni protokollid 1924–34 ja 1938–39. Eestit tagasivaates = (Estonia in Retrospect). Stockholm : EÜS Põhjala.

Кен О. Н., Рупасов А. И. 2000. Политбюро ЦК ВКП (б) и отношения СССР с западными соседними государствами (конец 1920–1930-х гг.) : проблемы : документы : опыт комментария. Санкт-Петербург.