

# EESTI VABARIIGI TEADUSPREEMIAD

2008

TALLINN, 2008

Richard VILLEMS (vastutav toimetaja)  
Riigi teaduspreemiate komisjoni esimees

Helle-Liis HELP, Siiri JAKOBSON, Ülle REBO  
Galina VARLAMOVA

Raamatu kujundamisel kasutati laureaate diplomi ja medali fotot  
ning osaliselt kätteandmisel 24.02.2008 tehtud fotosid

---



Medalid ja diplomid ootavad .....

# SISUKORD

SAATESÕNA .....	6
<i>Valdek Kulbach</i> teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest .....	8
<i>Tiina Talvik</i> teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest ARSTINA TEADUSES .....	26
<i>Tiit Kutser</i> teaduspreemia täppisteaduste alal uurimuste tsükli “Optiline kaugseire veekeskonna uuringutes” eest .....	48
<i>Maido Remm</i> teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal uurimuste tsükli “Inimgenoomi bioinformaatiline analüüs” eest UUTE BIOINFORMAATILISTE MEETODITE ARENDAMINE JA NENDE RAKENDAMINE GENOOMIDE UURIMISEKS .....	68
<i>Enn Lust</i> teaduspreemia tehnikateaduste alal uurimuste tsükli “Tahkeoksiidkütu- seelementides ja elektrilise kaksikkihi kondensaatorites ning kompakt- sete ja poorsete elektrodide ning elektrolüütide vahelisel piirpinnal toimuvate protsesside seaduspärasuste kompleksed uuringud” eest ...	80
<i>Tõnis Timmusk</i> teaduspreemia arstiteaduse alal publikatsioonide tsükli “Närvisüsteemi haiguste molekulaarsetest mehhanismidest” eest .....	98

<i>Valdur Saks</i> (kollektiivi juht)	
<i>Jüri Engelbrecht, Enn Seppet, Marko Vendelin</i>	
teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal tööde tsükli “Molekulaarne süsteemne bioenergeetika” eest .....	110
<i>Marika Mänd</i> (kollektiivi juht)	
<i>Ants-Johannes Martin, Reet Karise</i>	
teaduspreemia põllumajandusteaduste alal uurimuste tsükli “Tolmeldajad ja kultuurtaimede tolmeldamist mõjutavad tegurid” eest ..	124
<i>Vello Pettai</i>	
Teaduspreemia sotsiaalteaduste alal uurimuste tsükli “Poliitiliste institutsioonide mõjud poliitilisele kultuurile postkommunistlikes riikides” eest	
INSTITUTSIOONIDE MÕJUD POLIITILISELE ARENGULE TAASISESEISVUNUD BALTI RIIKIDES .....	140
<i>Linnart Mäll</i>	
teaduspreemia humanitaarteaduste alal uurimuste tsükli “Ida mõtteloo humanistlikud baastekstid globaliseeruva tsivilisatsiooni kontekstis” eest .....	162
Vabariigi teaduspreemiate komisjoni koosseis .....	180

## SAATESÕNA

Kes võtab vaadata riigieelarve seadust, näeb et ridu, mis kirjeldavad maksu- maksja raha ümberjagamist teadusele, polegi teab kui palju. Üks neist määrab ära ülempiiri summale, mida Vabariigi Valitsus saab jagada välja riigi teadus- preemiatena. Loetuna kroonides eelarveaastale, kasvas see rida äsja jõudsalt.

Tavaliselt ei illustreerita sedalaadi sissejuhatusi arvandmetega, kuid seekord teen erandi. Teatavasti antakse “iga-aastaseid aastapreemiaid” viimase nelja aasta tulemuste alusel ja pole imestada, kui nii mõnigi kolleeg on saanud neid korduvalt, demonstreerides jätkuvat tublit tööd läbi aastate. Eks ole ju ka teadlasi, kes on saanud mitu Nobeli preemiat. Lisaks on kaks “elutööpreemiat” ja üks “superpreemia”, mis eeldab eriti silmapaistvat avastust teaduse või tehnika vallas.

Teadlaste arv Eestis pole viimase kolmekümne aasta jooksul kordades muutunud, pigem mõnes olulises suunas isegi langenud. Kuid teisalt on täiesti õigustatud öelda, et konkurents on oluliselt tihenened. Loodus- ja täppisteaduste puhul pole põhjusi kaugelt otsida – meie teaduse bibliomeetrilised baasnäitajad, vaadatuna läbi representatiivse ajavahemiku (näiteks alates 1980. aastast), on ilmekad. Esitan need lihtsa (kergelt ümardatud) tabeli kujul, milles peegeldub dünaamika:

### ISI Web of Science 1970–2008<sup>1</sup>

	1980	1985	1990	1995	2000	2003	2005	2007
Kirjeid	160	210	280	390	590	700	900	1100
Tsiteeringuid	410	1000	1200	2400	5300	8900	11000	13900

<sup>1</sup> tsiteeringute algse kumulatiivse efekti tasandamiseks on andmebaasi analüüsitud aastast 1970, kuid tabelis toodud alates 1980.

Tsiteeritavuse vaat et eksponentsiaalse tõusu taga on ühtlasi ka kumulatiivne efekt, kuid arvestades “keskmise artikli” tsiteeritavuse pool-eluiga, on pilt interpreteeritav siiski ühemõtteliselt – Eesti teaduse kvantiteet, ja kiiduväärselt enamgi – kvaliteet, on kiire tõusu faasis. Ja täna ei ole veel näha tõusutempo raugemist: ekstrapoleerides k.a 18. aprilli seisust, kujuneb 2008. a tsiteeritavuseks *ca* 16000. Seega – pöördudes tagasi esimese lõigu juurde – ei ole preemiateks eraldatud raha mahu kasv sugugi mitte vaid “inflatsiooni kompensatsioon”.

Teaduspreemiate komisjoni töö muutub seeläbi aasta-aastalt keerulisemaks, kuid see kuulub niisuguste raskuste hulka, mida komisjon on meelsasti valmis kandma. Eriti koos teadmiseaga, et kiires tempos on kasvanud ka meie teadlaste edu osalemisel Euroopa Liidu ülimalt konkurentsitihedas teadus- ja arendustegevuse raamprogrammis.

*Richard Villems*

Riigi teaduspreemiate komisjoni esimees



Teaduspreemiate kätteandmisel:  
peaminister Andrus Ansip (kolmas vasakult),  
haridus- ja teadusminister Tõnis Lukas (neljas vasakult),  
teaduspreemiate komisjoni esimees Richard Villems (esimene vasakult).

*Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku  
teadus- ja arendustöö eest*



*Valdek Kulbach*



Sündinud 06.04.1927 Virumaal Auvere-Joala vallas

- 1945 Tallinna X Keskkool (Nõmme Gümnaasium)
- 1951 Tallinna Tehnikaülikool, ehitusinsener
- 1955 tehnikakandidaat, Leningradi Polütehniline Instituut
- 1958 dotsent ehituskonstruksioonide alal
- 1970 ENSV teaduspreemia ehituskonstruksioonide õpikute autorite kollektiivi koosseisus
- 1972 tehnikadoktor, Tallinna Tehnikaülikool
- 1973 professor ehituskonstruksioonide alal
- 1985 NSVL Ministrite Nõukogu tehnikapreemia
- 1986 Eesti Teaduste Akadeemia liige
- 1987 Eesti Ehituskomitee teenetemedal
- 1992 Tampere Tehnikaülikooli audoktor
- 1995 Eesti Vabariigi teaduspreemia tehnikateaduste alal
- 1999 Valgeristi IV klassi teenetemärk
- 2000 Eesti Inseneride Liidu Aasta Insener
- 2004 TTÜ teenetemedal *Mente et Manus*
- 2006 Eesti TA medal

Avaldanud 140 teadusartiklit ja enam kui 60 populaarteaduslikku kirjutist, 2 monograafia autor, 5 õpiku ja 3 muu raamatu koostaja või kaasautor, 4 autoritunnistust ja 5 näitusemedalit.

Olen tegutsenud mitmes rahvusvahelises ja Eesti nõukogus, liidus ja komisjonis, millest tähtsamad on järgmised: IABSE (*International Association for Bridge and Structural Engineering*), IASS (*International Association for Shell and Spatial Structures*), maailma innovatsioonifond, Ameerika Biograafia Instituudi teadusnõustajate komisjon, NSVL Teaduste Akadeemia ehitusmehaanika ja konstruksioonide teadusnõukogu, Peterburi Ehitus-inseneride Instituudi doktorinõukogu, Soome Ehitusmehaanika Liit, EV Keskkonna-ministeeriumi ehitusreeglite nõukogu, Suure väina sillakomisjon Saare Maavalituse juures, Eesti Vabadusvõitlejate Liit, Eesti Lennuväepoiste Klubi, Ehitusinseneride Liit, Vana-Narva Seltsi juhatus, TTÜ Nõukogu, TTÜ teaduskomisjon. Olen töötanud TTÜs dekaani, prodekaani ja ehituskonstruksioonide kateedri juhatajana, juhatanud TTÜ ehitusteaduskonna nõukogu, teaduskraadide omistamise nõukogu, olnud mitme komisjoni esimees, juhendanud kandidaadi-, magistri- ja doktoritöid ning korduvalt oponeerinud kandidaadi- ja doktoritöid.

Kasvasin Kreenholmi ja selle juurde kuuluva Joala mõisa külje all paiknevas Joala külas oma talupidajatest vanemate neljanda lapsena. Minu koolitee möödus Kreenholmi sibiaugust, kuhu 1918. aasta lõpul võimule pääsenud punategelased loopisid suure hulga oma mõrvatud ohvreid. Punategelaste mõrvatööd tähistasidki Vabadussõja algust Joala mõisa ja minu isatalu väljadel. Isa pääses mahalaskmisest tänu püssitõrkele ja ühe “töölisklassi” esindaja sekku-misele. Nende sündmuste taustal kujunes välja meie pere sügavalt kommunist-mivastane hoiak, mis on saatnud mind kogu elu. 1941. aastal alanud sõja algu-ses organiseeriti meie talus peidik, kus varjusid punavõimude mobilisatsiooni eest minu kaks venda ning venna sõber, kes põgenes Punaarmee, kuhu ta oli jõutud Eesti sõjaväest üle viia. 1941. aasta juuli lõpus andis Narva Linna-valitsus minu isale tõendi, et tema kui “kulakutalu” omanik on kohustatud lii-kuma kogu oma liikuva varandusega Kunda sadamasse. Selle asemel õnnestus meil asuda Auvere külla, meil varjunud venna sõbra vanaisa tallu, kus oota-sime ära Saksa vägede kui vabastajate saabumise. Tänu punavõimude enam kui aastapikkusele hirmuvalitsusele jäi sõjajärgne saksavastane hoiak taga-plaanile. Elanud suhteliselt rahulikult üle kaks ja pool aastat kestnud Saksa okupatsiooni, tuli meie perel nagu kõigil Narva ja ümbruskonna elanikel kodu maha jätta, ja seekord lõplikult. Pärast pikki eksirännakuid õnnestus meil talu-majapidamine sisse seada Saku lähedal. Vahepeal võtsid mu vennad osa lahing-utest punavägede vastu, minu osa piirdus paarikuise teenistusega lennuväe abijõududes.

Pärast Narvas katkenud õpinguid õnnestus mul 1944. aasta novembris pääseda Nõmme Gümnaasiumi lõpuklassi, mille lõpetasin 1945. aasta kevadel. Loobu-nud edasiõppimise variandist arstiteaduskonnas, valisin õpingute jätkamiseks Tallinna Tehnikaülikooli (sellel ajal TPI) ehitusteaduskonna. Selle valiku läh-tekohaks oli ühelt poolt talutööde käigus tekkinud tehnikahuvi, teiselt poolt aga kindlasti ka abiturientidele korraldatud prof Ottomar Maddisoni sillaehi-tuse alase loengu küllastamine. Sel ajal ei osanud ma muidugi ette kujutada, et minust saab tema järglase prof Heinrich Lauulu järglane ehituskonstruksioo-nide kateedri juhataja ametikohal. Töötades õpingute kõrval Tallinna pro-jekteerimisasutustes, lõpetasin TTÜ ehitusteaduskonna 1951. aasta kevadel.

Jätkanud töötamist projekteerijana, suunati mind 1952. aastal aspirantuuri Leningradi Polütehnilise Instituudi hüdrotehnika teaduskonda (selles insti-tuudis polnud ehitusteaduskonda). Aspirantuuri lõpetasin 1954. aasta lõpul, alates 1955. aasta algusest töötan TTÜ ehitiste projekteerimise instituudis (või selle eelkäijas ehituskonstruksioonide kateedris). Töötades assistendi, vanem-õpetaja, dotsendi ja professori ametikohtadel ning olnud pikka aega kateed-rijuhataja, on mul õnnestunud vältida kuulumist punapartei ridadesse. Muidugi tekitas see probleeme korteriküsimuste lahendamisel ja sõiduauto hankimisel, ei sobinud ma ka ehitusteaduskonna dekaaniks, kuid õhtuõppe prodekaani ja kaugõppe dekaani ametikohad tuli mul läbi teha. Ehitusteaduskonna dekaaniks

määrati mind alles pärast Eesti Vabariigi iseseisvuse taastamist, ja seda sügavas pensionieas.

Minu teadustegevus metallkonstruktsioonide alal sai alguse juba üliõpilaspõlves ning jätkus pärast tööleasumist TTÜ õppejõuna. Aspirantuuri ajal Peterburis tuli mul tegelda hoopis hüdrotehniliste ehitistega, eeskätt liivnõlvade stabiilsuse uurimisega filtratsioonijõudude toimel. Lisaks selles küsimuses saadud huvitavatele tulemustele võin positiivsena ära märkida ka elastsusõpetuse süvateadmiste omandamist aspirantuuri ajal. Kaabelkonstruktsioonide temaatika juurde 1958. aastal tõi mind osavõtt arhitekt Alar Kotli ja prof Heinrich Lauulu kavandatud Tallinna laululava kõlaekraani projekteerimis- ja ehitusprobleemide lahendamiseks. Selleks ajaks oli juba ehitatud paar tasapindsetele kaartele toetatud sümmeetrilist võrk-rippkatust, kuid ühe kaare vahepealsete tugevate puudumine muutis kõlaekraani konstruktsiooni erakordseks. Kahe tasapindse kaare vahele pingestatud kaabelvõrgu pinda iseloomustab kõveruse järsk erinevus kaarte kannal- ja lukupiirkonnas. Katusepinna ebasoodus töötaamine tuulekoormuse mõjul selle lamedas osas sundis isegi ühe USA tuntuima hoone, 1953. aastal ehitatud Raleigh Arena rippkatuse kaabelvõrku tugevdama lisakaablitega. Seda probleemi ei esinenud Tallinna laululava kõlaekraani puhul tänu suhteliselt suure jäikusega puidust ribipaneelide kasutamisele.

Oma 1972. aastal kaitstud doktoriväitekirjas seadsin põhiülesandeks sellise võrk-rippkatuse väljaarendamise, mis oleks vaba eelnimetatud puudustest, ja vastava arvutusmeetodika loomise. Sobivaks lahenduseks osutus elliptilise kontuuriga hüperboolse paraboloidi (hüpari) kujuline katus, mille väljatöötamisele eelnesid Jüri Engelbrechti, Karl Õigeri ja Arvi Ravasoo eksperimentaalsed uurimused. Autori pakutud rippkatuse kontuur tuleks moodustada 16–24 ümartoru sirgest, omavahel põkkõmblustega kokku keevitatud lõigust. Ümartoru kasutamise peamiseks eeliseks on selle suhteliselt suur väändjäikus, mis teeb kontuuri pingeoletu ka suhteliselt väikese läbimõõduga toru puhul vastuvõetavaks. Tavaline, sümmeetriline võrk-rippkatus tuleks toetada neljal küljel kahest postist ja nendevahelistest sidemevarrastest koosnevale toele. Selline konstruktsioon ei vaja rõhtsuunalist jõudu tasakaalustavaid tugevusi ning on tasapindsetele kaartele toetatud rippkatusega võrreldes märgatavalt ökonoomsem. Seejuures tuleb aga alla kriipsutada kaabelvõrguga konstruktsiooni parameetrite sobiva valiku vajadust. Sobivate parameetrite valikut on käsitletud Urmas Männi, Tiina Hallangu ja Indrek Tärno väitekirjades. Tartu laululava kõlaekraani projekteerimise ja ehitamise käigus tuli kindlaks teha kolmel küljel toetatud, ühes suunas ebasümmeetriliselt paikneva hüpari tööiseärasused ning kaabelvõrgu ja ekraani laudise koostöö võimalused. Autori juhendamisel valmis Peeter Paane ning Karl Õigeri juhendamisel Ivar Talviku kandidaativäitekiri. Kõrvuti ellipsikujulise kontuuriga on autori juhendamisel uuritud ka ühest või mitmest negatiivse kõverusega pinnast koosneva, sirgetele sisemistele ja välistele varrastele toetatud rippkatuse töötamist. Tähtsamad tulemused on esitatud Andres Talviku kandidaativäitekirjas. Radiaalkaablitega

rippkatuse arvutusküsimusi käsitles autori juhendatud Ahti Lääne magistritöö. Autor lahendas sadulakujuliste rippkatuste kaabelvõrgu sõlmede koordinaatide määramise ülesande, mille käsitus varasemas kirjanduses polnud vastavuses tasakaalutingimustega. Hiljem lahendati ka kaabelvõrgu pingestamise ülesanne, lähtudes võrgu esialgsest juhuslikust kujust ja eesmärgist pingestada kaabelvõrk ühekordse pingestusringiga.

Autori 2007. aastal ilmunud monograafias käsitletakse kaabelkonstruktsioonide töötamise ja arvutuse küsimusi loogilises – lihtsamalt keerulisemale järjekorras. Esitatud tulemused on aga saanud hoopis erinevas ajalisel järjekorras: kõige keerukamate konstruktsioonide – sadulakujuliste rippkatuste uurimine toimus enne teiste kaabelkonstruktsioonide juurde asumist. Sadulakujulistele rippkatustele järgnesid eelpingestatud tasandkandurid ja üksikkaablid, seejärel vantidega toetatud mastid ning viimasena jäikurtalaga rippisillad. Tähtsamateks peab autor analüütilisel teel kontinuaalse arvutusmudeli abil saadud tulemusi. Tandemi Johannes Aare + Valdek Kulbach vantidega toetatud mastide teoreetiline uurimine ja mudelkatsetused toimusid koostöös instituudiga “Giproneftspetsmontaž”. Nende tööde tulemusel valmisid ka Izrail Goldenbergi ja Aleksandr Voronovi kandidaativäitekirjad. Rippsildade uurimise tulemusena sai autor võrrandid, mis võimaldavad lihtsalt arvesse võtta jäikurtala paindejäikuse mõju konstruktsiooni pinge-deformatsiooniolekule. Neid rakendati koos Siim Idnurmega koostatud Viljandi Lossisilla projektis. Kui päevakorda tuli Suure väina silla eelprojekti koostamine, rakendas autor oma arvutusmetoodikat selle keskse, laevatatava osa projekteerimisel. Rippsilla arvutust diskreetse mudeli alusel koos autori kontinuaalse meetodi analüüsiga käsitles Juhan Idnurme PhD väitekirj. Suure väina silla projekteerimise küsimusi on autor käsitlenud ka koos I. Talviku ning doktorant Egon Kiviga.

Järgnevas on esitatud tähtsamad momendid kolme eri tüüpi kaabelkonstruktsiooni – jäikurtalaga kaablite (rippsilla), hüparikujulise rippkatuse ning vantidega toetatud tõstemastide projekteerimise ja staatilise arvutuse kohta. Autori arvates annavad need teatava ülevaate analüütiliste meetodite edukast rakendamisest suhteliselt keerukate inseneriülesannete lahendamisel ning vahendid näitena toodud konstruktsioonide projekteerimiseks.

RIPPSILLA arvutus kontinuaalse mudeli alusel lähtub mittelineaarsetest tasakaalutingimustest ja kaabli geomeetrilise vastavuse võrranditest. Arvuliste tulemuste saamiseks on olemas nn täpne meetoodika, mis viib keerukate transtendentsete võrrandite lahendamisele. Autor kasutab läbipaindefunktsiooni aproksimatsiooni ning saab lihtsad võrrandid silla peakaabli ning jäikurtala läbipainde ja sisejõudude määramiseks. Põhivõrrand konstruktsiooni suhtelise läbipainde  $\zeta_0 = w_0 / f$  määramiseks ühtlase vertikaalkoormuse mõjumisel erineb vastavast üksikkaabli võrrandist ainult jäikurtala paindejäikust arvestava teguri  $\rho$  poolest ning on avaldatav kujul

$$\zeta_0^3 + 3\zeta_0^2 + (2 + \rho + p_0^*)\zeta_0 = p^*,$$

kus  $p_0^* = H_0/\Phi$ ,  $p^* = P/\Phi$  ja  $P = pa^2/2f$  on vastavalt algkoormuse (eelpinge) parameeter ning lisakoormuse parameetrid;

$$\Phi = \frac{2EAf^2}{3a^2(1+\kappa+\mathcal{G})} \text{ on silla peakaabli tõmbejäikus;}$$

$\rho = 4E_b I_b(1+\kappa+\mathcal{G})/EAf^2$  on jäikurtala suhteline paindejäikus;

$$\kappa = \frac{2f^2}{a^2} + \frac{6f^4}{5a^4} \text{ ja } \mathcal{G} = \frac{EAb}{E_a A_a a \cos^3 \beta} \text{ on vastavalt peakaabli kõverust}$$

ning ankurvandi deformatsiooni arvestav tegur;

$EA$  ja  $a$  on peakaabli tõmbejäikus ja poolsille;

$E_a A_a$  ja  $b$  on ankurvandi tõmbejäikus ja pikkuse rõhtkomponent.

Kaabli sisejõu rõhtkomponendi väärtuse saame seosest

$$H = H_0 + \Phi \zeta_0 (2 + \zeta_0)$$

ning jäikurtala paindemomendi maksimaalväärtuse avaldisest

$$\max M = \rho \Phi f \zeta_0.$$

Konstruksioonide arvutamiseks liikluskoormuse mõjumisel silla poolel sildel on otstarbekas jaotada kogu koormus sümmeetriliseks ( $p_s = p_1 + 0,5p_2$ ) ja antisümmeetriliseks ( $p_u = 0,5p_2 \operatorname{sgn} x$ ) osaks ning leida esmalt konstruktsiooni läbipaine ja sisejõud vastavalt eeltoodule, seejärel aga teha arvutus koormuse teise osa jaoks. Seejuures tuleb arvesse võtta konstruktsiooni kuju ja sisejõudude muutust koormuse esimese osa mõjul. Aproximeerides nüüd läbipaindefunktsiooni kahe poollainena ning rakendades konstruktsiooni tasakaalutingimusi ja kaabli deformatsiooni vastavuse võrrandit, saame läbipaindeparameetri  $w_1/f_1$  määramiseks kuupvõrrandi

$$\frac{w_1^3}{f_1^3} + [(p_0 + p_s)^* + \rho] \frac{w_1}{f_1} = p_u^*,$$

kus  $f_1 = f + w_0$  on kaabli muutunud kõverusnäitaja;

$$(p_0 + p_s)^* = \frac{2(p_0 + p_s)a^4(1+\kappa+\mathcal{G})}{\pi^2 EAf_1^3} \text{ on kaabli muutunud algkoormuse}$$

parameeter;

$$p_u^* = \frac{16p_u a^4(1+\kappa+\mathcal{G})}{\pi^5 EAf_1^3} \text{ on kaabli antisümmeetrilise koormuse parameeter.}$$

Kaabli täiendav sisejõud antisümmeetrilise koormuse toimel on

$$H_u = \frac{\pi^2 EA w_1^2}{4a^2(1+\kappa+\mathcal{G})}.$$

Jäikurtala täiendava paindemomendi saame määrata avaldisest

$$M_u = \frac{\pi^2 E_b I_b}{a^2} w_1 \sin \frac{\pi x}{a}.$$

Rippsildade käitumise uurimistöö käigus koostati Suure väina silla kui terviku kavand ning koostati silla keskset ava katva ripp- ja ripp-vant-hübriidsilla detailsem eelprojekt (joonis 1).

ELLIPTILISE KONTOUURIGA HÜPARIKUJULISE RIPPKATUSE (joonis 2) PINGE-DEFORMATSIOONIOLEKU HINDAMISEL lähtume osatuletistega mittelineaarsetest tasakaalutingimustest ning kande- ja pingestus-kaablite deformatsioonide vastavuse võrranditest. Need võrrandid võib ühtlaselt jaotatud vertikaalkoormuse mõjumisel avaldada kujul

$$H_x \frac{\partial^2(z+w)}{\partial x^2} + H_y \frac{\partial^2(z+w)}{\partial y^2} = p,$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \left( \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial x} \right) = \frac{H_x - H_{0x}}{Et_x} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}},$$



Joonis 1.  
Suure väina silla keskse, laevatatava osa arvutijoonis.

$$\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial y} \left( \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial y} \right) = \frac{H_y - H_{0y}}{Et_y} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}},$$

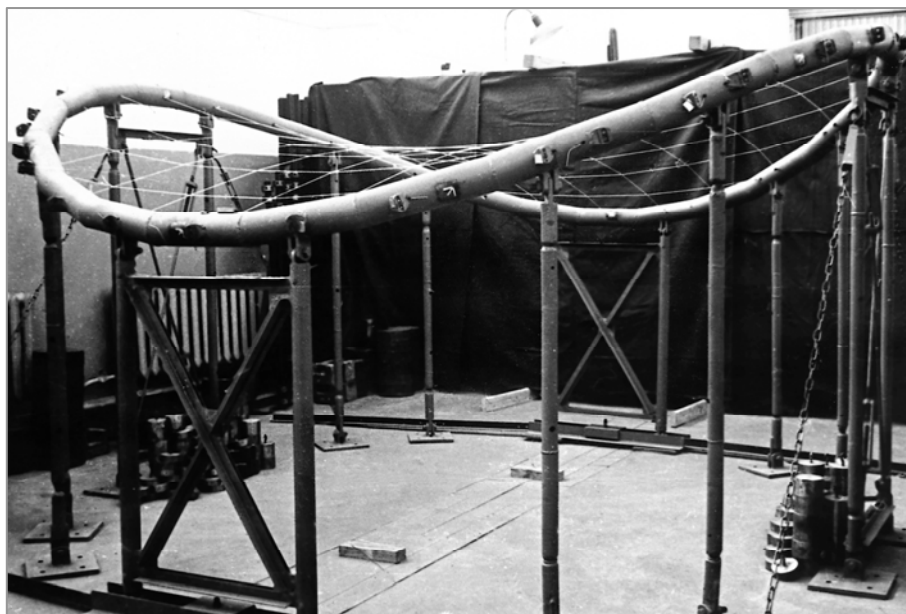
kus  $H_x$  ja  $H_y$  on kande- ja pingestuskaablite sisejõud pärast koormuse  $p$  rakedamist;

$H_{0x}$  ja  $H_{0y}$  on vastavad sisejõud kaabelvõrgu eelpingestuse järel;

$u$ ,  $v$  ja  $w$  on siirdekomponeendid vastavalt telgede  $x$ ,  $y$  ja  $z$  suunas;

$Et_x$  ja  $Et_y$  on vastavalt kande- ja pingestuskaablite tõmbejäikused võrgu ühiklaiuse kohta.

Nende võrrandite tuletamisel on jäetud arvestamata kaablite põiksuunalised siirded sõlmedes ning on eeldatud, et kontuurirõnga püstsuunalisi siirdeid takistavad seda toetavad postid. Esitatud kolmes võrrandis on kolm põhitundmatut, kuid neile lisaks esinevad neis veel rõhtsiirete  $u$  ja  $v$  esimesed tuletised; nende elimineerimiseks integreerime deformatsioonide vastavuse võrrandeid, integreerimise tulemusena saame võrrandite esimesed liikmed asendada suurustega, mis on saadud elliptilise rõnga deformatsioonide aproksimeerimise teel:



Joonis 2.  
Hüparikujulise rippkatuse mudel.

$$u_1 = \frac{5b^2 \sqrt{\frac{a}{b}}}{72E_c I_c} \left[ -(H_x - H_{0x})b^2 + (H_y - H_{0y})a^2 \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right)^{\frac{3}{2}} \right],$$

$$v_1 = \frac{5a^2 \sqrt{\frac{a}{b}}}{72E_c I_c} \left[ (H_x - H_{0x})b^2 - (H_y - H_{0y})a^2 \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^{\frac{3}{2}} \right].$$

Lähtudes kaablite paraboolsest kujust enne ja pärast deformeerumist, saame võrrandite teised liikmed esitada kujul

$$a \int_0^{\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} \frac{\partial w}{\partial x} \left( \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial x} \right) dx = \frac{2}{3} \frac{f_x^2}{a} \left( 2 \frac{w_0}{f_x} + \frac{w_0^2}{f_x^2} \right) \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right)^{\frac{3}{2}},$$

$$b \int_0^{\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}} \frac{\partial w}{\partial y} \left( \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial y} \right) dy = \frac{2}{3} \frac{f_y^2}{b} \left( 2 \frac{w_0}{f_y} + \frac{w_0^2}{f_y^2} \right) \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

Võrrandite parempoolsete liikmete puhul kasutame nende koordinaatidest sõltuvate liikmete rittaarendust

$$a \int_0^{\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} dx = a \left( 1 + 2 \frac{f_x^2}{a^2} + \frac{6}{5} \frac{f_x^4}{a^4} + \dots \right) \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right)^{\frac{1}{2}},$$

$$b \int_0^{\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} dy = b \left( 1 + 2 \frac{f_y^2}{b^2} + \frac{6}{5} \frac{f_y^4}{b^4} + \dots \right) \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Kuna kaabelvõrgu sisejõudude juurdekasvud  $\Delta H_x = H_x - H_{0x}$  ja  $\Delta H_y = H_y - H_{0y}$  esinevad integreeritud deformatsioonide vastavuse võrrandites nii esimeses kui ka kolmandates liikmetes, tuleb nende avaldamiseks läbipainete kaudu lahendada süsteem kahest lineaarvõrrandist

$$A_1 \Delta H_x + B_1 \Delta H_y = C_1$$

$$A_2 \Delta H_x + B_2 \Delta H_y = C_2,$$

$$\text{kus } A_1 = \frac{1}{Et_x} \left[ 1 + 2 \frac{f_x^2}{a^2} \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right) + \frac{Et_x a^{-1/2} b^{7/2}}{12E_c I_c} \left( \frac{19}{24} + \frac{1}{20} \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right) \right) \right],$$



$$A_2 = \frac{1}{Et_x} \left[ \frac{Et_x a^{3/2} b^{3/2}}{12E_c I_c} \left( \frac{7}{8} - \frac{1}{20} \left( 1 - \frac{y^2}{b^2} \right) \right) \right],$$

$$B_1 = \frac{-1}{Et_x} \frac{Et_x a^{3/2} b^{3/2}}{12E_c I_c} - \left( \frac{7}{8} - \frac{1}{20} \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right) \right),$$

$$B_2 = \frac{-1}{Et_x} \left[ \frac{t_x}{t_y} + 2 \frac{t_x f_y^2}{t_y f_x^2} \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right) + \frac{Et_x a^{7/2} b^{-1/2}}{12E_c I_c} \left( \frac{19}{24} + \frac{1}{20} \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right) \right) \right],$$

$$C_1 = \frac{2}{3a^2} (2f_x + w_0) w_0 \quad \text{ja} \quad C_2 = \frac{2}{3b^2} (2f_y - w_0) w_0.$$

Asetades sellest võrrandisüsteemist saadud  $\Delta H_x$  ja  $\Delta H_y$  väärtused tasakaalu-võrrandisse ning rakendades Galyorkini meetodit, saame võrrandi kujul, mis sisaldab järgmiste integraalidena esinevaid funktsioone sõltumatutest koordinaatidest  $x$  ja  $y$ :

$$\int_0^b dy \int_0^{a\sqrt{1-y^2/b^2}} \left( \frac{x}{a} \right)^{2m} \left( \frac{y}{b} \right)^{2n} \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right)^q \left( 1 - \frac{y^2}{b^2} \right)^s \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right) dx.$$

Pärast kõigi selliste avaldiste integreerimist saame võrrandi kaabelvõrgu suhtelise läbipainde  $\zeta_0 = w_0 / f_x$  määramiseks, mille võime tühiste ümardamiste järel esitada järgmisel kompaktsel kujul:

$$(1 + \psi + 4\xi)\zeta_0^3 + 3[(1 - \alpha\psi) + 2(1 - \alpha)\xi]\zeta_0^2 + \left\{ 2\left[ (1 + \alpha^2\psi) + (1 - \alpha)^2 \xi \right] + \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right) p_0^* \right\} \zeta_0 = p^*,$$

kus  $\alpha = f_y / f_x$ ;  $\psi = \frac{a^4 t_y (1 + \kappa_x)}{b^4 t_x (1 + \kappa_y)}$ ;  $\kappa_x = \frac{5 f_x^2}{3 a^2}$ ;  $\kappa_y = \frac{5 f_y^2}{3 a^2}$  on geomeet-

rilised parameetrid;

$$\Phi = \frac{5}{9} \frac{Et_x f_x^2}{a^2 (1 + \kappa_x) (1 + \mu\xi)}$$
 on kandekaablite efektiivne tõmbejäikus

(dimensionioon kN/m);

$$\xi = \frac{5}{72} \frac{Et_y a^3 \sqrt{a/b}}{E_c I_c (1 + \kappa_x)}$$
 on kontuurirõnga suhteline deformeeritavus;

$p_0^* = \frac{p_0 a^2}{2f_x \Phi}$  ja  $p^* = \frac{pa^2}{2f_x \Phi}$  on vastavalt eelpinge- ja koormusparameeter.

Kande- ja pingestuskaablite sisejõud (kaabelvõrgu keskel) on avaldatavad võrranditest

$$H_x = H_{0x} + \Phi[(2+\zeta_0) + (1-\alpha + \zeta_0)\xi],$$

$$H_y = H_{0y} - \beta^2 \Phi \zeta_0 [(2\alpha - \zeta_0)\eta - 2(1-\alpha + \zeta_0)\xi].$$

Kontuurirõnga paindemomendi ekstreemväärtused saame määrata seostest

$$M_{x=a} = \frac{1}{2} (H_x b^2 - H_y a^2) \left[ \frac{1+k^2}{3k^2} - \frac{(1-k^2)K(k)}{3k^2 E(k)} \right],$$

$$M_{x=0} = \frac{1}{2} (H_x b^2 - H_y a^2) \left[ \frac{1+k^2}{3k^2} - \frac{(1-k^2)K(k)}{3k^2 E(k)} - 1 \right],$$

kus  $k = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$  on kontuurirõnga elliptilisus ning  $K(k)$  ja  $E(k)$  on vastavalt esimest ja teist järku täielikud elliptilised integraalid.

Kontuurirõnga ekstremaalsed siirded on avaldatavad kujul

$$\max u = -\frac{5}{72} \frac{b\sqrt{ab}}{E_c I_c} (H_x b^2 - H_y a^2),$$

$$\max v = \frac{5}{72} \frac{a\sqrt{ab}}{E_c I_c} (H_x b^2 - H_y a^2).$$

Katusevõrgu ühepoolse koormamise korral (näiteks lumekoormusega) on siin nagu ripp silla puhulgi otstarbekas jaotada summaarne koormus sümmeetriliseks ja antisümmeetriliseks osaks ning määrata konstruktsiooni läbipainded esmalt sümmeetrilise koormuse jaoks ning seejärel, võttes arvesse võrgu muutunud kuju ja sisejõude, teha arvutus antisümmeetrilise koormuse osa jaoks. Autori varem avaldatud töedes on esitatud eeltoodud tulemuste võrdlus diskreetsel mudelil põhinevate arvutustulemustega, aga ka suuremõduliste mudelite katsetamisel saadud andmetega. Selline võrdlus näitab tulemuste väga head kokkulangevust, nende erinevus jääb enamasti 1–2% piiridesse.

Toodud võrrandeid kasutati Tartu laululava kõlaekraani mudeli projekteerimisel ning kõlaekraani (joonis 3) dimensioneerimisel, kuigi selle käitumine erineb mõnevõrra sümmeetrilise katuse tegelikust töötamisest.

MONTAAŽIMASTE TOETAVAD KAABLID on eelpinge suhtes eriti tundlikud, neid ei saa käsitleda lineaarselt deformeeruvate vantidena. Nende omakaalu toimel tekkiva läbipainde arvestamine on vältimatu. Vaatamata sellele on nende arvu-

tuseks kohaldatavad sama tüüpi võrrandid nagu rippkonstruktsioonide puhul. Nii näiteks võib sümmeetriliselt toetatud masti nelja (kahe erineva) kaabli suhtelised läbipainded määrata võrrandist

$$\zeta_{0i}^3 + 3\zeta_{0i}^2 + (2 + p_0^* \pm \delta)\zeta_{0i} = \pm \delta ,$$

kus  $p_0^*$  on kaabli omakaalu koormusparameeter;

$$\delta = \frac{3l\Delta x}{8f^2\sqrt{2}} \text{ on masti tipu siiret } \Delta x \text{ arvestav parameeter;}$$

$l$  on kaabli pikkuse horisontaalprojektsioon.

Toodud võrrandis tuleb +märki kasutada koormuse suuna kaabli jaoks ( $i=1$ ) ning miinusmärki vastaspoole kaabli jaoks ( $i=2$ ). Selles võrrandipaaris esineva kolmanda tundmatu määramiseks võib kasutada tasakaaluvõrrandit

$$\frac{1}{1 + \zeta_{01}} - \frac{1}{1 + \zeta_{02}} = \frac{8Qf}{pl^2\sqrt{2}},$$

kus  $Q$  on masti tipus mõjuv horisontaaljõud;

$p = g / \cos \alpha$  on kaabli ühikpikkuse horisontaalkomponendi omakaal.



Joonis 3.  
Tartu laulalava kõlaekraan.

Masti tipu rõhtsiirde suuruse saame arvutada võrrandist

$$\frac{\Delta x}{f} = \frac{8f}{3l} [\zeta_{01}(2 + \zeta_{01}) + p_0^*].$$

Montaažimastide käitumise teoreetilisele uurimisele kaasnes selle mudelkatsetamine (joonis 4) ning tegeliku töötamise kontroll 1000-tonnise reaktori montaaži käigus.

VALDEK KULBACHI kandidatuuri esitamisel pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö konkursile põhjendas Tallinna Tehnikaülikooli Nõukogu järgmiselt:

1. Ajavahemikul 1960–2000 on loodud erinevate kaabelkonstruktsioonide täiustatud arvutusmetoodika, mis lähtub mittelineaarse elastsusõpetuse täpsetest tasakaalu- ja geomeetrisest vastavuse võrranditest ning võtab otsest arvesse kaablitesüsteemi tugede järeleandvust.
2. Alus- ja rakendusuringute ja arendustegevuse ning diskreetse ja kontinuaalse arvutusmudeli ühildamise tulemusel on saadud tõhus vahend keerukate inseneriprobleemide lahendamiseks.



Joonis 4.  
Mastkraana mudeli katsetamine TTÜ ehitusteaduskonnas.

3. On antud märkimisväärne täiendus mittelineaarse ehitusmehaanika probleemide lahendamiseks. Siia kuuluvad ettepanekud: 1) pingelekute superpositsiooni printsiibi rakendamiseks koos vastavate lisatingimuste formuleerimisega ning 2) tingimuste formuleerimine ankurvandina töötava, ainult omakaaluga koormatud kaldkaabli lineaarse või mittelineaarse arvutusmudeli kasutamiseks.
4. Aktiivne tegevus ehitusinseneride õpetamisel ja täiendkoolitamisel ning teadlaskaadri ettevalmistamisel teadustööde juhendaja, väitekirjade opponendi ning kaitsmisnõukogu töö juhina.
5. Tulemuslik kirjastustegevus:
  - Ehituskonstruksioonide projekteerimist käsitlevate esimeste eesti-keelsete õpikute koostamine;
  - Teadustöö tulemuste publitseerimine mitmetes autoriteetsetes rahvusvahelistes väljaannetes ning esitamine rahvusvahelistel konverentsidel;
  - Tehnilist kõrgharidust, Eesti ehitustegevust ning Eesti tehnika- ja teadusajalugu käsitlevate artiklite publitseerimine Eesti TA ja TTÜ väljaannetes (k.a TA ja TTÜ aastaraamatud ja teadusajaloo kogumikud ning populaarse kogumiku "Ehitusinsenerid TPI-st" koostamine) ning ehitusala ajakirjades, aga ka esitamine Eesti Raadio ja ETV saadetes;
  - Kaabelkonstruktsioone käsitleva ingliskeelse monograafia koostamine ja publitseerimine Eesti TA Kirjastuses 2007. aastal. See monograafia sisaldab autori ja tema õpilaste teadus- ja arendustööde kokkuvõtet ning kujutab endast autori publikatsioonide ühte tähtsamat subjekti.
6. Autori teadustööde tulemuste alusel käivitatud arendustegevuse käigus on lahendatud rida ehituspraktika keerukaid ülesandeid:
  - Tartu laululava kõlaekraani arvutus, mudelleerimine ja tegeliku töö analüüs;
  - Viljandi ajaloolise ripp silla rekonstrueerimine 1995. aastal;
  - Universaalse kaabeltoetatud mastkraana arvutus, projekteerimine, muldakatsetamine ning töö uurimine 1000-tonnise, 100 m kõrguse reaktori montaažil 1965–1995;
  - Suurte kütusereservuaaride montaažil esinevate probleemide lahendamine, k.a servapainutusseadmete loomine, tugevdamisvariantide väljatöötamine jms 1985–2000;
  - Ehitusmaterjalide tehastes kasutatavates autoklaavides esinenud defektide põhjuste analüüs ning tugevduslahenduste väljatöötamine 1980–1990;
  - Suure väina silla konstruktiivsete lahenduste valik ja variantprojektide koostamine 1996–2007.

Autorile on kõige suuremat rahuldust pakkunud oma teadustulemuste otsese kasutamise võimalus inseneritegevuses ja ehitusinseneride ettevalmistamisel.

## VALIK KIRJANDUST

Kulbach, V. (1956). Filtratsioonijõudude mõjust liivpinnaste struktuuri püsivusele. TPI Toimetised, 82, 37-70. (vene k.).

Aare, J., Kulbach, V. (1961). Metallkonstruktsioonid I. Tallinn, 684 lk.

Laul, H., Kulbach, V., Sumbak, A. (1961). About problems of static analysis and experimental investigation of roof structures for the song festival tribune in Tallinn. Trans. Tallinn Polytechn. Inst., 184, 3-22. (in Russ.).

Kulbach, V. (1963). Simplified analysis of pre-stressed suspension roofs of negative curvature. Trans. Tallinn Polytechnic Inst., 200, 63-80. (in Russ.).

Kulbach, V. (1963). Temperatuuripinged õhukeses elastses plaadis soojaallika paiknemisel plaadi kontuuril. TPI Toimetised, 200, 49-61.

Kulbach, V. (1965). Analysis of flat shells of negative curvature, resisting only to tension. Proc. Estonian Acad. Sci. Phys. Math., 14, 406-413.

Kulbach, V. (1966). Berechnung von Hängedächern mit negativer Krümmung als Schalen, die nur Zugwiderstand aufweisen. Proc. II Intern. Conf. on Pre-Stress Metal Structures. Prague, 475-483.

Kulbach, V., Engelbrecht, J. (1967). Analysis of suspension structures of negative curvature with a finite number of cables. Trans. Tallinn Polytechn. Inst., 256, 39-56. (in Russ.).

Aare, J., Kulbach, V. (1970). Metallkonstruktsioonid II. Tallinn, 548 lk.

Kulbach, V. (1970). Problems of Static Calculation of Suspension Systems. Tallinn, 48 p. (in Russ.).

Kulbach, V., Ravasoo, A. (1970). Analysis of saddle-formed suspension roofs by method of collocation. Trans. Tallinn Polytechn. Inst., 295, 15-28. (in Russ.).

Kulbach, V. (1971). On the interaction between deformations of hanging roofs of negative curvature and displacements of the edge frame. Research Conf. "50 years of the Building Research Institute of the Technical University of Prague". Prague, 60-70.

Kulbach, V. (1975). About behaviour of suspension roofs of negative curvature with contour of small bending rigidity. Reports of Intern. Conf. "Structures of Elastic Threads". Bratislava, 63-70.

Kulbach, V. (1976). Analysis of saddle-formed hanging roofs with regard to deformations of the contour beam. Second National Congress on Theoretical and Applied Mechanics (Varna, 1973), 291-300. (in Russ.).

Kulbach, V., Hallang, T. (1976). About behaviour of saddle-formed suspension roofs with contour of small bending rigidity (in Russian). Reports of Symp. on Spatial Structures. Krasnojarsk, 247-249.

- Kulbach, V., Õiger, K. (1982). Saddle-shaped suspension roofs without outward thrust. Proc. Conf. "Research, Design and Construction of suspension System for Roof and Engineering Structures". Kiowa, 154-163. (in Russ.).
- Kulbach, V., Õiger, K. (1986). Investigation and erection of the saddle-shaped suspended, cable-tent and wooden shell roofs. Proc. of the 1st Intern. Conf. on Light-weight Structures. Sydney, 131-138.
- Kulbach, V. (1990). Behaviour of tubular contour of hyperbolic hanging roofs. Tubular Structures. Elsevier Applied Science, London, New York, 437-442.
- Kulbach, V. (1990). Hanging roofs as acoustic screens for song festival tribunes in Estonia. Trans. Tallinn Techn. Univ., 721, 12-20.
- Kulbach, V. (1994). Design and erection of long-span hyperbolic networks. Places of Assembly and Long-Span Building Structures. IABSE Reports, Zürich, 71, 37-42.
- Kulbach, V. (1995). A new hyperbolic network in Estonia. Proc. Nordic Steel Construction Conference 95 (Malmö, Sweden, 1995). Stockholm, 2, 733-740.
- Kulbach, V. (1997). Plane and spatial suspension structures. Challenges to Civil and Mechanical Engineering in 2000 and Beyond. Warszawa, 3, 143-152.
- Kulbach, V. (1997). A system of nondimensional parameters for evaluation of different cable systems. Proc. 5th Intern. Conf. "Modern Building Materials, Structures and Techniques". Vilnius, 194-199.
- Kulbach, V. (1998). Saddle-shaped prestressed networks with rigid or flexible contour structures. Spatial Structures in New and Renovation Projects. Moscow, 2, 485-494.
- Kulbach, V. (1998). Steel structures in Estonia – Investigation, design and realization. J. of Constructional Steel Research, 46, 387-388 (full text 7 p. on the CD-Rom).
- Kulbach, V., Talvik, I. (1998). Efficiency of steel in suspended structures. J. of Constructional Steel Research, 46, 326–327 (full text 13 p. on the CD-Rom).
- Kulbach, V. (2000). Experience in design, exploitation and examination of great steel tanks. Construction in Russia Today. Helsinki, 104-108.
- Kulbach, V., Idnurm, S., Idnurm, J. (2000). Static analysis of suspension bridges loaded by concentrated forces. J. Struct. Mech. (Helsinki), 34, 2, 3-14.
- Kulbach, V., Talvik, I. (2001). Bridge structures for the fixed link Saaremaa. Krokeborg, J. (ed.). Strait Crossings 2001. Balkema, Lisse, 221-226.
- Kulbach, V. (2002). Experience of design, analysis and construction of saddle-shaped prestressed networks. Lightweight Structures in Civil Engineering. Warsaw, 861-866.

Kulbach, V. (2003). A universal approach to analysis and design of different cable structures. Bontempi, F. (ed.). System-Based Vision for Strategic and Creative Design. Lisse, 951-956.

Kulbach, V. (2004). Development of structures for erection of heavy cylindrical shells. Modern Building Materials, Structures and Techniques. Vilnius, 2004, 255-256 (full text on the CD-ROM).

Kulbach, V., Kivi, E. (2005). Analysis and design of suspension structures with yielding supports. Intern. Symp. on Lightweight Structures in Civil Engineering. Warsaw, 145-151.

Kulbach, V. (2006). Experience in solution of mounting problems of cylindrical vessels. The Metalwork in Civil Engineering. State-of-the-Art and Perspectives, Kyiv, 203-209.

Kulbach, V. (2007). Cable structures. Design and static analysis. Tallinn, 224 lk.

Kulbach, V. (2007). Kaabelkonstruktsioonidest Eestis ja maailmas TTÜ uurimistöde taustal. Teadusmõte Eestis (IV), Tehnikateadused (II). Tallinn, 49-63.

Kulbach, V. (2007). Pinnases liikuva vee mõjust liivnõlva struktuuri püsivusele. TTÜ Aastaraamat 2006. Tallinn, 373-383.



*Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku  
teadus- ja arendustöö eest*



*Tiina Talvik*

Sündinud 21.04.1938 Tartus

1956 Tartu 5. Keskkool

1962 Tartu Ülikool, arstiteaduskond

1973 meditsiinikandidaat, Tartu Ülikool

1992 meditsiinidoktor, Tartu Ülikool

1962–1968 Tartu Lastehaigla ja Tartu Lastepolikliiniku pediaater ja lasteneuroloog

1968–1975 Tartu Kliinilise Haigla meditsiinigeneetika labori geneetik, juhataja

Alates 1975 Tartu Ülikoolis: 1975–1991 neuroloogia ja neurokirurgia kateedri assistent ja dotsent; 1991–1999 pediatra kateedri juhataja, alates 1992 professor; 2000–2003 lastekliiniku pediatraia õppetooli juhataja ja lastekliiniku juhataja; alates 2003 lastekliiniku vanemteadur, emeriitprofessor.

Euroopa lasteneuroloogia hariduskomitee liige ja Eesti rahvuslik esindaja Balti Lasteneuroloogide Assotsiatsiooni president (1989–1995), alates 1995 asepresident

Eesti Inimgeneetika Seltsi juhatuse liige

Tartu Ülikooli Kliinikumi Kliinilise Eetika komitee esimees

SA Eesti Agrenska Fondi juhatuse esimees

1998 Eesti Vabariigi teaduspreemia (kollektiivi koosseisus)

1999 Aasta Ema

2002 Punase Risti I klassi teenetemärk

2004 Tartu medal

Avaldanud 139 teaduspublikatsiooni.

## ARSTINA TEADUSES

Alustades kirjutamist oma tegevusest ja teadustööst olin kergelt segaduses – kuidas kõike olulist kirja panna nii, et lugupeetud lugejal oleks huvitav lugeda ja ülevaade sisaldaks ka informatsiooni meie pikka aega kestnud teadustöö kohta. Selgus, et ülesanne on üsna komplitseeritud, aga püüan teha parima, et anda ülevaadet, mille eest mind elutöö teaduspreemia vääriliseks on peetud. Selles on paljudel osa – minu vanematel, õpetajatel, kolleegidel, koostööpartneritel, õpilastel, sõpradel, ülemustel ja kindlasti minu perel, kes sellel teekonnal on olnud alati koos minuga nii rõõmudes kui muredes.

Iga saavutuse puhul tuleks esitada küsimus – kust see kõik on alguse saanud? Kes on osalised ja kes kaasa aidanud? Üksi ei suudeta suurt midagi ära teha, kui just filosoof ei olda.

Geneetikuna olen üsna veendunud, et minu vanemad Liidia Tanimäe (Kõrts) ja Alfred Tanimäe mulle üsna head eeldused on kinkinud – suhteliselt hea mälu, mõtlemis- ja üldistusvõime, ilmselt ka “uudishimugeeni” ning õpetanud mind tööd tegema. Selle suure tunnustuseni olen jõudnud ka oma õpetajate prof E. Raudami ja dots L. Kerese suunamisel, kes oma tegevusega kindlasti elutöö preemiat oleksid väärinud.

Prof R. Zuppingu algatusel ja prof E. Raudami toel jõudsin tagasi Närvikliinikusse 1975. aastal, kus minu kolleegid ja sõbrad prof A. Tikk, dots M. Mägi, prof A.-E. Kaasik ja teised on olnud minu kritiseerijad ja arendajad. Kindlasti on eelmainitute kõrval minu praktilise meditsiini saavutustes osalised ka dr E. Roode-Krigul, dr H. Saar-Mägi, dr L. Ravis, dr. A. Kokk, dr. A. Paves ja paljud teised, kellega koos oleme muresnenud haigete laste pärast, otsinud õigeid diagnoose ja parimat ravi, tundnud kaotusvalu patsientide surma korral ja suurt rõõmu nende paranemisest. Viimasel ajal olen seoses mitme intervjuuga saanud aru, et arstitööd on raske kirjeldada ja hinnata.

Mis oleksid need kriteeriumid ja mõõdupuud?

Teadustööd on lihtsam hinnata kui arstitööd – ilmunud artiklid ja ajakirjade tase, tsiteeringute arv, doktorantide edukus jne. Samas on kliiniliste uurimistöödega terve rida probleeme, kuna need on seotud inimestega. Veelgi komplitseeritumad on lastega seotud uuringud (eetilised probleemid, vanemate valmisolek uuringutes osalemiseks jne). Eriti keerukad on epidemioloogilised uuringud, kuna need on seotud haigetega ja nende osavõtuga (kõigi haigete ülesleidmise ja uuringusse haaramisega), aga sageli ka Eesti väikese rahvaarvuga. Võtmesõnaks nende uuringute puhul on täpne diagnoos. Mõnede harvade haiguste korral on meie uuritavate arvud üsna väikesed, kuid tänu kõrgetasemelistele diagnoosimismeetoditele ja väga heale koostööle kõikide arstiabi etappide vahel (perearstid, spetsialistid II ja III etapis), on olnud võimalik teha kõrgetasemelisi epidemioloogilisi uuringuid, mis on võimaldanud saada täpse ülevaate mitmete haiguste levimusest Eestis, aga ka teha korrektsioone senistes arvamustes (Angelmanni/Prader-Willi sündroom, spinaalne lihastroofia, lapsea insult jt), lisades sellega rahvusvaheliselt olulisi uusi teadmisi. Meie uurimistöö edukuse aluseks on olnud väga hea koostöö baasteadlastega (molekulaargeneetikud, immunoloogid, mikrobioloogid, biokeemikud, geneetikud, radioloogid jt), mis on võimaldanud diagnoose täpsustada ja/või patogeneesi paremini mõista. Tuleb veel rõhutada, et kliinilistel uurimistöödel on suur tähtsus nii haigete käsitlemise parandamisel (uued ravimid, geeniteeraapia) kui ka riikliku meditsiiniabi teaduspõhisel planeerimisel. Seega toovad nad otsest kasu meie haigetele ja nende peredele.

Oluline on ka asjaolu, et uurimistöö käigus tekivad sageli patsientide ja nende perede ühendused, kus reeglina usaldusarstiks või konsultandiks jääb uuringu läbiviinud doktorant (näit K. Öunap – fenüülketoonuuria ühing, T. Reimand – Downi sündroomi ühing, E. Öiglane-Shlik – Prader-Willi sündroomi ühing,

jne). See on suur tunnustus noortele arstidele (doktorantidele) ning õpetab arste kuulama patsiendi ja tema pere häält, sellega arvestama.

Hiljuti said doktorantide juhendajad küsimustiku, mille eesmärgiks oli leida faktoreid, mis teeksid doktoriõppe paremaks ja edukamaks. Küsimus on tegelikult komplitseeritum ja väga individuaalne. Üks olulisemaid asju, mida doktorant või üldse uurija peaks silmas pidama, on uuringute täpsus ja aus lähenemine kogu uurimisprotsessile tervikuna. Doktorantuuri ajal peab toimuma arenguprotsess, mille kestel kõhklevast algajast uurijast saaks küps, iseseisvalt mõtlev teadlane ja arst. Selles protsessis peaks noor inimene õppima tundma teadusliku uurimistöö võimalusi, mis köidaksid teda elu lõpuni, ja õppima üle elama sellega seotud valusid. Selles protsessis on oluline osa juhendajal – tal peab jätkuma aega, aga ka kannatust ja optimismi, et igas olukorras doktoranti toetada. Iga juhendaja oskab kirjeldada rõõmu, mida ta koos doktorandiga tunneb, kui esimene artikkel vastu võetakse või viimane kaitsmiseks vajalik artikkel kiiresti trükki jõuab. Kindlasti meenub juhendajale sel ajal oma esimese artikli ajakirjas lugemise eriline tunne ja küsimus, kas tõesti mina kirjutasin selle huvitava artikli. Siiski, suurim rõõm on edukas kaitsmine ja hilisem edukus töös.

Küsimusele, miks mina praktilise arstitöö kõrvalt ka teadustööd olen tahtnud teha, on lihtne vastata – sellepärast, et uurimistöö on huvitav, lausa põnev ja annab võimaluse leida vastuseid seni teadmata või vähe teada küsimustele, lisada midagi sellist, mida varem ei teatud. Kindlasti parandavad uurimistööd haiguste diagnoosimisprotsessi Eestis ja haigete teadlikkust oma haigusest, andes neile kõige uuemat teavet haiguse kohta, aga ka provotseerib küsima: “Millal geeniteraapia juba tuleb?” jne.

Akadeemik R. Villems on ajalehes “Postimees” väitnud, et ühe eriala loomine ja arendamine väärib teaduspreemiat. Selles kontekstis on vist minu suurim panus lasteneuroloogias – selle tekkimises, arengus ja spetsialistide koolituses. Olen olnud osaline veel kliinilise geneetika ja usun, et ka pediaatria arengus meie vabariigis ning vähemal määral rehabilitatsiooni ideede maaletoomises ja esimeste arstide koolitamises (koos prof R. Talviku ja K. Gross-Pajuga).

#### KLIINILISES LASTEHAIGLAS 1962–1975

Pärast ülikooli lõpetamist alustasin 1. augustil 1962 tööd lastearstina Tartu Kliinilises Lastehaiglas.

Siin peaks ehk meenutama, kuidas minust, veendunud neuroloogist sai ülikooli lõpetamise järel lasteneuroloog. Tol ajal oli spetsialistiks saamise eelduseks osavõtt eriala üliõpilasringi tööst (olin ÜTÜ neuroloogiaringi liige 3 aastat ja sellest 2 aastat ringivanem), vabatahtlik töö “sellina” kliinikus kogenud arsti juures (enamasti õhtupoolikuti ja nädalavahetustel), mida ma ka innukalt tegin dr Eva Roode-Kriguli juures. Olin veendunud, et saan koha Närvikliinikus, uskudes siiralt, et Närvikliinik lausa vajab mind. Ehmatusega avastasin aga

määramiskomisjonis, et mulle pakuti neuroloogi kohta hoopis Põlvasse, mis tollal tundus Tartust kohutavalt kauge olevat ja hiljuti abiellununa otsustasin seda kohta mitte vastu võtta. Appi tuli dots Leida Keres, kes arvas, et minust võiks saada lasteneuroloog ja koos dr H. Kääriga viidi läbi minu Tartusse übermääramine. Selle otsusega pandi alus lasteneuroloogia arengule Eestis.

1. augustil 1962 asusin tööle Kliinilisse Lastehaiglasse pediatrina, 1964. aasta oktoobrist sai minust ametlikult lasteneuroloog, kuigi töötasin paralleelselt ka jaoskonna pediatrina, lasteaia- ja kooliarstina.

See periood minu elus on seotud lastehaiguste ja lasteneuroloogia õppimisega ja olen tänulik kolleegidele polikliinikus ja haiglas, kes mulle kunagi oma abi ei keelanud – olin esialgu üsna ebakindel ja küsisin palju.

1965. aasta kevadel soovitas dots L. Keres mul hakata tegelema geneetikaga, millest võiks saada uus uurimissuund, ja võtta kontakti A.-V. Mikelsaarega. Jutuajamine kinnitas taas kord dots Leida Kerese usku noortesse – oli ju A.-V. Mikelsaar alles äsja ülikooli lõpetanud. Seadsin sammud tookordsesse Kesklaborisse A.-V. Mikelsaare juurde, kes koos M. Sitskaga kromosoomi uuris, ning algas minu töö geneetikuna, tsütogeneetikuna, hiljem juba geneetika kabineti juhatajana Tartu Vabariiklikus (Maarjamõisa) Kliinilises Haiglas. Esialgu töötasin huvist asja vastu ja põhitöö kõrvalt (vabast ajast), hiljem juba ametlikult geneetikuna. See oli suur õppimise periood. Minu üliõpilaseks olemise ajal geneetikat ei õpetatud – küll olime teadlikud aretustööst Kostroma lehmadega, kus vasikatele koort jootes loodeti neid ka koort lüpsma saada jne. Peale geneetika tuli õppida ka kromosoomide uurimismetodeid, sageli katse-eksituse meetodil, periooditi oli puudus reaktiividest, mille saamisel olid abiks ka välismaal elavad sugulased. Kuna samaaegselt jätkasin tööd lasteneuroloogina, siis uurimist vajavatest patsientidest puudust ei olnud.

Ametlikult toimus geneetilise konsultatsiooni süünd – geneetilise konsultatsiooni keskuse loomine 1968 aastal ja see ei tulnud kergelt. Oli ilmunud NSV Liidu Tervishoiu Ministri käskkiri vastava teenistuse loomiseks, mida peos hoides koos A.-V. Mikelsaarega ministri poole pöördusime ja kohe eitava vastuse saime – see ei ole võimalik, raha pole jne. Selge äräütlemine vihastas ja solvas mind sedavõrd (ajasime ju head ja õiget asja), et sealsamas trepil lohutamatumalt nutma puhkesin. Ministri asetäitja dr Kama uks avaneks, küsiti mu lohutamatumate pisarate põhjust, millele üsna närviliselt vastasin, et geneetilist konsultatsiooni ei vaja mina isiklikult, vaid eesti inimesed ja keeldumine näitab mõistmatust. Tulemus osutus ootamatuks – üsna pea ilmus käskkiri, mis korraldas geneetilise konsultatsiooni teenistuse loomise koos vastava isikkoosseisuga (juhataja, õde, laborant, hiljem lisandus veel ametkohti). Seega võin uhkust tunda, et olen geneetilise konsultatsiooni loomise osaline ja esimene konsultant Eestis. Tagantjärele vaadates tundub see aeg eriti põnevana – valmistus uutest teadmistest ja leitud kromosoomide aberratsioonidest. Sellest perioodist pärineb minu huvi ja armastus geneetika vastu ja arvatavasti ka inimese kui terviku tunnetamine.

Minu esimene uurimistöö (1973. a detsembris kaitstud kandidaadiväitekirj) oli esimene selleteemaline dissertatsioon terves Nõukogude Liidus ning seda tsiteeriti virgalt. Uurisime tsütogeneetilisel meetodil vaimse alaarengu põhjusi lastel, kellel oli 3 või enam mikroanomaaliat erinevatel kehaosadel ja leidsime kromosoomianomaaliaid, peamiselt struktuurianomaaliaid 32,5% uuritutest. Neid kriteeriume oleme kasutanud valikkriteeriumina/näidustustena kromosoomide uurimiseks tänaseni ja nad töötavad hästi. Uurisime tol perioodil ka vaimse alaarengu ja kromosoomide arvu anomaaliatega laste vanemaid, mis tänapäeval on näidustatud peamiselt struktuuri anomaaliatega korral. Leidsime ja kirjeldasime kromosoomide variante arvu-anomaaliatega laste vanematel, mida pidasime tookord kromosoomide lahkemishäirete võimalikuks põhjuseks. Leidsime uusi (varem vähekirjeldatud või üldse kirjeldamata) kromosoomi- aberratsioonide, perekondlike translokatsioonide, mille levimuse kindlaks tegemiseks sugukonna piires pidime sõitma mööda Lõuna-Eesti külasid, et üles leida vanaprouad ja -häräd, võimalikud balansseeritud translokatsiooni kandjad. See läks meil üsna hästi korda tänu Maarjamõisa haigla autojuhtidele, kes olid meie väsimatud abimehed. Arenguks olulised olid ka hilisõhtused mõtisklused geneetika tulevikust, meeskondlikud uurimisretked lastekodudesse, kus uurisime lapsi ja kogusime verd täpsustavateks uuringuteks.

Püüdsime saavutusi publitseerida ja see õnnestus meil üsna hästi, peamiselt ajakirjades *Humangenetik* ja *Soviet Genetics*.

Paljudel juhtudel jäi tookord lapse alaarengu põhjus siiski selgitamata, tagantjärele oleme diagnoosinud nendel haigetel Prader-Willi sündroomi jt haigusi. Iga kromosoomi- aberratsiooni leid tekitas meis vaimustust ja oli abiks patsientidele ja nende vanematele arenguhäire põhjuse selgitamisel. Sünnieelse diagnostika puudumine oli suur probleem nii perekondlike translokatsioonide kui ka teiste pärilike haiguste korral (spinaalne lihaskatroofia I jt) ja sageli seisnes meiepoolne abi vaid selgitustes ja toetuses. Tänapäeval on tänu M. Sitska aktiivsele ja järjekindlale tegevusele olemas sünnieelne nõustamine ning hoopis teised konsulteerimisvõimalused kui 1970ndate aastate keskel.

Avaldasime 12 teadusartiklit, sh 7 üleliidulises ajakirjas *Soviet Genetics* (CC tõlge), millest 2 on refereeritud CCs, samuti konverentside ettekandeid ja artikleid TÜ arstiteaduskonna toimetistes ja konverentsimaterjalides.

Tähtsamad artiklid sellest perioodist [Kaosaar jt, 1976; Mikelsaar jt, 1975; Talvik jt, 1973ab; Mikelsaar, Talvik, 1969].

## NÄRVIKLIINIKUS 1975–1991

Pärast kandidaadidissertatsiooni kaitsmist ja kinnitust Kõrgemas Attestatsiooni Komisjonis kutsus prof E. Raudam mind 1975. aastal prof R. Zuppingu soovitusel neuroloogia ja neurokirurgia kateedrisse, põhjendusega, et olen pisut teistmoodi kui nemad. Loodan, et peeti silmas minu lasteneuroloogia ja geneetika huvi, mitte minu kalduvust palju naerda. Esialgu töötasin assistendina,

hiljem sain dotsendi kutse. Kuna tudengina olin pidanud end NÄrvikliiniku perre kuuluvaks ja ka sõpruskond oli NÄrvikliiniku päritolu, siis nimetaksin seda perioodi “tagasi NÄrvikliinikusse”.

Tulin NÄrvikliinikusse üsna kogenud lasteneuroloogina, omades ka geneetika alaseid teadmisi ja piisavalt iseteadvust, et selles tarkade, enamasti meessoost neuroloogide seltskonnas toime tulla. Hakkasin õpetama pediaatria osakonna üliõpilastele neuroloogiat – lasteneuroloogiat, kuid õpetasin hea meelega ka raviosakonna üliõpilasi, eelistades õpetada poiste rühmi, kuna nendega oli huvitavam. Üsna pea hakkasin lugema meditsiinilist geneetikat nii ravi kui pediaatria osakonna üliõpilastele. Pediaatria osakonna üliõpilased pidid eksamikis koostama pere sugupuu ja mõni tegi seda lausa briljantselt koos fotode ja hulgalise informatsiooniga. Püüdsin ärgitada noori huvi tundma oma pereloo vastu ja mitte ehmuma, leides suguvõsas arenguhäireid või krooniliselt haigeid inimesi ja loodan, et nii mõnigi sai sellest geneetikaga tegelemiseks innustust.

Neurogeneetiku tunnistuse sain oma arvates siis, kui dr L. Rivis – meie kogenuim pärilike närvahaiguste tundja – mind puhkuselt tulles tervitas ja ütles: “Ootas juba Teid – mul on üks haige, keda tahaksin Teiega arutada”. Olin väga rõõmus ja uhke sellise tunnustuse üle, sest siiani olime kõik just tema konsultatsiooni vajanud.

NÄrvikliinikus avati lasteneuroloogia osakond (1975 oktoobris), mis tõi kliinikusse “uued” diagnoosid – tserebraalparalüüs, Retti sündroom, Gilles de la Tourette’i sündroom jne, aga tekitas sageli ka tuliseid vaidlusi, kuna lasteneuroloogid olid nende esmadiagnostid. Esimene Gilles de la Tourette’i sündroomiga haige demonstratsioon NÄrvikliinikus – olime selle diagnoosinud dr T. Virro abiga ja ise väga uhked uue diagnoosi üle – lõppes sellise kriitikaga, et ettekande esitaja (H. Põder) nuttes puldist lahkus ja mina diagnoosi õigsust põhjendama jäin. Üsna pea harjuti aga uute diagnooside ja meie sooviga järjest uusi diagnoose panna.

Alustasime kohe ka arstide täiendõppega, mida püüdsime esialgu anda juba töötavatele neuroloogidele ning paljud neist alustasid üsna pea laste vastuvõttudega. Edasi tulid juba Moskvas või Leningradis koolitatud lasteneuroloogid, kellega jõudsime täiendõppe käigus ühtsetele seisukohtadele. Suutsime meie vabariigis ära hoida “sünnituse käigus tekkiva seljaaju trauma” epideemia (esines kuni 85% vastsündinutest), mis teatud perioodil levis prof A. Ratneri (Kaasan) vahendusel üle kogu NSV Liidu ja tekitas palju valediagnoose ja teisi mitteteaduspõhised diagnoose (minimal cerebral dysfunction jt). Seega, arstide täiendkoolitused hoidsid ära mitteteaduspõhiste teadmiste levimise meie vabariigis ja liitsid lasteneuroloogide pere ühtseks sõbralikuks meeskonnaks, millele aitas kaasa minu pealasteneuroloogi amet. Vähetähtis polnud prof E. Raudami, õppetooli liikmete ja paarast L. Karu toetus kõigile nendele üritustele ja ettevõtmistele.

Olles pidevalt vaimustatud oma erialast, püüdsin ka üliõpilastes tekitada huvi uurimistöö vastu ning see läks mul vist päris hästi korda. Tudengid tegid mitmeid konkursitöid, mille lõppspurdi ajal istusime sageli koos hilisööni või ööläbi Närvikliinikus, et tööd valmis saaks. Nii mõnigi kord tuli meestel naistele süüa järele tuua, et nad hommikul õppetööle jõuaks minna. Valmisid auhinnatud tööd “Neuromuskulaarsed haigused Eestis”, “Hereditaarsed neuropaatiad Eestis”, “Ataksiad”, “Kaasasündinud refleksid ja nende tähtsus”, “Hemiparees lapseas”, mis kõik said I auhinna, viimased 2 suunati üleliidulisele konkursile, millest üks sai auhinna, aga teine läks lihtsalt kaduma.

Õpetamine on kindlasti suur privileeg, mis võimaldab noori, nende võimeid ja soove tundma õppida ning tekitada huvi “oma eriala” vastu. Õpetasin noori andekaid inimesi, kellest nii mõnigi juba tudengina lasteneuroloogiast ja teadustööst huvitus. Minu esimene õpilane oli Haide Pöder, järgnesid Irja Lutsar, Anneli Kolk, Malle Mälksoo-Hämarik jt.

Tserebraalparalüüsi diagnoosi puhul oli täiskasvanute neuroloogidel esialgu raske aktsepteerida, et haigusel on kerged ja rasked vormid, nagu ka asjaolu, et arendustegevus võib olla edukas. Kindlasti andis selleks põhjust kirjanduses levinud arvamus, et tserebraalparalüüsil on ainult rasked vormid ja mingit paranemist/kompensatsiooni ei toimu, jne. Vaidlustes püüdsin selgitada ja põhjendada oma seisukohti südameinfarkti näitel, kus patsient pärast rasket infarkti ellu jääb ja mõnikord üsna tubli on. Uute diagnoosidega harjuti tasapisi ja rahuldust pakkus seik, kus dr H. Tulmin visiidilt tulles mulle teatas, et tema 45 aastasel patsiendil “on küll tserebraalparalüüs” või kui prof A. Tikk pärast minu järjekordset “valgustavat loengut” mulle teatas, et neurointensiivis lamab koomas haige, kellel vist on Klinfelteri sündroom – ja nii see oligi – patsiendil oli kariotüüp 47, XXY.

Rahvusvaheliselt oli levinud kontseptsioon tserebraalparalüüsist kui “vihmarvarju diagnoosist”. Aktsepteeritud definitsioon [Bax, 1964] võimaldas diagnoosida tserebraalparalüüsi põhjusest olenemata kõikide motoorika häirete korral, mis olid tekkinud esimese viie eluaasta jooksul. See kontseptsioon polnud meile vastuvõetav, sest ainult haiguse põhjuse teadmine loob eelduse edukaks raviks, käsitluseks, riskitegurite väljaselgitamiseks ja nende vältimiseks. Tserebraalparalüüsiga lapsi ravides saime aru, et oleme protsessi lõpus ehk tagajärje juures, aga meil on vaja minna alguse juurde. Meie tööhüpetees oli, et tserebraalparalüüsi põhjus on aju hüpoksilis-isheemiline kahjustus perinataalses perioodis (paljudel vastsündinutel oli olnud nabanöör ümber kaela, jäsemete, keha, jne), otsustasime selle tõestamiseks vastsündinuid uurima asuda.

Uuringutega alustamiseks esitasime järgmised küsimused: miks, millal ja millise lokalisatsiooniga tekib lastel ajukahjustus, mis kliiniliselt väljendub kaugtagajärjena tserebraalparalüüsi mitmete vormide kujul, vaimses arengus mahajäämuse, õpiraskuste ja/või epilepsiana? Kuidas seletada difuusse asfüksia (aju



hapnikuvarustuse häire) korral sellist lokaalset ajukahjustust nagu hekiparees (ühe kehapoole nõrkus/osaline halvatus) ehk kehtinud klassifikatsiooni järgi tserebraalparalüüsi hemipareetiline vorm? See peaks olema tingitud ajuinsuldist? Kui kolleegidega arutasime, kuidas saaksime tõestada insuldi teket vastündinutel (kirjanduses sel ajal veel sellekohased artiklid puudusid), arvas prof K. Põldvere, et selleks oleks vaja laste aju uurimise instituut teha, mis meile kõigile tookord liigse unistusena tundus või jäime lihtsalt raskusi kartma. Kui oleksime instituudi teha saanud, kes teab, kui kaugel oleksime praegu oma uuringutega. Oleksime ehk juba ammu teadnud, millal ja miks tekib vastündinul ajuinsult ning kuidas seda võimalikult varakult ära tunda.

Võtaksin selle perioodi teadustöö kokku alljärgnevalt:

Asfüksiast hüpoksilis-isheemilise entsefalopaatia/HIE) ja tserebraalparalüüsini (paralysis cerebri infantilis PCI).

Vaatamata edusammudele arstiabis on perinataalne asfüksia ja sellest tingitud hüpoksilis-isheemiline entsefalopaatia (HIE) [Sarnat, Sarnat, 1976] jäänud üheks olulisemaks vastündinute haiguseks suhteliselt suure sageduse, suremuse ja tõsiste kaugtagajärgede tõttu (tserebraalparalüüs, epilepsia, vaimse arengu probleemid jne [Villani jt, 2003; Du Plessis, Johnston, 1997; Nikas jt, 2008]).

Meie uurimisgrupi vastündinute asfüksiaga seotud uurimistöö kujutab endast üle 30 aasta kestnud ja jätkamist vajavat ajaliste ja enneaegsete laste uurimisprogrammi (alates 1976 tänaseni), alguses (kuni 1989) koostöös prof A.-E. Kaasikuga. Asfüksias sündinud ajaliste ja enneaegsete vastündinute uurimise ning vastavate järelduste tegemise tulemused on kindlasti mõjutanud asfüksiast sündinud vastündinute käsitlust Eestis ja seega ka raskete närvisüsteemi kahjustuste osakaalu vähenemist.

Asfüksia uuringuid alustades olime enda jaoks välja töötanud uuringusse lülitamise ja väljajätmise kriteeriumid. Uuringusse võtsime ainult asfüksias sündinud lapsed. Mikroanomaaliate ja suurte arenguanomaaliate, infektsioonide ja muude haigustega vastündinuid uurimisgruppi ei lülitatud, et uurida just asfüksia mõju vastündinule ja neuroloogilistele kaugtulemustele (jälgimine oli prospektiivne 3-kuuliste vahedega ja aastavanuses tehti esimene kaugtulemuse protokoll).

Hüpoksilis-isheemilise entsefalopaatia (HIE) [Sarnat, Sarnat, 1976] kui diagnoosi tuvustamine ja kriteeriumide sisestamine Eestis on samuti seotud meie uurimisgrupi tööga, laialdaselt kasutusel ja võimaldab oluliselt paremini hinnata vastündinu seisundit (kandidaadidissertatsioonid A. Tammperre-Kolk 1984, M. Hämarik 1988, A. Sööt 1989, juhendatud koos A.-E. Kaasikuga). Tuleb rõhutada, et rahvusvahelisel tasemel HIE diagnoosi kasutamise võimalust enneaegsetel vastündinutel tutvustasime esmakordselt samuti meie – [Talvik jt, 1995] ja A. Söödi dissertatsioon (1989) – tuginedes kreatiinkinaasi isoensüümi BB uuringutele liikvoris (seljaajuvedelikus).

Esimeseks uurimisprojektiks oli happe-aluse tasakaalu uurimine asfüksias sündinud vastsündinutel (A. Tammperre-Kolk 1984, juhendatud koos A.-E. Kaasikuga), kus uurisime happe-aluse tasakaalu nii veres kui liikvoris. Uuringu tulemused näitasid, et atsidoos oli liikvoris enam väljendunud neil vastsündinutel, kellel hiljem kujunes välja raske ajukahjustus. Samuti kujunes raske ajukahjustus neil vastsündinutel, kellel esines alkaloos. Samal ajal esines neil lastel ka glükolüütiliste ensüümide aktiivsuse tõus.

Uurisime katehoolamiine (koostöös prof A. Pajuga) määrates adrenaliini (epinefriini) ja noradrenaliini (norepinefriini) kontsentratsiooni nabaväädi veres asfüksias sündinud hüpoksilis-isheemilise entsefalopaatiaga ja tervetel vastsündinutel (M. Mälksoo-Hämariku kandidaaditöö 1988, kaasjuhendaja prof A.-E. Kaasik). Leidsime, et epinefriini ja norepinefriini kontsentratsioon oli tõusnud kõigil asfüksias sündinud lastel. Huvitavaks leiuks oli, et epinefriini ja norepinefriini kontsentratsioon ei sõltunud raseduse kestvusest, mis kaudselt andis tunnistust adrenaalsüsteemi varasest küpsemisest. Huvitavaks leiuks oli epinefriini ja norepinefriini kontsentratsiooni tõus kerge ja keskmise raskusega HIE korral ja kontsentratsiooni langus raske HIEga vastsündinutel, mida pidasime informatiivseks ja varaseks raske ajukahjustuse tunnuseks (määratav nabaväädi veres võimalikult varase raviga alustamiseks).

Kui 1980ndate algul ilmusid artiklid kreatiinkinaasi isoensüümist BB (CK-BB) kui suhteliselt spetsiifilisest ajukoore proteiinist ja S. Haldre oli metoodika välja töötanud, lülitasime selle oma asfüksia uuringuprogrammi.

Uurisime CK-BB kontsentratsiooni enneaegsel ja ajalisel vastsündinul teisel või viiendal elupäeval ning leidsime, et H. Sarnati ja M. Sarnati poolt pakutud – hüpoksilis-isheemiline entsefalopaatia (HIE) kliiniline sümptomkompleks oma raskusastmetega on hästi kasutatav ka enneaegsetel vastsündinutel.

Kliiniliselt diagnoositud HIE raskusastmed enneaegsetel korreleerusid CK-BB isoensüümi kontsentratsiooni tõusuga. Oma uuringuga suutsime esimestena tõestada H. Sarnati ja M. Sarnati skoori kasutamise võimalikkust enneaegsetel (A. Sööt'i dissertatsioon 1989; [Talvik jt, 1995]). Samuti tõestasime, et CK-BB kontsentratsiooni määramine liikvoris võimaldab varajase ajukahjustuse hindamist nii ajalistel kui enneaegsetel vastsündinutel. Seejuures näitasid meie andmed veenvalt, et CK-BB kontsentratsiooni muutused liikvoris peegeldasid ajukahjustuse ulatust paremini kui seerumi CK-BB. Oluline oli ka fakt, et CK-BB isoensüümi tõus oli suurem enneaegsetel, mida seletasime vastsündinu neuronite membraanide suurenenud permeaabluse ja/või ajutursest tingitud gliiakoe kahjustusega. Samuti esines statistiliselt oluline korrelatsioon CK-BB kontsentratsiooni tõusu ja terve rea kaasasündinud reflekside vahel – kaitse-, haarde-, roomamisrefleks puudusid või olid oluliselt madalamad kõrge kreatiinkinaasi isoensüümi BB kontsentratsiooni korral, mis tõestas nende lihtsate reflekside uurimise informatiivsust ja tähtsust.

Meie uurimistöö tulemused näitasid, et kreatiinkinaasi isoensüümi BB kontsentratsioon oli prognostiliseks markeriks tserebraalparalüüsi kujunemisel [Talvik jt, 1995]. Samuti osutus kreatiinkinaasi isoensüüm BB heaks markeriks ajukahjustuse raskuse hindamisel neuroinfektsioonide korral (I. Lutsari dissertatsioon 1995; [Lutsar jt, 1994]).

Kreatiinkinaasi isoensüümi BB uuringud on jätkuvalt huvi pakkuvad ja viimase aja uuringud on tõestanud nende kuulumist suurde proteiinide kompleksi ja seotust Golgi aparadi funktsioneerimisega [Bürklen jt, 2007].

KOKKUVÕTLIKULT. Kolme esimese uurimistööga olime tõestanud, et Apgari hinne on informatiivne vastündinu seisundi hindamisel ja Apgari hinne (10 palli süsteem vastündinu seisundi hindamiseks – nahavärv, südametegevus, reflektoorne tegevus, lihastoonus, hingamine) 7 või <7 viiendal eluminutil viib vastündinu riskigrupi. Kui tänaseks on samad kriteeriumid rahvusvaheliselt kasutusel (Apgari hinne <7 viiendal eluminutil), siis meie uuringute algperioodil oli kriteeriumiks Apgari hinne <5 või <3 ja meil tuli veenda retsensente oma seisukohtade õiguses. Olime tõestanud, et asfüksia põhjustab happe-alus tasakaalu häireid – atsidoosi, mis on tänasel päeval rutiinuuringuks asfüksia diagnoosimisel. Tõestasime, et hüpoksilis-isheemilise entsefalopaatia (HIE) diagnoos koos raskusastmetega on informatiivne vastündinu seisundi hindamisel ja omab prognostilist tähtsust ning on kasutatav ka enneaegsetel. Sel perioodil ilmunud olulisemad CC artiklid [Tampere jt, 1985, 1987; Mälksoo jt, 1988].

Õppejõuna Närvikliinikus töötades tundus mulle alati, et just kõige targemad ja toredamad üliõpilased hakkasid huvituma nii neuroloogiast kui lasteneuroloogiast. Kuna õppejõu roll oli tunduvalt vahetum kui täna, siis kujunesid õppejõudude ja üliõpilaste vahel üsna kiiresti sõbralikud ja üksteisest hoolivad suhted, mis mõnedel juhtudel kestavad siiani ning endisi tudengeid kohates tunded erilist rõõmu. Tänapäeval, paljus internetipõhine ja kirjalikke eksameid soosiv süsteem on oluliselt vähendanud õppejõu kui isiksuse rolli ja muutnud pinnapealsemaks õppejõu-üliõpilase suhted.

Tänu vabariigi peaneuroloogi ametile oli mul võimalus tutvuda ja ka sõbraks saada paljude tolaeagsete NSV Liidu tippspetsialistidega, nagu professorid M. B. Zucker, E. I. Jampolskaja, B. V. Lebedev, L. O. Badaljan, K. A. Semjonova. Sain kutsuda neid Eestisse loenguid pidama, oponeerima, haigeid konsulteerima jne, mille tulemusena oli neil võimalus kujundada arvamusi meie kliinilisest kogemusest, teadustööde kvaliteedist ja kokkuvõtlikult eesti lasteneuroloogiast üldse. See kujunes väga positiivseks, mille tõttu valiti mind Üleliidulise Lasteneuroloogia Probleemkomisjoni liikmeks (üldse 11 liiget).

Minult on mõne viimase intervjuu ajal küsitud suhete kohta Moskva ja Leningradi tippspetsialistidega. Mina julgen küll kinnitada, et ei Eesti geneetikud ega lasteneuroloogid suures Nõukogude Liidus pole tundnud iialgi üleolevat kohtlemist, pigem vastupidi. Meist peeti ja peetakse lugu siiani. Meie Mosk-

vasse pöördunud patsiendid said sealt soovitusel minna järgmine kord Tartusse, kus on head spetsialistid ja suurepärased diagnoosimise võimalused. See oli tore ja süvendas vastastikust usaldust.

Seoses Tartu Ülikooli juubeliga sai Närvikliinik 1982. aastal tänu professor E. Raudami aktiivsele tegevusele esimese kompuuter-tomograafi (KT) (peale selle oli veel üks KT Moskvas). Pildiagnostika muutis oluliselt aju morfoloogiliste muutuste uurimisvõimalusi paljude haiguste korral. Teiste haiguste kõrval otsustasime uurida ka tserebraalparalüüsiga haigeid, et saada ülevaade haiguse olemusest. Kuna olime tegelenud tserebraalparalüüsi diagnoosimisega aastaid, siis huvitas meid kliinilise leiu korrelatsioon aju morfoloogiliste muutustega. Kliiniliselt lapsi uurides määrasime täpselt ka mootorika häire asümmeetrilisuse ja raskusastme, mida oli varem teinud vaid üks uurimisgrupp (E. Blair, F. Stanley). Aju morfoloogiliste uuringute tulemused kinnitasid korrelatsiooni kliinilise leiu, selle raskusastme ja morfoloogiliste muutuste vahel.

Meenub üks huvitav juhtum. Meie endine üliõpilane, kes töötas Riias juba aastina, palus konsulteerida üht asfüksias (madal Apgari hinne) sündinud last, kes oli arengus mahajäänud. Lapsel oli kehatüve ataksia, elavate refleksidega lihashüpotoonia ja oluline frontaalne atroofia (KT). Atoonilis-astatilise tserebraalparalüüsi (Foersteri sündroom), mõtlesin ja otsisin kiiresti välja meil diagnoositud atoonilis-astatilise tserebraalparalüüsiga laste KT pildid – ja nii see oligi! Leidsin Ülikooli raamatukogust üles O. Foersteri 1910. aasta artikli, kus ta kliinilist leidu põhjendas frontaalsagara atroofia ja intaktse väikeajuga. Kirjandusest aga leidsin, et vaid üks autor – K. A. Semjonova, oli kirjeldanud fronto-temporo-pontiinsete juhteteede kahjustust atoonilis-astatilise sündroomi korral. Teised, ka paljud tuntud välisautorid (N. Gordon), pidasid seda sündroomi väikeajuga seotuks ja veel üsna hiljuti kirjutati pärilikust tserebellaarsest tserebraalparalüüsist. Seega on olnud ja on tserebraalparalüüsi diagnoosiga palju segadust. Uuringute tulemusel jõudsimme järeldusele, et ajukahjustuse lokaliseerimine sõltub loote/vastsündinu vanusest – kas ajaline või enneaegne imik, st kahjustus lokaliseerub enneaegsetel tagasarvede piirkonda. Atoonilis-astatilise sündroom esineb vaid ajalistel lastel. Samale tulemusele jõudsimme uue uuringuga 2007./2008. aastal [Sööt jt, 2008]. Jõudsin ka järeldusele, et tserebraalparalüüsi kahe erineva vormi – diplegia spastica ja hemiplegia bilateralse puhul on tegemist lihtsalt erineva kahjustuse ulatusega (raskusega). Samuti leidsime, et mootorika asümmeetria peegeldas asümmeetrilist ajukahjustust. Oluline on rõhutada, et meie uuringugrupis ühelgi lapsel ei esinenud olulisi ajuarengu häireid, mis oleks viidanud ajukahjustusele varases looteas, millele viitas K. Nelsoni (Bethesda, USA) oma artiklites. Meie uuringud viitasid sellele, et kahjustus tekib perinataalses (ülekaalukalt sünnituse käigus) perioodis. Oma seisukohti kaasasündinud hemipareeside (neonataalne insult) ja omandatud hemipareeside (lapsea insult) vaskulaarsest geneesist avaldsime artiklis [Talvik jt, 1987].

Sel perioodil ilmunud CC trükised [Talvik jt, 1987, 1989; Tomberg jt, 1989].

Lasteneuroloogia arengule kõigis Balti riikides aitas kaasa Balti Lasteneuroloogide Assotsiatsioon (BCNA), mis loodi 1990. a Tartus ja mille president või aspresident olen olnud siiani. 1991. aastal oli esimene Rahvusvaheline konverents Tartus tipptegijatega Euroopast ja Ameerikast (K. Nelson, M. Bax, J. Aicardi, B. Neville, A. Kohlshütter jt) ning edasi 2-aastaste vahedega – pärast Tartut Riias, Kaunases jne. Esimeste konverentside organiseerimisel oli meie osa väga suur (korduvad koosolekud Riias, Kaunases).

Olime uuringutega jõudnud sinnamaale, et otsustasime oma teooriaga – tserebraalparalüüs (PCI) on perinataalne ajukahjustus – esineda I Rahvusvahelisel konverentsil. Karin Nelson (Bethesda, USA) kritiseeris üsna teravalt meie seisukohta, et tegemist on perinataalses perioodis tekkinud ajukahjustusega, sest tema arvates oli vaid ~5% sellise geneesiga. K. Nelsoni jt perinataalse programmi seisukohalt võis asfüksiat diagnosida vaid nendel lastel, kelle Apgari hinne on 3 või alla selle ja et 85% juhtudest toimub ajukahjustus varases looteas, ehk teisisõnu – teha pole midagi. Kindlasti olid need seisukohad to hetkel tingitud USA süsteemist, sest perinataalse asfüksia diagnoos võis naisterarsti kohe viia süüdlasena kohtusse. Jäime oma seisukohtade juurde, kehtestasime Balti riikides konsensusena definitsiooni: “Tserebraalparalüüs on perinataalses perioodis tekkiv, ülekaalukalt hüpoksilis-isheemilise või hemorraagilise geneesiga mitteprogresseeruv motoorika häire” (T. Talviku dissertatsioon 1992). Hiljem oleme juhtinud uurijate tähelepanu sellele, et 21. sajandil tserebraalparalüüsi diagnoosi kasutamine “vihmavari diagnoosina” on lubamatu, sest nõuanded riski suurusest järgmise raseduse korral olenevad põhjustest (pärilik haigus?, hüpoksia?). Tunnistamine, et tserebraalparalüüsi põhjus on hüpoksilis-isheemiline ajukahjustus raseduse lõpul või sünnituse ajal, võib suunatud sekkumisega oluliselt vähendada ägeda hüpoksilise ajukahjustuse tekkimist vastsündinutel ja seega ka tserebraalparalüüsi, eriti selle raskeid vorme [Talvik jt, 2003; Sööt jt, 2008]. Meie seisukohtade õigsust on tänaseks kinnitanud hiljutised uuringud.

Minu arvates ilmus revolutsiooniline artikkel [Covan jt, 2003], mis toetas meie seisukohti täielikult, 2003. aastal Lancetis. Autorite hüpotees – “ajukahjustus toimub looteas” – ei kinnitunud ja uuring tõestas entsefalopaatiaga lastel magnetresonants-tomograafilisel uuringul ja/või lahingul ägeda hüpoksilis-isheemilise ajukahjustuse olemasolu ja krampide korral ajuinsulti.

Mina olin jõudnud selleni 1980ndate lõpuks/1990ndate alguseks.

Milleks sellest rääkida? See on oluline noortele – meie seisukohad võivad olla õiged ka siin väikesel Eestimaal, kui oleme uuringud korralikult teinud ja kõik hästi läbi mõelnud.

BCNA osa kokku võttes võib väita, et meie poolt korraldatud konverentsid tõid Baltimaadesse lasteneuroloogia tipud tervest maailmast ja me kandsime end Euroopa ja maailma lasteneuroloogia kaardile, kuna olime virgad esinejad ja meie teadustulemused usaldusväärsed.

Kahtlemata aitasid sellele kaasa BCNA raames erinevates riikides (Eestis, Lätis ja Leedus) tehtud koolitused (vähemalt 2 korda aastas), mis kujundasid Balti lasteneuroloogid suureks sõbralikuks pereks. Suureks abiks koolitustel olid Soome lasteneuroloogid, eriti minu hea sõber prof Pirkko Santavuori.

#### LASTEKLIINIKUS 1991(2003)–2007

Mind valiti pediaatria õppetooli juhatajaks 1991.aastal. Tean, et oli kahtlejaid ja vastaseid. Nüüd, tagantjärele vaadates, tundub ka mulle, et tulin üsna hästi toime, mida on mulle kinnitanud ka minu õpetaja ja eelkäija dots Aino Paves ja teised minu õpetajad ja kolleegid.

Toime olen aga tulnud sellepärast, et Lastekliinikus töötavad väga tublid ja armsad inimesed, alustades arstidest ja õdedest kuni hooldajate ja majandusmeesteni välja. Kõik ühiselt püüavad kindlustada lastele parimat ravi ja hooldust, teha kõik selleks et laps tunneks ennast kliinikus turvaliselt ja saaks võimalikult ruttu ja tervena koju.

Lastekliinikusse tulles seadsin eesmärgiks kasvatada igal pediaatria lisaerialal 2–3 spetsialisti ja vähemalt üks, soovitatavalt kaks, kraadiga inimest. See eesmärk oli üsna komplitseeritud, sest uurimistöö pidi olema seotud tulevase erialaga, et uurimistöö kogemusele lisanduksid süvateadmised haiguse (haiguste) patogeneesist, etioloogiast, jne, kuid tuleks kasuks ka praktilisele meditsiinile (haigete käsitus, jne) ja tervishoiule (arstiabi planeerimine). Tagantjärele vaadates tundub, et suuremas osas õnnestus ka eesmärk täita või vähemalt poolele teele jõuda. Mul on rõõm ja au olla 14 lõpetatud dissertatsiooni juhendaja või kaasjuhendaja, neist 3 kandidaadidissertatsiooni Närvikliinikus ja 11 doktoridissertatsiooni Lastekliinikus. Lisaks kaitsti Lastekliinikus minu õppetooli juhatajaks olemise ajal (1992–2003) 5 doktoridissertatsiooni (sh minu doktoridissertatsioon 1992).

Lastekliinikusse tööle asudes püüdsin jätkata head õpetamistaset, mis on aastakümneid olnud selle kliiniku traditsioon. Küll aga tegime muudatusi ja täiendusid. Kui eksamil avastasin, et tudengid ei loe kirjandust, viisime eksamil sisse konverentsi, et õpetada “lugemist, loetu analüüsimist ja ettekande tegemist”. Viisime eksamil sisse ka üliõpilaste poolt praktikumide vältel omandatud praktiliste oskuste kontrolli. See muudatus leidis positiivse hinnangu tudengite poolt. Juba hiljem viisin sisse uudse seminari, kus osalevad krooniliste haigustega laste emad, et anda üliõpilastele edasi ka “teise” poole tundeid ja mõtteid. Kokkuvõtlikult võin öelda, et üliõpilased jäid meiega rahule ja mul oli mitmel aastal au olla valitud 4–5 õppejõu hulka, kes võisid lõpetajatele oma lühivormis soovida kaasa anda.

Oluline osa lastekliiniku edus on olnud ka prof Bengt Björksténil (praegu TÜ audoktor), kelle kutsusin Tartu Ülikooli arstiteaduskonna pediaatria õppetooli külalisprofessoriks 1995. a ning kes oli üldse esimene külalisprofessor arstiteaduskonnas. Prof B. Björksténi eestvõtmisel loodi lastekliinikus elujõuline, siia-

ni edukas allergia teadusliku uurimise grupp, mis koostöös TÜ mikrobioloogia instituudiga arenes rahvusvaheliselt tunnustatud uurimisgrupiks. Prof B. Björksténi algatusel ning minu ja prof Raul Talviku toel loodi esimene “doktorikool”, kus doktorandid arutasid oma uurimistöö metoodikaid, eesmärgi jm ning kus õpiti tegema ettekandeid ja kirjutama artikleid. Prof B. Björksténi juhendamisel on kaitstud 4 doktoridissertatsiooni (M. Vasar, K. Julge, T. Annus, T. Voor).

Oma varem alustatud dissertatsioonid kaitsesid edukalt Oivi Uibo (1994), I. Lutsar (1995) ja Heli Grünberg (1998). Olime avatud noortele uurijatele ja tänu arstiteaduskonna juhtkonna abile oli paljudel noortel võimalik alustada uurimistööga just meie kliinikus. Üks esimesi uurimisteemasid oli “Lapseepilepsia: haigestumus ja levimus” (Anneli Beilmanni dissertatsioon 1999). Doktoritöö käsitles epilepsia levimust, haigestumusmäära ja kliinilisi ilminguid lastel ja kuni 19 a noortel Eestis aastatel 1995–1997. Epilepsia levimusmäär levimuspäeval (31.12.1997) oli 3,6 : 1000. Haigestumusmäär oli 45 : 100 000 aastas. Epilepsia põhjus selgus 40%-l levimusjuhtudest. Kõige sagedamini – 23,6%-l, olid põhjuseks perinataalse perioodi häired. Olime osalised Euroopa mitme keskuse uuringus (REST-1), mille koordinaator oli prof E. Beghi. Selle grupi poolt kogutud materjalide alusel on avaldatud terve rida artikleid [Cornaggia jt, 2006, 2007; van den Broek jt, 2004ab; Beghi jt, 2002].

Samaegselt jätkusid meie uuringud asfüksia ja hüpoksilis-isheemiline entsefalopaatia (HIE) patogeneesi selgitamiseks (P. Ilves 1999), oskudatiivse stressi osast HIE tekkes (U. Vaher – kaitsmata, koostöös prof M. Zilmeriga) ja tserebraalparalüüsist.

P. Ilvese uuring (1999) aju verevoolu kiirustest ja magneesiumi ning kaltsiumi muutustest asfüksias sündinud ja hüpoksilis-isheemilise entsefalopaatia (HIE) vastündinutel näitas, et ajuverevoolu kiirus 12-l elutunnil HIE diagnoosiga lastel on prognostilise väärtusega ja tõi välja, et meie kasutuses on sekumiseks, et vältida või vähendada jääva ajukahjustuse tekkimist, vaid piiratud aeg <12 tundi [Ilves jt, 2004]. Koostöös rahvusvahelise töögrupiga (prof O. Saugstad, Oslo) uurisime vastündinute elustamisel kasutatud ruumiõhu (21% O<sub>2</sub>) versus 100% O<sub>2</sub> mõju kaugtulemustele. Kuna kaugtulemused olid sarnased, on ruumiõhu kasutamine võimalik ja olulise tähtsusega vastündinute elustamisvõimaluste laiendamiseks.

T. Stelmachi (2006) uurimusest selgus, et laste tserebraalparalüüsi levimus Tartu linna ja maakonna 0–15 aastastel lastel oli 5,9 : 1000 (kõigi raskusastmete lõikes). Seletasime suhteliselt kõrget levimust hea haaratusega ja ka keskmise ja kergete juhtude uuringusse kaasamisega. Keskmise raskusega ja raskete vormide levimus oli 2,3 : 1000, mis on sarnane kirjanduses tooduga, kuid viitab metodoloogilistele erinevustele. Enam levinud motoorikahäire vorm oli spastiline diplegia, mis esines 72,2%-l juhtudest. Tähtsaim intranataalne faktor oli äge hüpoksiaepisood sünnitegevuse käigus, teised loote asetsused peale peaseisu, ja erakorraline keiserlõige. Tähtsaimad vastündinu sei-

sundiga seotud riskitegurid olid: Apgari hinne  $\leq 7$  esimesel ja viiendal eluminitul, Apgari hinne  $\leq 4$  esimesel eluminitul, hüpoksilis-isheemiline entsefalopaatia (HIE), respiratoorne distress-sündroom ja abistava hingamise vajadus neonataalperioodis.

**KOKKUVÕTLIKULT.** Olime jälle tõestanud ägeda (perinataalse) asfüksia osa HIE tekkes (muutunud aju verevoolud esimestel elutundidel), sekkumisaja piiratust ja intranataalsete hüpoksilis-isheemilise patogeneesiga seotud riskifaktorite tähtsust tserebraalparalüüsi tekkes [Stelmach jt, 2004, 2005].

1999. aastal saime prof M. Zilmeri grupiga Eesti teaduspreemia tulemuste eest oksüdatiivse stressi uurimisel.

1990ndate keskel tekkisid ülalnimetatud uurimissuundade kõrvale uued – neurogeneetika, harva esinevate (Orphan) haiguste, samuti kromosoomianomaaliatega seotud haiguste uurimisega seotud teemad.

E. Õiglane-Shliki (2007) Angelman (AS)/Prader-Willi (PWS) sündroomi uuring tõestas mõlema sündroomi levimuse erinevust, vastupidiselt varem arvatule – AS levimus on 2,1 : 100 000 (1 : 47,619), PWS levimuseks saime 3,8 : 100 000 (1 : 26,315). Kuuel seitsmest AS-ga patsiendist oli 15q11-13 deletsioon (86%) ja ühel patsiendil UPD15 (14%). Kuuel PWS-ga patsiendil oli tegemist UPD15 (50%), neljal patsiendil (33%) oli 15q11-13 deletsioon ja kahel patsiendil (17%) oli põhjuseks kromosomaalne translokatsioon – ühel patsiendil oli Robertsoni translokatsioon 15; 15 ja teisel patsiendil oli tasakaalustamata translokatsioon [Õiglane-Shlik jt, 2006b]. Oluline oli PWS neonataalse fenotüübi kirjeldus, mis peaks oluliselt kaasa aitama selle sündroomi varasemale diagnoosimisele [Õiglane-Shlik jt, 2006a], nagu ka PWS korral äkksurma ohu kirjeldamine [Õiglane jt, 2002] ja Angelmani sündroomi fenotüübile informatsiooni lisamine [Õiglane-Shlik jt, 2005].

Et selgitada sünnieelse diagnostika mõju Downi sündroomi (DS) levimusele, kavandasime T. Reimandi (2007) uuringu. Prenataalseid uuringuid alustati Eestis 1995. aastal. 1999–2003 algas seerumskriining raseduse II trimestril (II b grupp). Sünnieelselt diagnoositi 68 lootel DS. Kõigil juhtudel rasedus katkestati. DS sagedus oli 1,2 : 1000 kogu grupis ja II b grupis 0,99 : 1000, mis võrreldes I grupiga oli statistiliselt erinev ning näitas sünnieelse diagnostika efektiivsust. Regulaarne trisoomia esines 90,4% juhtudest [Reimand jt, 2006c]. Perede rahulolu uurimisel aga selgus, et vanemad vajavad enam informatsiooni ja tuge, kui nende lapsel tekib DS kahtlus ning kui see diagnoos kinnitub [Reimand jt, 2003]. Samuti selgus uuringu käigus, et DSga isikute meditsiiniabi pole küllaldane, mille tõttu koostati juhend DSga isikute jälgimiseks ja uuringute tegemiseks, et õigeaegselt avastada lisapuuded, mille õigeaegne ravi parandaks DSga isikute elukvaliteeti [Reimand jt, 2006ab].

Suurt huvi pakkusid X-liitelised lihashaigused Eestis, kuna olid avanenud uued diagnostilised võimalused (histokeemilise bioptaadi uuringud, geeni delet-



sioonid). Uurimistöö kavandasime A.-Ü. Talkopile, kes leidis Duchenne'i tüüpi lihasdüstroofiate (DMD) esinemissageduseks  $11,91 \times 10^{(-5)}$  elusalt sündinud poisilapse kohta ajavahemikus 1977–1990. Levimus samal perioodil oli  $12,76 \times 10^{(-5)}$  alla 20-aastaste poiste kohta jaanuaris 1998 [Talkop jt, 2003]. Selle uuringu käigus õnnestus meil diagnoosida kahel perekonnal X-liiteline Emery-Dreifussi lihasdüstroofia ja olla selle sündroomi osas varase kardiaalse haara-tuse esmakirjeldajaks [Talkop jt, 2002]. Väärtuslik on uuringu jooksul dots A. Piirsoo loodud lihasbiopsiate pank, mille põhjal on võimalik edaspidi uuringuid jätkata.

Järgmisena asusime uurima (doktorant E. Vaidla) spinaalseid lihasatroofiaid (SMA), mis on kõige levinum autosoom-retsessiivne haigus tsüstilise fibroosi järel. SMA I tüübi (Werdnig-Hodffmanni haigus) sagedus Eestis on 1 : 14,400 elusalt sündinud vastsündinu kohta – seega sünnib peaaegu igal aastal üks SMA esimese tüübiga laps [Vaidla jt, 2006].

Eriline on aga asjaolu, et meie uuringugrupi 9 lapsest 8 olid poisid ja ainult üks oli tüdruk. Kuna tegemist on autosoom-retsessiivse haigusega, tekkis hüpotees, et SMA I tüüp on tüdrukutele mingil põhjusel sünnieelselt letaalne. Kaudselt on selle tõenduseks meie ainsa tütarlapse südame väärareng, luumurrud ja n.ruberi atroofia. Meie haigusjuhtum oli maailma teaduskirjanduses viies juhtum SMA I korral esinevast südame väärarengust ja luumurdudest. N.ruberi atroofiat pole spinaalse lihasatroofia puhul varem kirjeldatud [Vaidla jt, 2007], kuid loomkatsete puhul on seljaaju trauma mudelis leitud rubrospinaalsete teede atroofiat. Selle uuringu ajal paranes haiguse diagnoosimine – patsiendid said diagnoosi varem, paranes perede nõustamine ja sünnieelne konsultatsioon.

2000ndate alguses tekkis vajadus uurimissuundi veel laiendada, sest lahendamist vajasisid mitmed probleemid, mida polnud varem Eestis (enamasti ka teistes Baltimaades ja Ida-Euroopas) uuritud – ajuinsult lapseas, ajutraumad (sh raputatud lapse sündroom), kroonilised artriidid lastel, epilepsia jne.

Vaskulaarsed haigused lapseas: (R. Laugesaa doktoritöö “Insult lapseas Eestis”). Oleme lõpetanud vastsündinute/neonataalse insuldi uurimise ja leidnud haigestumuseks 60,0 : 100,000 / 1 : 1666 elussünni kohta; 58,6 : 100,000 poiste ja 61,4 : 100,000 tüdruku kohta, mis on oluliselt suurem kirjanduses toodust ning on seletatav hiljem diagnoositud juhtude kaasamisega [Laugesaa jt, 2007].

Ajutraumade projektist oleme lõpule jõudnud raputatud lapse sündroomi (Shaken baby syndrome SBS, I. Talvik, 2007) uurimisega ja kindlaks teinud seni kõrgeima haigestumuse 40 : 100 000 alla üheaastastel lastel [Talvik I. jt, 2006]. Prospektiivne uuring näitas, et ellujääjatest enamus (20/22) on puudega [Talvik I. jt, 2007]. Väärkohtlemise vältimiseks on oluline vanemate ja arstkonna teadlikkuse tõstmine.

Juveniilne artriit: C. Pruunsilla (2007) uuringu käigus tegime kindlaks, et keskmine haigestumus oli 21,7 juhtu 100 000 kuni 16-aastase lapse kohta – tüdrukutel 22,9

ja poistel 19,3. Keskmine haigestumus oli suurim 11–15 aastaste tüdrukute hulgas – 26,8 : 100 000 [Pruunsild jt, 2007a]. Levimus oli 83,7 : 100 000 kuni 16-aastase lapse kohta – tüdrukutel 90,7 ja poistel 77,1. Levimus oli suurim 11–15 aastaste tüdrukute hulgas ja väikseim 0–3 aastaste tüdrukute grupis. Keskmine aeg haiguse avaldumisest diagnoosimiseni oli 7 kuud, periood oli kõige pikem laieneva oligoartriidi ja psoriaatilise artriidi korral [Pruunsild jt, 2007b]. Töö oli abiks haiguse käsitluse parandamisel, ravitaktika planeerimisel ja uute ravivõtete kasutuselevõtmisel (bioloogilised ravimid).

Teadustöö edu saladuseks on olnud viljakas koostöö paljude instituutide ja õpetoolidega (immunoloogia – prof R. Uibo, biokeemia – prof M. Zilmer, mikrobioloogia – prof M. Mikelsaar, patoloogilise anatoomia ja kohtuarstiteaduse õppetool – prof A. Kulla ja M. Väli, molekulaargeneetika labor – prof A. Metspalu, meditsiinigeneetika keskus – M. Sitska, K. Õunap, närvikliinik – prof T. Asser, geneetika õppetool – prof A.-V. Mikelsaar ja dots A. Piirsoo, radioloogia teenistus) ning kindlasti SA TÜ Kliinikumi arstidega erinevatest osakondadest. Väliskoostöös on suuremad projektid seotud epilepsiaga (projekti juht E. Beghi, Itaalia), oksüdatiivse stressi probleemid (prof Saugstad, Oslo). Algas on koostöö Kanada ja Euroopa insuldiregistriga.

Minu sügav kummardus ja tänu kõigile minu õpetajatele, õpilastele, koostööpartneritele, armsatele kolleegidele Laste- ja Närvikliinikus. Olen siiralt tänulik kõigile, kes on mind märganud ja tunnustanud.

Eriline tänu pereliikmetele ja lähedastele.

Elame veel!

## KIRJANDUS

Bax, M. (1964). Terminology and classification of cerebral palsy. *Dev. Med. Child. Neurol.*, 6, 295-297.

Beghi, E., Cornaggia, C., RESt-1 Group. (2002). Morbidity and accidents in patients with epilepsy: results of a European cohort study. *Epilepsia*, 43, 9, 1076-1083.

van den Broek, M., Beghi, E., RESt-1 Group. (2004a). Accidents in patients with epilepsy: types, circumstances, and complications: a European cohort study. *Epilepsia*, 45, 6, 667-672.

van den Broek, M., Beghi, E., RESt-1 Group. (2004b). Morbidity in patients with epilepsy: type and complications: a European cohort study. *Epilepsia*, 45, 1, 71-76.

Bürklen, T. S., Hirschy, A., Wallimann, T. (2007). Brain-type creatine kinase BB-CK interacts with the Golgi Matrix Protein GM130 in early prophase. *Mol. Cell Biochem.*, 297, 1-2, 53-64.

Cornaggia, C. M., Beghi, M., Beghi, E., RESt-1 Group. (2007). Psychiatric events in epilepsy. *Seizure*, 16, 7, 586-592.

- Cornaggia, C. M., Beghi, M., Moltrasio, L., Beghi, E., RESt-1 Group. (2006). Accidents at work among people with epilepsy. Results of a European prospective cohort study. *Seizure*, 15, 5, 313-319.
- Cowan, F., Rutherford, M., Groenendaal, F., Eken, P., Mercuri, E., Bydder, G. M., Meiners, L. C., Dubowitz, L. M., de Vries, L. S. (2003). Origin and timing of brain lesions in term infants with neonatal encephalopathy. *Lancet*, 1, 361, 9359, 736-742.
- Du Plessis, A. J., Johnston, M. V. (1997). Hypoxic-ischemic brain injury in the newborn. Cellular mechanisms and potential strategies for neuroprotection. *Clin. Perinatol.*, 24, 627-654.
- Ilves, P., Lintrop, M., Metsvaht, T., Vaher, U., Talvik, T. (2004). Cerebral blood-flow velocities in predicting outcome of asphyxiated newborn infants. *Acta Paediatr.*, 93, 4, 523-528.
- Kaosaar, M. E., Mikelsaar, A. V., Talvik, T. A., Mikelsaar, R. V. (1976). A case of trisomy for the short arm of chromosome no 9(+9(p)). *Hum. Genet.*, 34, 1, 77-80.
- Laugesaar, R., Kolk, A., Tomberg, T., Metsvaht, T., Lintrop, M., Varendi, H., Talvik, T. (2007). Acutely and retrospectively diagnosed perinatal stroke: a population-based study. *Stroke*, 38, 8, 2234-2240.
- Lutsar I., Haldre, S., Topman, M., Talvik, T. (1994). Enzymatic changes in the cerebrospinal fluid in patients with infections of the central nervous system. *Acta Paediatr.*, 83, 11, 1146-1150.
- Mikelsaar, A. V., Kaosaar, M. E., Tuur, S. J., Viikmaa, M. H., Talvik, T. A., Laats, J. (1975). Human karyotype polymorphism. III. Routine and fluorescence microscopic investigation of chromosomes in normal adults and mentally retarded children. *Humangenetik*, 26, 1, 1-23
- Mikelsaar, A. V., Talvik, T. A. (1969). Partial deletion of the long arm of chromosome 18. *Humangenetik*, 7, 4, 359-360.
- Mälksoo, M. I., Talvik, T. A., Paiu, A. I., Kaasik, A. E., Sööt, A. G. (1988). Function of the sympathetico-adrenal system and the acid-base equilibrium in newborn infants with a hypoxic lesion of the central nervous system. *Zhurnal Nevropatologii i Psikiatrii Imeni S. S. Korsakova*, 88, 10, 52-54 (in Russ.).
- Nikas, I., Dermentzoglou, V., Theofanopoulou, M., Theodoropoulos, V. (2008). Parasagittal lesions and ulegyria in hypoxic-ischemic encephalopathy: neuroimaging findings and review of the pathogenesis. *J. Child. Neurol.*, 23, 1, 51-58.
- Pruunsild, C., Uibo, K., Liivamägi, H., Tarraste, S., Talvik, T., Pelkonen, P. (2007a). Incidence of juvenile idiopathic in children in Estonia. *Scand. J. Rheumatol.*, 36, 1, 7-13.

- Pruunsild, C., Uiibo, K., Liivamägi, H., Tarraste, S., Talvik, T., Pelkonen, P. (2007b). Prevalence and short-term outcome of juvenile idiopathic arthritis: a population-based study in Estonia. *Clin. Experimental. Rheumatol.*, 25, 4, 649-653.
- Reimand T, Grünberg H, Uiibo O, Õunap K, Talvik T. (2006a). Downi sündroomiga isikute meditsiinilise käsitluse juhend. *Eesti Arst*, 10, 720-725.
- Reimand T, Uiibo O, Zordania R, Ilus T, Õunap K, Sitska M, Talvik T. (2006b). Downi sündroom Eestis. *Eesti Arst*, 2, 78-83.
- Reimand, T., Uiibo, O., Žordania, R., Palmiste, V., Õunap, K., Talvik, T. (2003). Parents' satisfaction with medical and social assistance provided to children with Down syndrome: Experience in Estonia. *Community Genet.*, 6, 166-170.
- Reimand, T., Õunap, K., Zordania, R., Ilus, T., Uiibo, O., Sitska, M., Talvik, T. (2006c). Descriptive epidemiology of Down syndrome in Estonia. *Paediatr. Epidemiol.*, 20, 512-519.
- Sarnat, H. B., Sarnat, M. S. (1976). Neonatal encephalopathy following fetal distress. *Arch. Neurol.*, 33, 696-705.
- Stelmach, T., Kallas, E., Pisarev, H., Talvik, T. (2004). Antenatal risk factors associated with unfavorable neurologic status in newborns and at 2 years of age. *J. Chil. Neurology*, 19, 2, 116-122.
- Stelmach, T., Pisarev, H., Talvik, T. (2005). Ante- and perinatal factors for cerebral palsy: Case-control study in Estonia. *J. Child. Neurol.*, 20, 654-661.
- Sööt, A., Tomberg, T., Kool, P., Rein, R., Talvik, T. (2008). Magnetic resonance imaging in children with bilateral spastic forms of cerebral palsy. *J. Paediatr Neurol.*, 38, 5, 321-328.
- Talkop, Ü.-A., Kahre, T., Napa, A., Talvik, I., Sööt, A., Piirsoo, A., Sander, V., Talvik, T. (2003). A descriptive epidemiological study of Duchenne muscular dystrophy in childhood in Estonia. *Eur. J. Paediatr. Neurol.*, 7, 5, 221-226.
- Talkop, Ü.-A., Talvik, I., Sõnajalg, M., Sibul, H., Kolk, A., Piirsoo, A., Warzok, R., Wulff, K., Wehnert, M. S., Talvik, T. (2002). Early onset of cardiomyopathy in two brothers with X-linked Emery-Dreifuss muscular dystrophy. *Neuromuscul. Disord.*, 12, 878-881.
- Talvik, I., Metsvaht, T., Leito, K., Pöder, H., Kool, P., Väli, M., Lintrop, M., Kolk, A., Talvik, T. (2006). Inflicted traumatic brain injury (ITBI) or shaken baby syndrome (SBS) in Estonia. *Acta Paediatr.*, 95, 7799-804.
- Talvik, I., Männamaa, M., Jüri, P., Leito, K., Pöder, H., Hämarik, M., Kool, P., Talvik, T. (2007). Outcome of infants with inflicted traumatic brain injury (shaken baby syndrome) in Estonia. *Acta Paediatr.*, 96, 8, 1164-1168.

- Talvik, T., Haldre, S., Sööt, A., Hämarik, M., Piirsoo, A., Mikelsaar, A. V. (1995). Creatine kinase isoenzyme BB concentrations in cerebrospinal fluid in asphyxiated preterm neonates. *Acta Paediatr.*, 84, 10, 1183-1187.
- Talvik, T., Mikelsaar, A. V., Mikelsaar, R., Kaosaar, M., Tuur, S. (1973a). Inherited translocations in two families /t(14q+;10q-) and t(13q-;21q+)/. *Human-genetik*, 19, 3, 215-226.
- Talvik, T. A., Mikel'saar, A. V., Mikelsaar, R. V., Kask, V. A. (1973b). Ring heterosome in a two-and-a-half year old girl (46, XXr or 46, XYr). *Soviet Genetics*, 7, 7, 930-934.
- Talvik, T., Stelmach, T., Gross-Paju, K. (2003). Cerebral palsy in the 21st century. *European J. Paediatr. Neurol.*, 7, 5, P236, 36.
- Talvik, T. A., Tomberg, T. A., Tolpats, V. A., Jürisson, M. K., Mälksoo, M. I. (1989). Clinical and computerized-tomographic correlations in children with cerebral palsy. *Zhurnal Nevropatologii i Psikhatrii Imeni S. S. Korsakova*, 89, 3, 74-77 (in Russ.).
- Talvik, T. A., Tomberg, T. A., Tolpats, V. A., Lüüs, S. R., Toomela, A. V. (1987). Computerized tomographic and clinical examination of children with hemiparesis. *Zhurnal Nevropatologii i Psikhatrii Imeni S. S. Korsakova*, 87, 3, 359-365 (in Russ.).
- Tammperre, A. I., Kaasik, A. A., Talvik, T. A., Paju, A. I. (1985). Acid-base equilibrium and spinal fluid enzyme activity in newborn infants with pathology of the nervous system. *Zhurnal Nevropatologii i Psikhatrii Imeni S. S. Korsakova*, 85, 10, 1494-1498 (in Russ.).
- Tammperre, A. I., Talvik, T. A., Kaasik, A. E. (1987). Changes in the biochemical indices of the cerebrospinal fluid and blood in newborn infants with a convulsive syndrome. *Pediatrics*, 9, 37-40 (in Russ.).
- Tomberg, T. A., Talvik, T. A., Jürisson, M. K., Tulu, E. I. (1989). Pathologic changes of the brain in children with various forms of infantile cerebral palsy (computerized-tomographic data). *Pediatrics*, 9, 50-54 (in Russ.).
- Vaidla, E., Talvik, I., Kulla, A., Kahre, T., Hämarik, M., Napa, A., Metsvaht, T., Piirsoo, A., Talvik, T. (2006). Descriptive epidemiology of spinal muscular atrophy type I in Estonia. *Neuroepidemiology*, 27, 3, 164-168.
- Vaidla, E., Talvik, I., Kulla, A., Sibul, H., Maasalu, K., Metsvaht, T., Piirsoo, A., Talvik, T. (2007). Neonatal spinal muscular atrophy type I with bone fractures and heart defect. *J. Child. Neurol.*, 22, 1, 67-70.
- Villani, F., D'Incerti, L., Granata, T., Battaglia, G., Vitali, P., Chiapparini, L., Avanzini, G. (2003). Epileptic and imaging findings in perinatal hypoxic-ischemic encephalopathy with ulegyria. *Epilepsy Res.*, 55, 3, 235-243.

Õiglane-Shlik, E., Rein, R., Tillmann, V., Talvik, T., Õunap, K. (2005). A female with Angelman syndrome and unusual limb deformities. *Pediatr. Neurol.*, 33, 1, 66-69.

Õiglane-Shlik, E., Žordania, R., Varendi, H., Antson, A., Mägi, M.-L., Tasa, G., Bartsch, O., Talvik, T., Õunap, K. (2006a). The neonatal phenotype of Prader-Willi syndrome. *Am. J. Med. Genetics, Part A*, 140A, 1241-1244.

Õiglane-Shlik, E., Talvik, T., Žordania, R., Pöder, H., Kahre, T., Raukas, E., Ilus, T., Tasa, G., Bartsch, O., Väisänen, M.-L., Õunap, K. (2006b). Prevalence of Angelman syndrome and Prader-Willi syndrome in Estonian children: Sister syndromes not equally represented. *Am. J. Med. Genetics, Part A*, 140A, 1936-1943.

Õiglane, E., Õunap, K., Bartsch, O., Rein, R., Talvik, T. (2002). Sudden death of a girl with Prader-Willi syndrome. *Genet. Counseling*, 13, 4, 459-464.

*Teaduspreemia täppisteaduste alal  
uurimuste tsükli "Optiline kaugseire veekeskkonna uuringutes" eest*



*Tiit Kutser*

Sündinud 18.04.1964 Tallinnas

1983 Eesti Spordikolledž

1990 Tartu Ülikool, füüsika-keemiateaduskond, geofüüsika

1997 filosoofiadoktor, keskkonnafüüsika, TÜ

Alates 1987 TÜ Eesti Mereinstituudis: insener, nooremteadur, teadur, praegu kaugseire ja mereoptika osakonna juhataja

1997–1999 periooditi vanemteadur Helsingi Ülikoolis ja Soome Keskkonnainstituudis

1999–2002 järel doktor, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Austraalia

2002–2004 teadur, Uppsala Ülikool, Rootsi

1995 Saleni Fondi (Rootsi) noorteadlase preemia Läänemere uuringute eest

Avaldanud üle 70 teaduspublikatsiooni.

Tehnoloogia kiire areng võimaldab ka keskkonnauuringutes võtta kasutusele järjest uusi uurimismeetodeid ning teostada uurimusi, mille läbiviimine veel mõned aastad tagasi ei olnud võimalik. Eriti aktuaalseks on tõusnud globaalsete kliimamuutustega seonduvate probleemide uurimine. Regionaalsed ja globaalsed keskkonnauuringud ei ole mõeldavad ilma kaugseirevahendeid kasutamata, kuna vajalikud mahus kontaktandmete kogumine ei ole ajaliselt ning kulude poolest realistlik. Teaduspreemia toonud uurimistööd optilise kaugseire valdkonnas ongi seotud uued kaugseire andmete interpreteerimise meetodite väljatöötamise, uute eksperimentaalsete satelliitide tehniliste võimaluste täielikuma ära kasutamise ning kaugseire rakenduste hulga laiendamisega.

Veekeskkonna omadused on tihti ruumiliselt ja ajaliselt väga varieeruvad. Võttes veeproove mõnest harvast konkreetsest punktist saab küll detailse ülevaate konkreetse punktis mingil kindlal ajahetkel toimunud, kuid juba pisut eemal võivad vee omadused olla kardinaalselt teised. Samuti on kontaktmõõtmiste abil tihti raske uurida paljusid protsesse, kuna piisava sagedusega mõõtmiste teostamine ei ole tehniliselt ega majanduslikult võimalik. Kaugseire kasutamise eeliseid iseloomustab ilmekalt satelliidi ALI pilt Väinamerest (joonis 1). Näiteks on Matsalu lahest välja voolav pruun huumusainerikas vesi oluliselt teistsuguste omadustega kui Väinamere vesi keskmiselt. Samuti on näha, et vee omadused muutuvad kardinaalselt mõnekümne meetri vahemaa jooksul. Analoogsed probleemid on ka limnoloogias ja korallriffide uurimisel. Näiteks, uurimaks järvede osa globaalses süsinikuringes oleks vaja koguda andmeid sadadest tuhandetest järvedest või ideaaljuhul lausa kõigist maailmas olevatest





Joonis 1.  
Vee optiliste omaduste varieeruvus Väinameres. Satelliidil EO-1 paikneva sensori ALI (*Advanced Land Imager*) 30 m ruumilise lahutusega pilt.

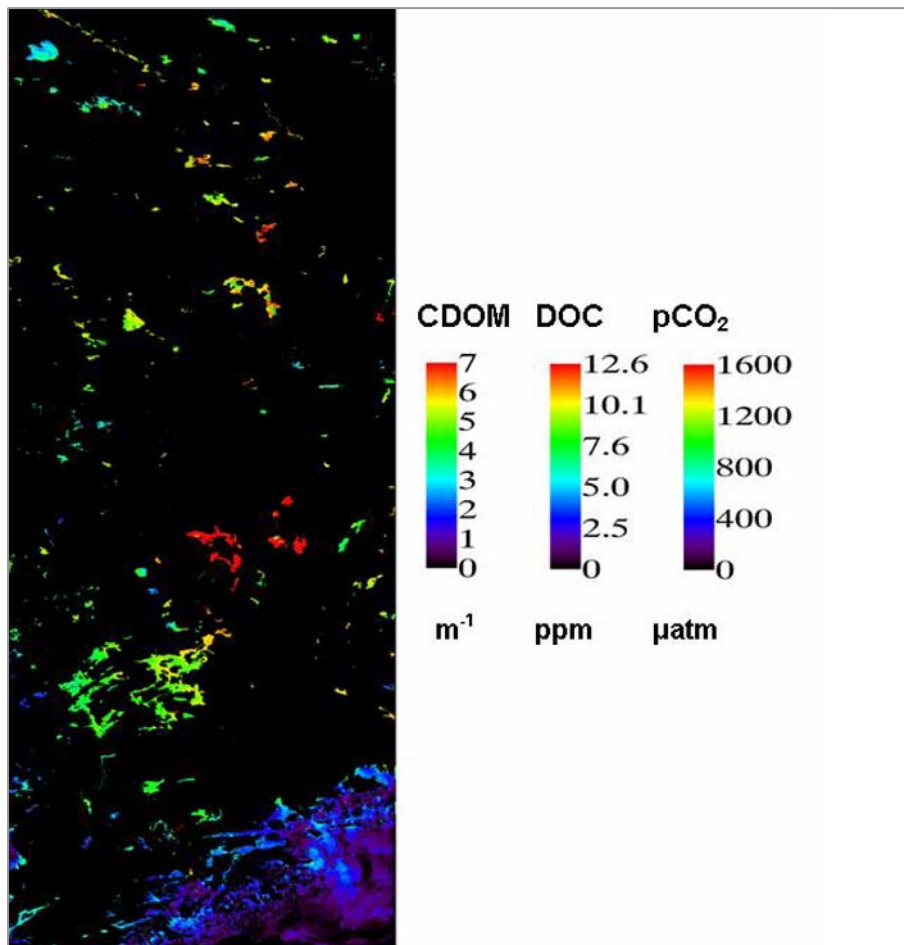
järvedest. Samas piirduvad suuremad kontaktmõõtmistel põhinevad globaalsed uuringud kõigest mõnesaja kuni mõne tuhande järve mõõtmistulemustel. Korallriffide seisundi uurimine on veelgi keerulisem, kuna on seotud sukeldumise-ga, mille ajaline maht inimese kohta on meditsiinilistel põhjustel väga limi-teeritud. Tihti on probleemiks ka riffide suur pindala (Suur Vallrahu 300 000 km<sup>2</sup>) või nende kaugus teaduslikust infrastruktuurist (näiteks üle Vaikse ooke-ani laialipillatud korallrifid).

Käesoleva uurimistöõde tsükli eesmärgiks oli töötada välja uudeid meetodeid, mis võimaldaks uurida veekeskkonna seisundit oluliselt laiemalt, kui see on võimalik vaid kontaktmõõtmisi kasutades. Rakenduste järgi võib preemia too-nud uurimistöõ jagada kolmeks alateemaks: 1) järved ja globaalne süsiniku-riinge, 2) madalate vete optika ja kaugseire ning 3) potentsiaalselt toksiliste tsüanobakterite õitsengute uurimine. Samas on nimetatud alateemad tihedalt omavahel seotud ning väljatöötatud uued meetodid on tihti leidnud kasuta-mist rohkem kui ühe rakenduse juures.

Üldlevinud teooria kohaselt on boreaalsetel okasmetsadel suur tähtsus glo-baalses süsinikuringes süsihappegaasi sidujana. Samas on leitud [Sobek jt, 2003], et metsavööndi järvedest toimub süsihappegaasi eksport atmosfääri ning see võib olla võrreldavas suurusjärgus (kuni pool?) metsade poolt neela-tud süsihappegaasi hulgaga. Seega on globaalse süsinikuringe täpsemaks mõistmiseks oluline teada, milline on boreaalsete metsade tegelik osa süsini-kuringes. Boreaalsete metsade osa globaalses süsinikuringes on varasemates uurimistöõdes hinnatud [Dong jt, 2003]. Samas ei ole teada, kui suur on jär-vede osa süsinikuringes. Seda on võimalik leida, teades lahustunud süsiniku hulka ning süsihappegaasi küllastust järvede vees ning järvede hulka ja pind-ala. Selliste andmete kogumine juba regionaalses mastaabis on kontaktmõõt-miste abil praktiliselt võimatu.

Vesi kui aine neelab peaaegu kogu temale langeva elektromagnetilise kiirguse. Praktiliselt vaid nähtav valgus suudab tungida veesambasse ning sealt tagasi hajudes tuua meieni informatsiooni veesamba (ja madalas vees ka merepõhja) omaduste kohta. Seega on kaugseire abil võimalik koguda informatsiooni vee-kogu optiliste omaduste (värvi) kohta. Süsihappegaas on värvusetu gaas, mis-tõttu ei ole kaugseire abil selle hulka vees võimalik otseselt hinnata. Boreaalse vööndi järvedes on huumusainete (annavad veele pruuni värvuse) kontsent-ratsioon üldiselt korrelatsioonis lahustunud süsiniku üldhulgaga vees [Tranvik, 1990]. Kui kaugseire abil õnnestuks hinnata huumusainete hulka vees, siis saaks tulemustest arvutada ka lahustunud süsiniku hulka nendes vetes. Samas on lahustunud süsiniku hulk järvede vees korrelatsioonis süsihappegaasi kül-lastusega [Sobek jt, 2003]. Seega, kui õnnestub kaugseire abil määrata huu-musainete hulka järvedes, siis on võimalik leida ka iga järve vees lahustunud süsiniku hulk ning hinnata potentsiaalselt atmosfääri paisatava CO<sub>2</sub> hulka.

Alguses optilist modelleerimist ning tehnoloogiliste võimaluste avanedes ka reaalseid satelliidiandmeid kasutades õnnestuski näidata, et kaugseire abil on võimalik hinnata huumusainete hulka järvede vees ning seega hinnata lahustunud orgaanilise aine hulka ning süsihappegaasi küllastust boreaalse vööndi järvedes [Kutser jt, 2005ab] (joonis 2).



Joonis 2.

Satelliidil EO-1 paikneva sensori ALI abil saadud huumusainete (CDOM – *coloured dissolved organic matter*), lahustunud süsiniku (DOC – *dissolved organic carbon*) ning süsihappegaasi küllastuse (pCO<sub>2</sub>) kaart Lõuna-Soome järvedest.

See tulemus võimaldab limnoloogidel astuda suure sammu edasi järvedes toimuvate protsesside ning võimalike kliimamuutuste mõju uurimisel järvede ökosüsteemidele, kuna uuritavate järvede hulk kasvab mõnelt kümnelt (tavaline järvede hulk ühes uurimisprojektis) tuhandeteni, haarates vajadusel kas või kõiki boreaalses vööndis või ka kõiki Maal asuvaid järvi. Järved moodustavad küll väikese osa mandrite pinnast (2–4%), kuid mängivad tõenäoliselt oluliselt suuremat rolli nii kliimamuutuste regulaatori kui ka toimunud ja toimuvate muutuste integraatori ja indikaatorina.

Lisaks globaalsetele uuringutele on saadud tulemus mitmel pool oluline ka joogivee ressursside majandamisel. Probleem on selles, et joogivee kloreerimisel tekivad huumusainetega reageerimisel kantserogeensed ühendid. Kliimamuutuste tõttu muutuv sademete hulk võib põhimõtteliselt nii suurendada kui vähendada maapinnast järvedesse uhutavate huumusainete hulka. Kaugseire abil on nüüd võimalik jälgida regionaalseid muutusi huumusainete kontsentratsioonides eri järvedes ning teha kogutud materjali põhjal prognoose optimaalse pinnavee kasutamise osas (näiteks, kas on mõistlikum ehitada joogiveetrass mõnest teisest järvest või suurendada kulutusi huumusainete eemaldamiseks joogiveest).

Võimalike kliimamuutuste ning antropogeensete protsesside mõju uurimisele veekeskkonnas on pühendatud ka uurimistöö madalate vete optika ja kaugseire valdkonnas. Korallrifid on eriti tundlikud kliimamuutustele. Enamus koralle ei talu tavalisest jahedamat vett ning paljud korallide liigid ei talu juba suhteliselt lühiajalist viibimist tavalisest kraad või paar soojemas vees. Samas on korallid väga tundlikud ka inimtegevuse mõjule (reostus, eutrofeerumine) ning ka teistele looduslikele anomaaliatele peale temperatuuri muutuste. Näiteks, vee suurenemine hädusus vihmade poolt merre uhutud mineraalsete osakeste tõttu põhjustab korallidel tugevat stressi, mis võib lõppeda nende surmaga.

Korallriffide uurimine sukeldumiste abil on väga aeganõudev ja kulukas ning uuritava ala suurus on tühine riffide pindalaga võrreldes. Korallrifid katavad suuri alasid (näiteks Suur Vallrahu 300 000 km<sup>2</sup>), suur osa neist paikneb geograafiliselt eraldatud piirkondades ning paljud piirkonnad on sukeldujatele kas liigipääsmatud (mõnede atollide laguunid) või töötamiseks liiga ohtlikud (näiteks murdlainetuse tõttu). Korallide kaugseirega on tegeletud juba üle kahe aastakümne [Jupp jt, 1985], kuid üheks põhiprobleemiks on jäänud vee sügavuse muutustest ja merepõhja tüübi (korall, vetikad, jne) vaheldumisest tingitud kaugseire signaali muutuste eristamine teineteisest. See tähendab, et põhjatüüpide kaardistamiseks on olnud vajalik mingigi informatsiooni olemasolu vee sügavuse kohta ning kontaktandmete (soovitavalt kogutud satelliidi ülelendnuga samal ajal) olemasolu. Käesolevaks ajaks ei ole veel isegi kõikide maailma korallriffide asukoht kaardistatud, rääkimata sellest, et sealt oleks olemas vee sügavuse kaardid või informatsiooni põhjatüüpide kohta.

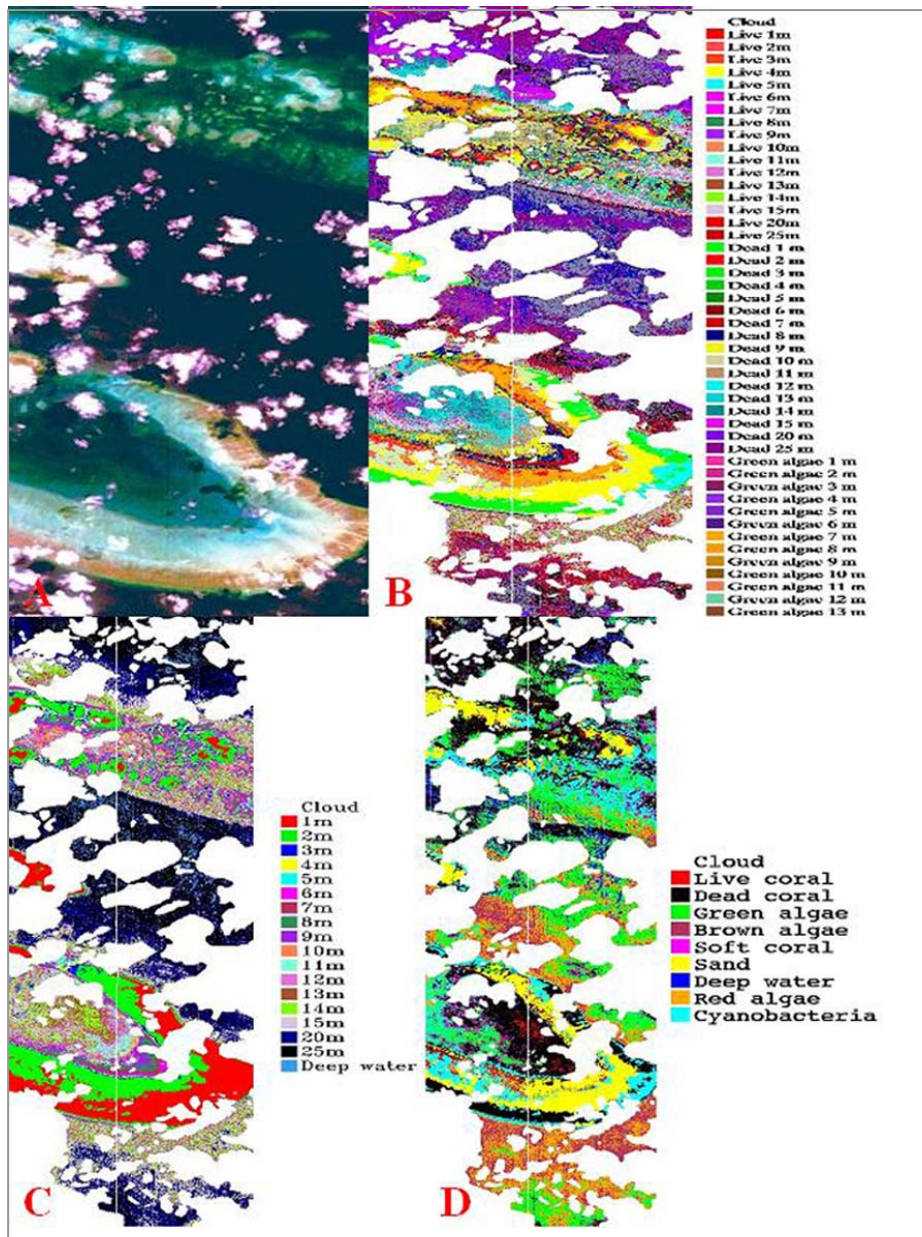
Kuna senised meetodid kasutasid statistilisi seoseid põhjatüübi ja kaugseire andmete vahel [Jupp jt, 1985; Andréfouët jt, 2003], siis olid tulemused suures sõltuvuses pildiinformatsiooni kvaliteedist ning merepõhja iseloomust konkreetses uurimispiirkonnas. Saadud tulemuste puuduseks on lokaalsus – ühe rifi jaoks välja töötatud kaugseire algoritme ei saa automaatselt kasutada mujal. Samas kohas tehtud piltide aegriidade analüüsimine on samuti olnud keerukas, kuna atmosfääri ja valgustustingimuste muutuste mõju on piltidelt raske täielikult eemaldada ning need avaldavad igal pildil erinevat mõju statistiliste seoste abil saadud merepõhja klassifikatsiooni tulemustele. Lisaks sellele on olnud keeruline erineva ruumilise ja spektraalse lahutusega satelliitide kasutamine isegi samas kohas, kuna igale sensorile on vaja välja töötada omad kaugseire algoritmid.

Uudse tulemusena [Kutser jt, 2006c] sai välja pakutud merepõhja, veesamba ja atmosfääri füüsikalistel omadustel põhinev kaugseire andmete klassifitseerimise meetodika, mis võimaldab hinnata vee sügavust ja merepõhja tüüpi samaaegselt ning ei vaja kontaktandmeid konkreetsest uurimispiirkonnast. Selleks on vaja teada erinevate põhjatüüpide (elusad ja surnud korallid, liiv, vetikad, jne) optilisi omadusi ning omada mõningat informatsiooni vees leiduvate optiliselt aktiivsete ainete (fütoplankton, mineraalsed osakesed, huumusained) varieeruvuse ulatuse kohta uuritavas piirkonnas.

Kasutades kiirusülekande võrranditel põhinevat mudelit, koostatakse spektrikogu, kus iga põhjatüübi, vee sügavuse ja veesamba omaduste kombinatsiooni jaoks arvutatakse vee heleduskoeffitsiendi spekter. Põhjatüüp, vee sügavus ja vee omadused uuritaval satelliidi (või lennubahendilt tehtud) pildil tehakse kindlaks võrreldes pildi iga piksli spektrit teadaolevate omadustega spektrikogu spektritega, kasutades selleks näiteks n-dimensionaalset võrdlusmeetodit *Spectral Angle Mapper (SAM)*. Tulemuseks on põhjatüüpide ja vee sügavuse kaart (joonis 3B). Vastavalt konkreetsele huvile saab seda tulemust kasutada kas sügavuse kaardina (joonis 3C, kus kõik samal sügavusel olevad põhjatüübid on esitatud sama värviga) või põhjatüüpide kaardina (joonis 3D, kus iga põhjatüüp on esitatud ühe värviga).

Kuna väljatöötatud meetod [Kutser jt, 2006c] põhineb erinevate põhjatüüpide, nende kohal paikneva veesamba ja atmosfääri optilistel omadustel, mitte iga konkreetse satelliidipildi statistilistel omadustel, siis on see meetod kasutatav igal pool ning ka piirkondades, kust puuduvad kontaktmõõtmiste andmed. Viimase teeb lihtsamaks, et korallid elavad üldjuhul oligotroofsetes suure läbipaistvusega vetes, mille optilised omadused muutuvad suhteliselt vähe näiteks Eesti rannavetega võrreldes. Samuti mõjutavad huumusained ja tahked osakesed vee heleduse spektreid põhiliselt sinises spektriosas, kus elusate ja surnud korallide ja erinevate põhjataimestiku liikide optilised erinevused on minimaalsed. Suuremad erinevused põhjaelustiku tüüpide vahel on punases spektriosas, kus kaugseire kasutamise sügavust limiteerivad vee enda optilised omadused.





Joonis 3. Satelliidil EO-1 paikneva sensori Hyperion pilt Cairns'i ja Osterlandi riffidest Suure Vallrahu põhjaosas (A) ning sellest toodetud põhjatüübi ja sügavuse kaart (B), mille legendil enamus põhjatüüpe tehnilistel põhjustel puudub. Joonised C ja D kujutavad vastavalt sügavuse ja põhjatüübi kaarte, mis on saadud joonisel B oleva informatsiooni kujutamisel kahe eraldi kaardina.

Lisaks põhimõtteliselt erinevale põhjatüüpide klassifitseerimise meetodi väljapakkumisele on samas uurimistöös [Kutser jt, 2006c] testitud ka teistsugust pilditöötluse põhimõtet. “Klassikaline” pilditöötlus algab atmosfäärikorreksiooniga. See tähendab, et pildilt eemaldatakse see osa mõõdetud signaalist, mis on tekkinud atmosfäärist tagasihajunud kiirgusest ja ei anna mingit informatsiooni vee omaduste kohta. Satelliidilt vee kohal mõõdetud kiirgusest ületab sellise kiirguse osa 90%. Vajadusel teostatakse veel pinnapeegelduse korrektsioon. See tähendab – eemaldatakse signaalist see osa kiirgusest, mis peegeldus veepinnalt. Kui tegu on merepõhjatüüpide kaardistamisega, siis tuleb veel eemaldada teadmata sügavuse ning tundmatute optiliste omadustega veesamba mõju, enne kui saab põhjatüüpide klassifitseerimisele asuda. Meie katsetused näitasid, et oluliselt paremaid merepõhja klassifitseerimise tulemusi saab modelleerides põhjatüüpide spektreid nii, nagu nad paistaks läbi erinevate optiliste omaduste ning sügavusega veesamba ja muutuvate omadustega atmosfääri ning kasutades saadud spektrikogu satelliidi toorpildi (ilma atmosfäärikorreksioonita) klassifitseerimisel. Selle põhjuseks on tõenäoliselt asjaolu, et nii atmosfääri- kui veesamba korrektsioon vähendavad oluliselt kasutatavat signaali, kuid ei vähenda signaali müra. Pealegi on mõlema protsessi puhul tegemist pöördülesandega, millel ei pruugi olla ühest lahendit.

Kuna spektrikogu spektrid on kergesti ümberarvutatavad iga konkreetse sensori spektraalset lahutusvõimet arvesse võttes, siis ei ole ka probleemiks erinevate sensorite kasutamine. Erinevalt “klassikalistest” meetoditest, kus põhjatüübi identifitseerimiseks kasutatakse kahes-kolmes spektrikanalis mõõdetud kiirguste suhteid, tugineb pakutud meetod kogu mõõdetud spektri kasutamisele. Kogu mõõdetud spektraalse informatsiooni kasutamine ning lähtumine merepõhja, veesamba ja atmosfääri füüsikalistest omadustest annabki võimaluse klassifitseerida samaaegselt nii põhjatüüpe kui ka hinnata vee sügavust ja selles leiduvate optiliselt aktiivsete ainete (fütoplankton, hõljum, lahustunud orgaanilised ained) hulka.

Üheks oluliseks kriteeriumiks erinevate põhjatüüpide edukaks identifitseerimiseks kaugseire abil on ka sobiva põhjatüüpide klassifikatsiooni kasutamine. Kuna vett suudab läbida ja merepõhja omadustest informatsiooni anda vaid nähtava valguse lainepikkustel leviv kiirgus, siis peab põhjatüüpide klassifikatsioon põhinema põhjatüüpide optilistel omadustel. Samas peab see omama mõistetavat tähendust ka korallriffide bioloogia ja ökoloogia vaatevinklist. On tehtud katseid kasutada ühtset põhjatüüpide klassifikatsiooni korallriffide kaardistamiseks üle maailma [Andréfouët jt, 2003]. Kuna kasutatud klassifikatsioon ei lähtunud põhjatüüpide optilistest omadustest, siis ei olnud saadud tulemused eriti positiivsed. Sobiva bio-optilise klassifikatsiooni teemat on käsitletud ka käesolevas uurimuste tsükli [Kutser, Jupp 2006; Kutser jt, 2006c] ning mõnes varasemas uurimuses [Kutser jt, 2003]. Maailma eri piirkondades kogutud spektraalse informatsiooni võrdlemine näitas, et pruun-, puna- ja rohevetikate, meriheinte ning korallide heleduskoefitsiendi spektrites on igale rüh-

male tüüpilised tunnused, sõltumata nende kasvukohast. See võimaldab korallriffide põhjatüüpide jämeda klassifikatsiooni puhul kasutada nii-öelda “keskmisi” heleduskoefitsiendi spektreid ning ei pea tingimata uurima, millised liigid asustavad konkreetset uuritavat ala ning millised on nende konkreetsete liikide optilised omadused. Üheks oluliseks järelduseks on see, et koralle ei ole kaugseire abil võimalik identifitseerida liikide tasemel, kuna varieeruvus sama liigi korallide optilistes omadustes võib olla sama suur kui varieeruvus eri liiki korallide optiliste omaduste vahel [Kutser, Jupp 2006]. Näiteks võivad sama liiki korallid olla pruunikad, sinakad või rohelised. Samas on suure spektraalse lahutusega sensorite abil võimalik eristada tüüpilisi kollakaspruune, siniseid ja rohelisi koralle üksteisest, kasutades optilisi meetodeid.

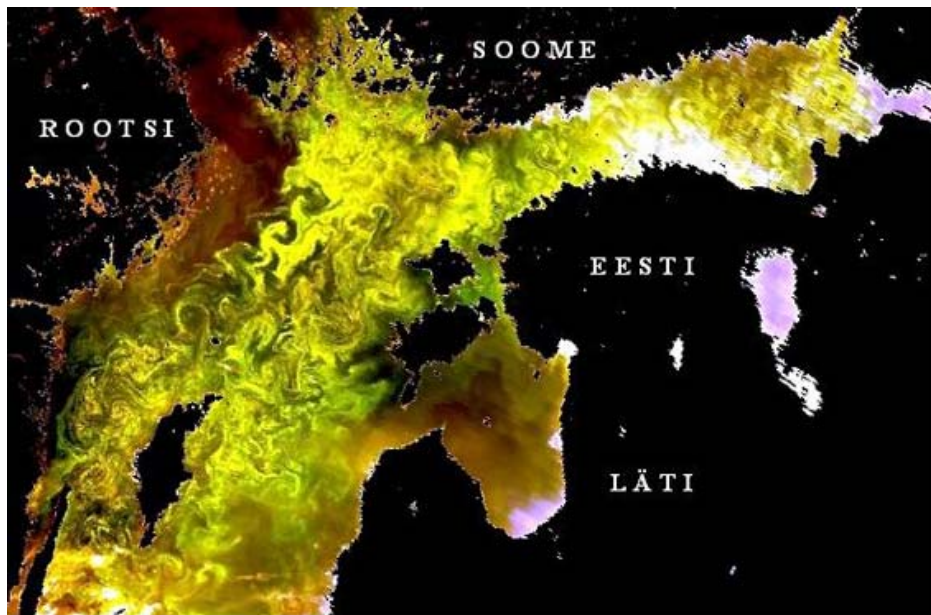
Kui selgetes ookeanivetes on merepõhjatüüpide kaugseire abil tuvastamise võimalusi uuritud juba aastakümneid, siis hägusates, optiliselt palju keerukamates vetes on selle probleemi lahendamine alles algfaasis. Läänemere oludes ei ole selle teemaatikaga praktiliselt tegeletud ning preemiaga pärjatud uurimistööd [Kutser jt, 2006de; Vahtmäe jt, 2006; Vahtmäe, Kutser, 2007] on selles vallas ühed esimestest. Saadud tulemuste põhjal võib öelda, millised põhjatüübid on Läänemere vetes üksteisest eristatavad, kui sügavas vees on see võimalik ning milliseid kaugseire sensoreid on selleks vaja kasutada. Näiteks on puna-, rohe- ja pruunvetikad ideaalsetes oludes kaardistatavad kuni sügavusteni, kus vastavad põhjataimestiku rühmad Läänemere vetes veel esinevad. Seda juhul, kui kasutada suure spektraalse lahutusega sensoreid. Selliseid eksperimentaalseid sensoreid on juba kosmoses, kuid ainsa tsiviilkasutuses oleva sensori ruumiline lahutus (30 m) on pisut liiga jäme, arvestades põhjataimestiku koosluste varieeruvuse skaalat Eesti rannikuvetes. Väga kiiresti varieeruvate põhjakoosluste oludes on optimaalsem kasutada suure ruumilise lahutusega sensoreid. Hetkel on parim saadaolev spektraalne sensor 2,4 m ruumilise lahutusega. Selle sensori spektraalne lahutusvõime ei tohiks meie hinnangute kohaselt olla piisav puna- ja pruunvetikate eristamiseks teineteisest. Samas näitab meie praktiline kogemus Eesti rannavetest, et juhul, kui uuritavast piirkonnast on piisaval hulgal *in situ* mõõtmiste andmeid, on see võimalik, kuna lisaks spektri kujule on puna- ja pruunvetikatel erinev ka spektri numbriline väärtus ehk heledus.

Madalate vete kaugseire probleemidega tegelemise käigus sai välja töötatud uudne kiirmeetod [Kutser jt, 2007b] meriheinte biomassi (kuivkaalu) määramiseks. Kuna biomassi kogumine, kuivatamine ja kaalumine on väga aeganõudev, kasutati senini põhiliselt meetodit, kus sukeldujad hindasid biomassi visuaalselt, jagades selle tiheduse järgi näiteks viide klassi. Selline meetod eeldab pikka veealust treeningut ja selle käigus teatud koguse meriheinte kogumist, mis on näiteks kaitsealadel keelatud. Uus meetod põhineb biomassi hindamisel veealustel fotodel, kasutades selleks laboris mõõdetud biomassiga ning fikseeritud suurusega (25×25 cm) testalade fotosid. Viimasel juhul tuleb klassifikatsiooni väljatöötamise käigus samuti korjata kogu biomass, see kuivatada ja



kaaluda, kuid tegemist on ühekordse protseduuriga. Uuritava ala ja mõõdetud biomassiga ala fotode võrdlus toimub samuti visuaalselt, kuid annab väga häid tulemusi ka praktiliselt treenimata personali kaasates. Oluliseks eeliseks võrreldes senise meetodiga on asjaolu, et kogu sukeldumiste aeg kulub reaalse informatsiooni kogumisele, mitte ekspertide koolitamisele ja treenimisele. Meetod on kasutatav nii kaugseire andmete kontrollimiseks kui ka iseseisva kiire veeluse meetodina biomassi hindamiseks.

Potentsiaalselt toksilised tsüanobakterite massisinemised (õitsengud) on probleemiks paljudes veekogudes, põhjustades näiteks kalade ja loomade hukkumist, aga tihti ka olulist kahju turismile. Suureks probleemiks on tsüanobakterite õitsengud Läänemeres, kus need leiavad aset igal suvel ning katavad kohati merealaseid, mis on suuremad kui 100 000 km<sup>2</sup> [Kahru, 1997]. Harvade punktmõõtmistega uurimislaevadelt või ka kasutades automaatanalüsaatoreid reisi- ja kaubalaevadel ei ole praktiliselt võimalik saada informatsiooni õitsengute ulatuse ja liikumise kohta. Õitsengute ulatuse määramine on väga lihtne satelliitide abil (joonis 4), kuna erinevalt enamusest teistest fütoplanktoni liikidest suudavad tsüanobakterid ise veesambas liikuda ning kogunevad tihti pinnalähedasse kihti või ka veepinnale ning on siis kergesti erinevate kaugseire sensorite poolt kaardistatavad.



Joonis 4.  
Satelliidi MODIS kilomeetrise ruumilise lahutusega pilt tsüanobakterite õitsengust Läänemeres 22. juulil 2002.

Lisaks õitsengu ulatusele on oluline teada ka tsüanobakterite hulka vees. Näiteks on esitatud hüpoteese [Vahtera jt, 2007], et reovete parem puhastamine Läänemere ümbruses suurendab tsüanobakterite õitsenguid, andes neile konkurentsieelise, kuna suvel pärsib teiste fütoplanktoni liikide hulka lämmastikupuudus. Tsüanobakterid suudavad aga omastada lämmastiku atmosfäärist. Seejuures võib tsüanobakterite poolt fikseeritud lämmastiku hulk olla hinnanguliselt kuni pool kogu valgalalt Läänemere suubuvast lämmastikukogusest. Samuti võib tsüanobakterite hulka suurendada kliima soojenemine, kuna õitsengute eelduseks on suhteliselt kõrged (üle 17°C) vee temperatuurid. Nende hüpoteeside kontrollimiseks ning Läänemere ökoloogia paremaks mõistmiseks on vaja teada tsüanobakterite biomassi.

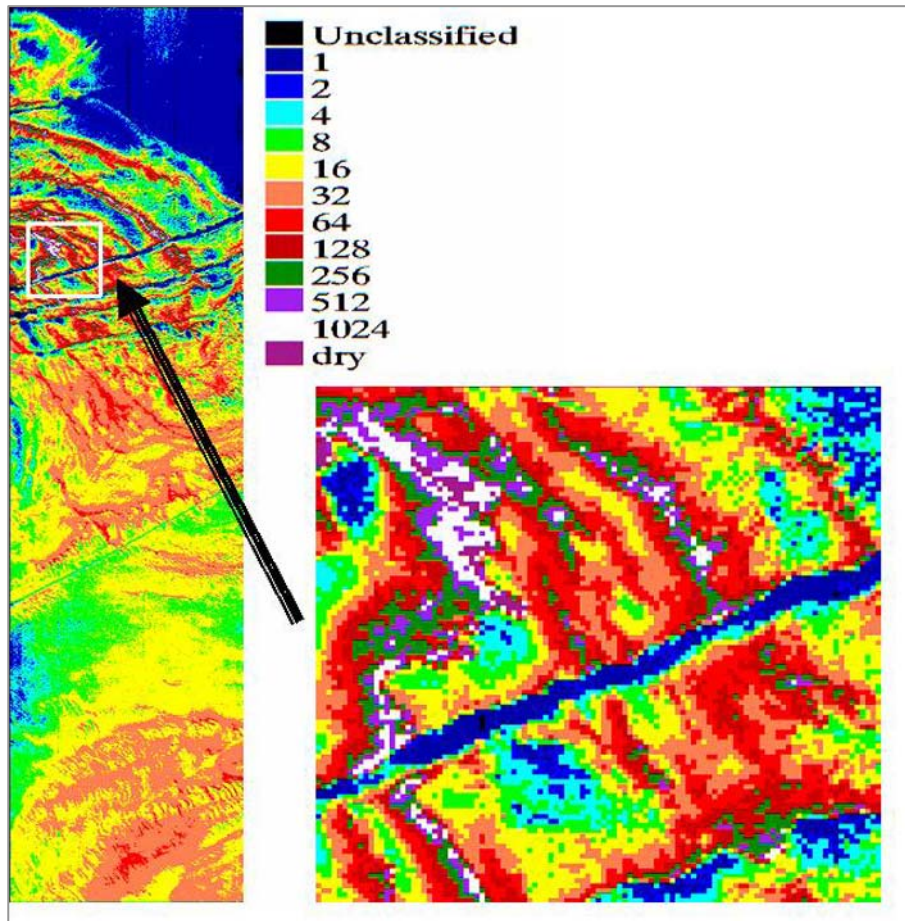
Biomassi hindamiseks töötati välja uudne meetod, mis on analoogne eespool kirjeldatud madalates vetes põhjatüüpide ja vee sügavuse samaaegse hindamise meetodiga [Kutser, 2004]. Biomassi hindamiseks kasutatakse kogu kaugseire spektrit nähtavas ja lähisinfrapunases spektriosas, võrreldes seda tuntud biomassiga vee spektritega. Seejuures võivad tuntud omadustega vee spektrid olla kas mõõdetud või modelleeritud. Kuna tsüanobakterite õitsengutest on väga vähe kontaktmõõtmiste abil kogutud informatsiooni, siis on praktiliselt ainsaks võimaluseks kasutada modelleeritud spektreid. Tuginedes laboris mõõdetud tsüanobakterite kultuuride ning Läänemere vete optilistele omadustele, modelleeriti vee heleduskoefitsiendi spektreid kindla biomassi hulga vete jaoks. Modelleeritud spektrite kaugseire piltide interpreteerimisel ilmnes, et tsüanobakterite hulk Läänemere pinnakihis võib olla kümneid kuni sadu kordi suurem kui seni arvatud [Kutser, 2004; Reinart, Kutser, 2006]. Pildimaterjali ja veeproovide kogumiseks kasutatavate meetodikate analüüs näitas, et tsüanobakterite õitsengute ajal on vaja muuta laevadelt veeproovide võtmise tehnoloogiat, et saada adekvaatset hinnangut vees leiduvate tsüanobakterite hulga kohta. Põhiliseks vääraks eelduseks on siin ühtlaselt segunenud veesamba olemasolu eeldamine. Läänemeres moodustub suvel segunenud pinnakiht, mille paksus on 10–25 meetrit. Läbivoolusüsteemiga varustatud reisi- ja kaubalaevadelt kogutakse informatsiooni vee omaduste kohta ühelt sügavuselt – sealt, kus on laeva mootorite jahutusvee sissepääsuavad (enamasti umbes 5 m sügavusel). Ka uurimislaevadelt kogutakse tihti veeproove vaid pinnakihist. Erinevalt enamusest fütoplanktoni liikidest on paljudel tsüanobakteritel võime reguleerida oma ujuvust ning liikuda sügavusse, kus on neile optimaalne valgus- ja toitainete režiim. Võttes veeproovi vaid ühelt sügavuselt võib saada väga vääralt ettekujutuse tsüanobakterite biomassist. Eriti kui proove võetakse liikuvalt laevalt, mis tõukab õitsengud endast eemale ning kui tsüanobakterid ujuvad vahetult veepinna all, veeproove võetakse aga sügavamast kihist. Joonisel 5 on näha, et laevad lükkavad oma teelt nii pinna all kui pinna peal ujuvad kogumid. Seega satub läbivoolusüsteemi väga vähe tsüanobaktereid võrreldes sellega, palju neid on vees. Joonisel 6 on kujutatud satelliidi Hyperion ning eespool kirjeldatud uudse meetodi abil saadud tsüanobakterite bio-

massi (= klorofüll-a kontsentratsioon) kaart. Nagu sellelt näha, on klorofüll-i kontsentratsioon laeva jäljes sadu kordi madalam kui mõnikümmend meetrit eemal häirimata merealal. See seab kahtluse alla nii uurimis- kui reisi- ja kaubalaevadelt läbivoolusüsteemi abil seni kogutud tsüanobakterite biomassi andmed ning ühtlasi demonstreerib kaugseire kasutamise vajadust.



Joonis 5.  
Satelliidil EO-1 paikneva sensori ALI (*Advanced Land Imager*) 30-meetrise ruumilise lahutusega pilt tsüanobakterite õitsengust Soome lahe loodeosas. Laevade poolt laiali lükatud õitsengud on näha tumedamate joontena.

Mitmed Läänemere tsüanobakterid moodustavad silmaga nähtavaid agregatsioone selle asemel, et olla ainuraksetena veekihis ühtlaselt segunenud. See tekitab omakorda probleeme veeproovide võtmisel, kuna selliseid “kolooniaid” satub (ujuvuse tõttu) proovi võtmisel anumasse enamasti hõredamalt, kui neid oli looduses. Kasutades selliseid veeproove keskkonnaseires või näiteks kaugseire algoritmide väljatöötamisel on selge, et tulemused pole kuigi usaldusväärsed.



Joonis 6.

Satelliidil EO-1 paikneva 30-meetrise ruumilise lahutusega ning suure spektraalse lahutusega sensori Hyperion pildi abil saadud tsüanobakterite biomassi kaart Soome lahe loodeosast. Legendil olevate klorofüll-a kontsentratsioonide ühikuks on  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Klass “dry” tähendab pinnal ujuvaid tsüanobakterite kogumeid, mida ei kata veekiht. Väljasuurendatud fragmendil on näha kui kiiresti ja suures ulatuses muutub biomass. Eriti silmatorkav on biomassi muutus laeva poolt kõrvale lükatud õitsengu ja häirimata alade vahel (kohati kuni 500-kordne erinevus 60 m vahemaa peal).

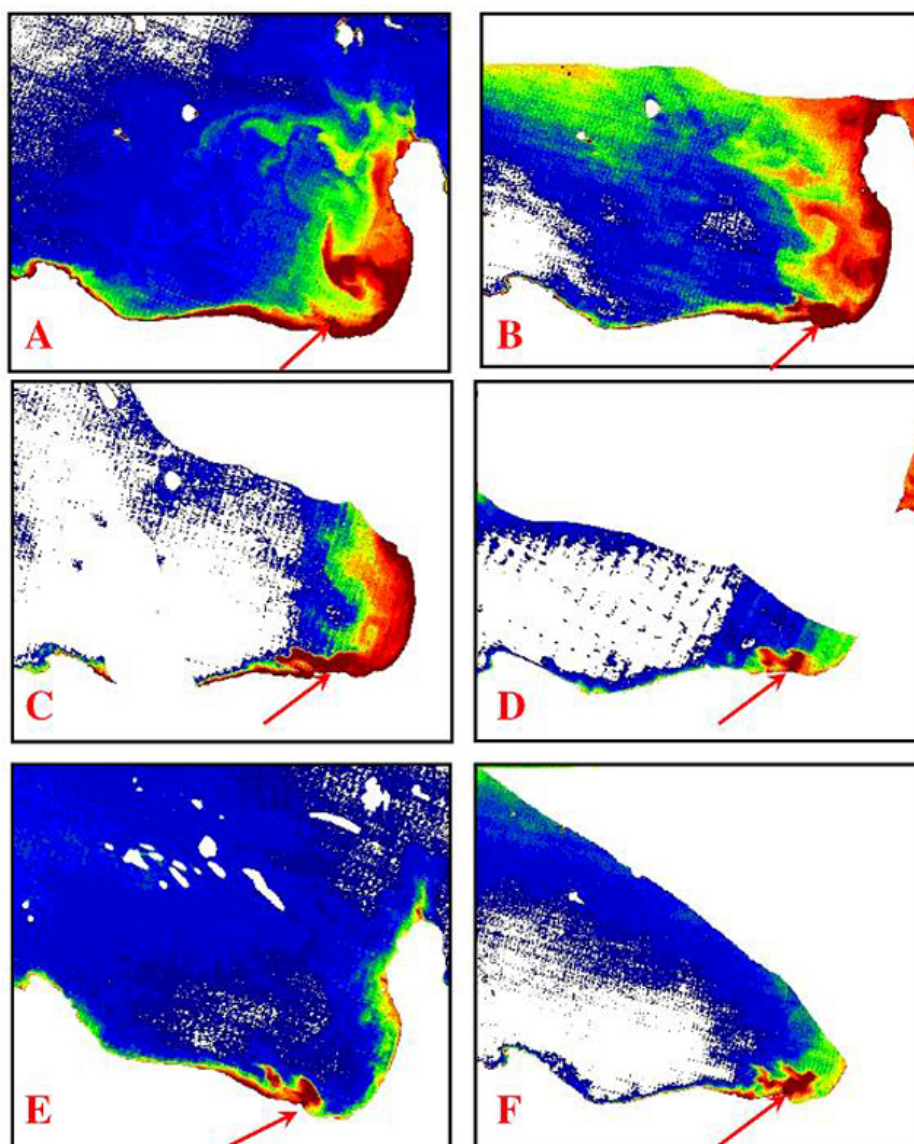
Eelmainitud mudelit kasutades uurisime, kas tsüanobakterid on optiliselt piisavalt erinevad teistest fütoplanktoni liikidest. See on oluline keskkonnaseires, kuna paljud tsüanobakterite liigid on toksilised ning nende õitsengute õigeaegne tuvastamine võimaldab hoiatada suvitajaid läheneva ohu eest või näiteks transportida ujuvsumpades kalakasvandusi kohtadesse, kus mürgistuse ohtu pole karta. Mudelarvutuste tulemused [Kutser jt, 2006a; Metsamaa jt, 2006] näitasid, et tsüanobakterid on nende heleduskoefitsiendi spektri põhjal eristatavad kõigist teistest fütoplanktoni rühmadest. Samas on kontsentratsioon, kus need erinevused on kaugseire sensorite (laeval, lennukil või satelliidil) abil tuvastatavad, suurem kui kontsentratsioon, mida loetakse Läänemeres õitsenguks. Seega ei ole õitsengu varases faasis võimalik täie kindlusega öelda, kas tegu on potentsiaalselt toksiliste tsüanobakterite õitsenguga. Õitsengu ruumiline ulatus on kaugseire sensorite abil määratav ka väiksemate kontsentratsioonide puhul. Seega on tekkivad tsüanobakterite õitsengud loogiliselt tuvastatavad (praktiliselt ainuke põhjus, mis suurendab Läänemere avaosas suvel vee heleduskoefitsienti), kuid korrektne tsüanobakterite identifitseerimine on võimalik alles suuremate biomasside puhul.

Eespool mainitud tulemused saadi kasutades suure ruumilise (30 m) ja spektraalse (200 spektrikanalit) lahutusega eksperimentaalse satelliidi pilti või simuleerides selle satelliidi spektraalset lahutusvõimet. Igapäevases keskkonnaseires saab praegu kasutada tagasihoidlikumate karakteristikutega satelliite. Seetõttu oli vaja uurida, kas ja millised merekeskkonna seireks sobivad (annaks andmeid vähemalt korra päevas) olemasolevad satelliidid on suutelised tuvastama tsüanobakterite olemasolu vees (eristama tsüanobaktereid teistest fütoplanktoni liikidest) ning millise täpsusega on võimalik saadaolevate sensorite abil tsüanobakterite hulka hinnata [Kutser, 2004; Kutser jt, 2006ab; Metsamaa jt, 2006; Reinart, Kutser, 2006].

Kaugseire meetoditega on võimalik uurida mitmeid rannalähedasi protsesse. Näiteks on oluline teada, kuidas muutub rannajoon ning kuidas toimub mineraalsete osakeste transport rannalähedases vees või uurida, kui suured alad on mõjutatud sadamaehitustest ja süvendustöödest. Kasutasime Muuga lahe süvendustööde seire käigus väljatöötatud kaugseire algoritmi Sillamäe sadama süvendustööde mõju uurimisel [Kutser jt, 2007a]. Seire käigus ilmnis suhteliselt üllatav tulemus, et sellistel madalatel rannikualadel nagu Narva laht võib sobiva tuulega vee hõljumisisaldus tõusta suurusjärgu võrra, ületades kohati isegi hõljumi väärtusi süvendustööde vahetus läheduses (joonis 7).

Samas võib tuule tõttu suurenenud hõljumiga ala suurus ületada kümneid ja sadu kordi süvendustööde käigus tekkiva hõljumi pilve suurst. Seega on antropogeensete protsesside mõju hindamisel äärmiselt oluline teada uuritavate parameetrite looduslikku varieeruvust uuritava alal. Seda on võimalik saavutada aastatepikkuse seirega uuritavas piirkonnas, mis on kontaktmõõtmistega äärmiselt kulukas ning ei saa kunagi toimuma piisava ruumilise ja ajalise katvusega. Mitmete parameetrite (hõljumi hulk, vee läbipaistvus, fütoplanktoni ja





Joonis 7.

Satelliidi MODIS 250 m ruumilise lahutusega piltidest toodetud hõljumi kaardid Narva lahes septembris 2006. A 11.09, B 13.09, C 16.09, D 17.09, E 21.09 ja F 22.09. Noolega on tähistatud Sillamäe sadam. Süvendustööde mõju ulatus on näha joonistel D–F ning sellest vasakul on näha ka välja süvendatud materjali kaadamiskoht. Joonistel A–C on põhiliselt näha enne 11. septembrit puhunud tugevate läänetuulte poolt üles segatud setted. Maismaa ning pilvedega kaetud pildiosad on kujutatud valgena.

lahustunud orgaanilise aine kontsentratsioon, vee temperatuur jne) puhul on võimalik kasutada satelliitkaugseire andmeid ning mitmete satelliitide puhul on juba võimalik kasutada ka aastate ja kohati isegi aastakümnete pikkusi aegridasid.

Kokkuvõttes võib öelda, et teaduspreemia toonud uurimistööde tsüklis pakuti välja uudseid (füüsikalisemaid) meetodeid, mis võimaldavad kaugseire abil saada rohkem ja täpsemat informatsiooni erinevate veekogudes toimuvate või nendega seotud protsesside kohta. Tulemuste potentsiaalsed rakendused ulatuvad globaalse süsinikuringe ja kliimamuutuste uurimisest kuni elanikkonna optimaalsemalt joogiveega varustamise või sadamate süvendustööde mõju ulatuse seireni.

## KIRJANDUS

Andréfouët, S., Kramer, P., Torres-Pulliza, D., Joyce, K. E., Hochberg, E. J., Garza-Perez, R., Mumby, P. J., Riegl, B., Yamano, H., White, W. H., Zubia, M., Brock, J. C., Phinn, S. R., Naseer, A., Hatcher, B. G., Muller-Karger, F. E. (2003). Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Rem. Sens. Environ.*, 88, 128-143.

Dong, J., Kaufmann, R. K., Myneni, R. B., Tucker, C. J., Kauppi, P. E., Liski, J., Buermann, W., Alexeyev, V., Hughes, M. K. (2003). Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks. *Rem. Sens. Environ.*, 84, 393-410.

Jupp, D. L. B., Mayo, K. K., Kuchler, D. A., Classen, D. V. R. (1985). Remote sensing for planning and managing the Great Barrier Reef of Australia. *Photogrammetria*, 40, 21e52.

Kahru, M. (1997). Using satellites to monitor large-scale environmental change in the Baltic Sea. Kahru, M., Brown, C. W. (eds.). *Monitoring algal blooms: New techniques for detecting large-scale environmental change*. Springer-Verlag, 43-61.

Kutser, T. (2004). Quantitative detection of chlorophyll in cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. *Limnol. Oceanogr.*, 49, 2179-2189.

Kutser, T., Dekker, A. G., Skirwing, W. (2003). Modeling spectral discrimination of Great Barrier Reef benthic communities by remote sensing instruments. *Limnol. Oceanogr.*, 48, 497-510.

Kutser, T., Jupp, D. L. B. (2006). On the possibility of mapping living corals to the species level based on their optical signatures. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 69, 607-614.

Kutser, T., Metsamaa, L., Strömbeck, N., Vahtmäe, E. (2006a). Monitoring cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 67, 303-312.

- Kutser, T., Metsamaa, L., Vahtmäe, E., Aps, R. (2007a). Operative monitoring of the extent of dredging plumes in coastal ecosystems using MODIS satellite imagery. *J. Coast. Res.*, SI50, 180-184.
- Kutser, T., Metsamaa, L., Vahtmäe, E., Strömbeck, N. (2006b). On suitability of MODIS 250 m resolution band data for quantitative mapping cyanobacterial blooms. *Eesti Teaduste Akadeemia Toimetised. Bioloogia. Ökoloogia*, 55, 318-328.
- Kutser, T., Miller, I., Jupp, D. L. B. (2006c). Mapping coral reef benthic substrates using hyperspectral space-borne images and spectral libraries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 70, 449-460.
- Kutser, T., Pierson, D. C., Kallio, K., Reinart, A., Sobek, S. (2005a). Mapping lake CDOM by satellite remote sensing. *Rem. Sens. Environ.*, 94, 535-540.
- Kutser, T., Pierson, D. C., Tranvik, L., Reinart, A., Sobek, S., Kallio, K. (2005b). Estimating the colored dissolved organic matter absorption coefficient in lakes using satellite remote sensing. *Ecosystems*, 8, 709-720.
- Kutser, T., Vahtmäe, E., Martin, G. (2006d). Assessing suitability of multi-spectral satellites for mapping benthic macroalgal cover in turbid coastal waters by means of model simulations. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 67, 521-529.
- Kutser, T., Vahtmäe, E., Metsamaa, L. (2006e). Spectral library of macroalgae and benthic substrates in Estonian coastal waters. *Eesti Teaduste Akadeemia Toimetised. Bioloogia. Ökoloogia*, 55, 329-340.
- Kutser, T., Vahtmäe, E., Roelfsema, C. M., Metsamaa, L. (2007b). Photo-library method for mapping seagrass biomass. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 75, 559-563.
- Metsamaa, L., Kutser, T., Strömbeck, N. (2006). Recognising cyanobacterial blooms based on their optical signature: a modelling study. *Boreal Environ. Res.*, 11, 493-506.
- Reinart, A., Kutser, T. (2006). Comparison of different satellite sensors in detecting cyanobacterial bloom events in the Baltic Sea. *Rem. Sens. Environ.*, 102, 74-85.
- Sobek, S., Algesten, G., Bergström, A.-K., Jansson, M., Tranvik, L. J. (2003). The catchment and climate regulation of pCO<sub>2</sub> in boreal lakes. *Global Change Biology*, 9, 630-641.
- Tranvik, L. J. (1990). Bacterioplankton growth on fractions of dissolved organic carbon of different molecular weights from humic and clear waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56, 1672-1677.
- Vahtera, E., Conley, D. J., Gustafsson, B. G., Kuosa, H., Pitkänen, H., Savchuk, O. P., Tamminen, T., Viitasalo, M., Voss, M., Wasmund, N., Wulff, F. (2007). Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio*, 36, 186-194.



Vahtmäe, E., Kutser, T. (2007). Mapping bottom type and water depth in shallow coastal waters with satellite remote sensing. *J. Coast. Res.*, S150, 185-189.

Vahtmäe, E., Kutser, T., Martin, G., Kotta, J. (2006). Feasibility of hyperspectral remote sensing for mapping benthic macroalgal cover in turbid coastal waters. *Rem. Sens. Environ.*, 101, 342-351.

*Teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal  
uurimuste tsükli "Inimgenoomi bioinformaatiline analüüs" eest*



*Mairo Remm*

Sündinud 11.07.1965 Tartus

1983 Tartu 5. Keskkool

1990 Tartu Ülikool, biokeemia eriala

1990 Eesti Biokeskuse teadur

1991–1992 erialane enesetäiendamine, Marie Curie Vähiuuringute Instituut, UK

1997 PhD molekulaarbioloogias, Tartu Ülikool

1997–1998 järel doktorant, Uppsala Ülikool, molekulaarbioloogia osakond

1999–2000 järel doktorant, Karolinska Instituut, Genoomika ja Bioinformaatika Keskus

Aastast 2003 Tartu Ülikooli bioinformaatika professor, Molekulaar- ja Rakubioloogia Instituudi bioinformaatika õppetooli juhataja

Avaldanud 30 rahvusvahelist ISI WoS ja PubMed publikatsiooni.

## UUTE BIOINFORMAATILISTE MEETODITE ARENdamINE JA NENDE RAKENDAMINE GENOOMIDE UURIMISEKS

### SISSEJUHATUS

Viimase paari aastakümne jooksul on tehnoloogia areng loonud olukorra, kus eksperimentaalsete andmete saamine bioloogias on kiire ja suhteliselt odav. Enamus nendest andmetest saadakse DNA järjestuste kujul, mis kirjeldavad üksikuid geene või isegi terveid genome. Järjestuste andmebaaside maht on viimase kümne aasta jooksul kasvanud eksponentsiaalselt. Uute mahukate andmetike analüüsi juures on oluliseks komponendiks nii andmetike haldamine, kiired ja originaalsed algoritmid andmetike analüüsiks kui ka statistiline taust tulemuste tõlgendamiseks. Nende molekulaarbioloogide ees seisvate probleemide lahendamiseks on tekkinud uued teadusharud – bioinformaatika ja genoomika.

Bioinformaatika (tuntud ka nime all arvutuslik bioloogia) on teadus, mis tegeleb suuremahuliste bioloogiliste andmete haldamise, hoidmise, visualiseerimise ja analüüsiga arvutite abil.

Genoomika on teadus genoomide DNA järjestuste uurimisest arvuti abil. Selle uurimise käigus üritatakse selgitada evolutsioonilisi mehhanisme, mis muudavad genome ja molekulaarseid mehhanisme ning võimaldavad genoomides peituvat infot kasutada. Minu teadustöö peamiseks sisuks on olnud bioinformaatika meetodite arendamine genoomide uurimiseks.



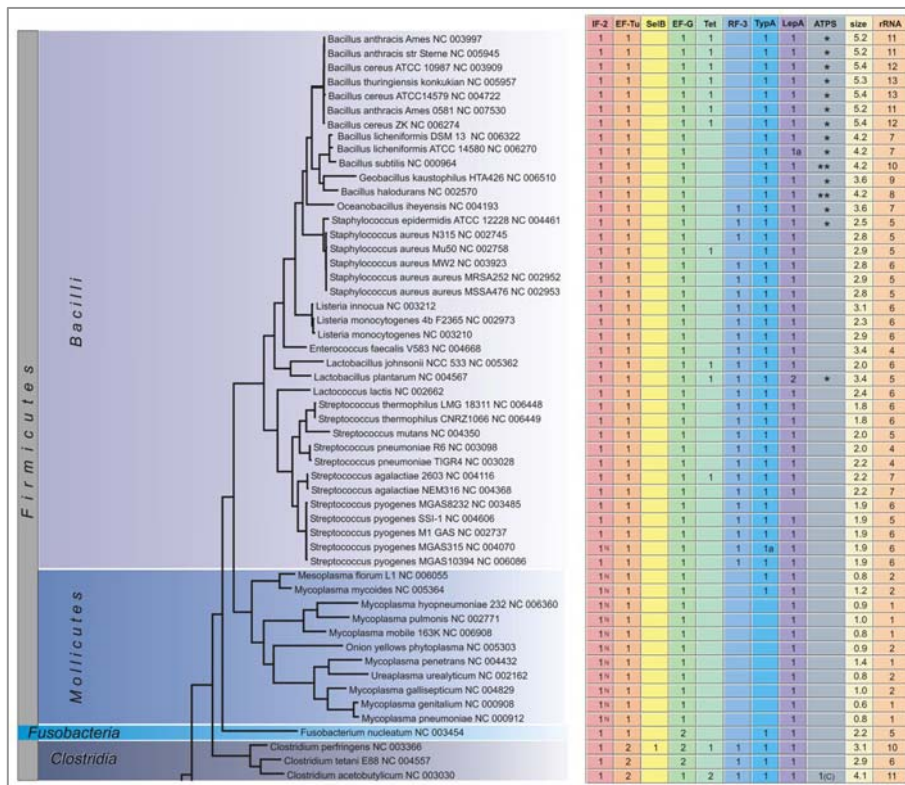
Bioinformaatika töögrupp sügisseminaril Toilas 2007

#### UURINGUD VÖRDLEVAST GENOOMIKAST

Alustasin võrdleva genoomika alaseid uuringuid järel doktorantuuri aastatel Uppsala Ülikoolis (1997–1999) ja Karolinska Instituudis (1999–2001). Karolinska Instituudi perioodil oli minu tööks leida genoomide järjestustest geene, mis täidavad erinevates liikides sama rolli (omavad sama biokeemilist või molekulaarset funktsiooni). Selliseid geene nimetatakse ORTOLOOGSETEKS geenideks. Ortoloogsete geenide leidmine on ääretult oluline uute genoomide uurimisel, sest just ortoloogsed geenid peaks kandma erinevates genoomides sama funktsiooni. Teema pakkus huvi ravimifirmale “Pharmacia”, kes lootis leida pooleldi järjestatud inimese genoomist tundmatu funktsiooniga geene uute ravimite väljatöötamiseks ning seejärel neid geene põhjalikumalt uurida teistes teadaoleva genoomiga organismides. Seetõttu oli vaja meetodikat, mis aitaks ennustada genoomide järjestusest, millised ühe organismi geenid omavad sama funktsiooni teise organismi kindlate geenidega. Probleemi teeb keerulisemaks asjaolu, et alati ei pruugi see seos olla üks-ühene. Vahel täidab ühe inimese geeni funktsiooni suurem grupp geene teises organismis. Vahel täidab terve grupi inimese geenide funktsioone ainult üks geen teises organismis. Ortoloogsete geenide leidmine on seni toimunud evolutsioonipuude koostamise abil, kuid see on aeglane protsess, mida on raske automatiseerida. Minu poolt loodud algoritm võimaldas ortoloogide leidmise automatiseerida ja koostada ka vastavad andmebaasid 35 organismi genoomides olevatest ortologi-

dest. See on praeguseks üks kasutatavamaid ortoloogide andmebaase. Vastavaid artikleid on hetkel viidatud 327 korda.

Viimastel aastatel olen oma pikaajalisi kogemusi genoomide uurimisel rakendanud ka bakterite uurimisel. Bakterite genoomid on suhteliselt väikesed ja neid on praeguseks täies ulatuses sekveneeritud üle 500. Seetõttu saab neid genome võrreldes leida, millised genoomides kirjas olevad seaduspärasused on universaalselt konserveerunud kogu eluslooduses. Meie töögrupi osalusel on avastatud mitmesuguseid selliseid universaalseid seaduspärasusi bakterite genoomides, näiteks aminohappealaniini tugev üle-esindatus kõrgelt ekspresseerunud valkude teises positsioonis kõigis bakterites, kindlate koodonite paaride tugev vältimine kõigis bakterites ja valkude sünteesi initsiatsiooniks vajalike Shine-Dalgarno järjestuste varieeruvuse muster *E.coli* genoomis. Pikkemalt oleme uurinud ka valgu sünteesiga seotud GTP-aasi aktiivsusega valkude geenide puudumise või esinemise seaduspärasusi erinevates genoomides.



Joonis 1. Mõnede valguperekondade liikmete arv erinevates bakterigenoomides [Margus jt, 2007].

Võrdleva genoomika osatähtsus meie töögrupis on viimastel aastatel suurenenud. Lisaks bakterite genoomide analüüsile ja inimese genoomi analüüsile (kirjeldatud pikemalt allpool) oleme viimasel ajal rohkem tähelepanu pööranud ka teiste liikide genoomidele. Hetkel oleme koostöös mitmete Euroopa teadusgruppide ja J. Craig Venteri Instituudiga alustanud ühe farmaatsiatööstuse seisukohalt huvipakkuva meres elava teoliigi genoomi järjestuse määramist. See tigu kasutab toiduks kalu, keda ta surmab enda poolt sünteesitava toksiinide kokteiliga. On teada, et mõned neist teo toksiinidest võivad toimida inimesele efektiivse valuvaigistina. Teo genoomi uurimisel loodame teada saada, kui palju toksine teod on võimelised tootma, millised geenid teo toksine kodeerivad, kuidas neid geene reguleeritakse ja kui palju need geenid erinevate teo liikide vahel varieeruvad. See töö aitab kaasa uute valuvaigistite väljatöötamisele.

**CONCO: EU FP6 project for sequencing of marine snail *Conus consor* (2007-2011)**

Test database

Showing 20 kbp from ChrV, positions 100,000 to 120,000

**Instructions**  
Search using a sequence name, gene name, locus, or other landmark. The wildcard character \* is allowed. To center on a location, click the ruler. Use the ScrollZoom buttons to change magnification and position.

**Examples:** YALG31C, YCRD2, ChrV:100000-120000

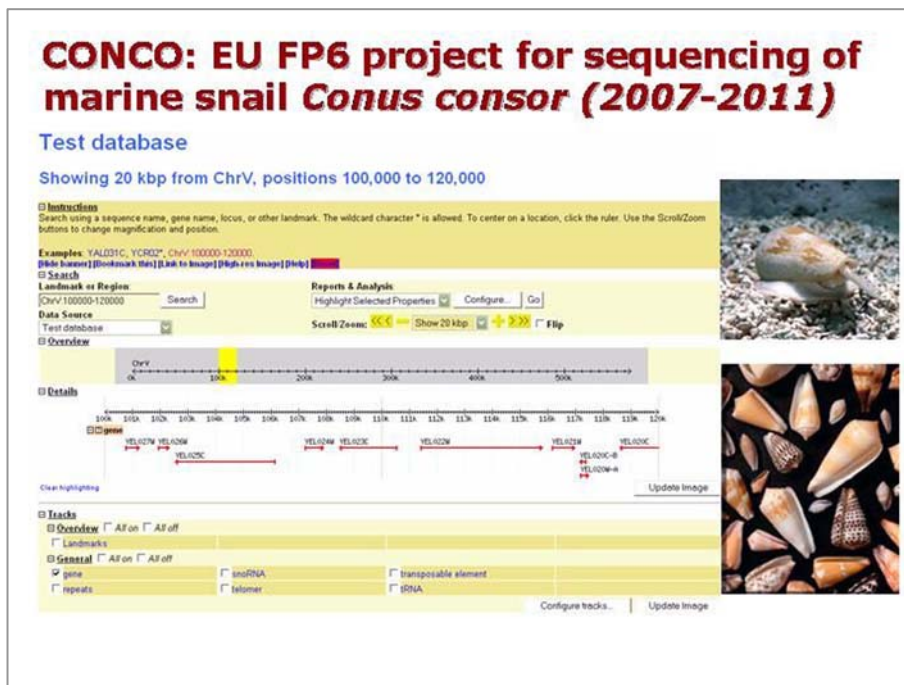
**Search**  
Landmark or Region: ChrV:100000-120000 Search  
Data Source: Test database  
ScrollZoom: Show 20 kbp

**Reports & Analysis**  
Highlight Selected Properties Configure Go

**Overview**  
ChrV  
100k 110k 120k

**Details**  
100k 105k 110k 115k 120k  
VELG27W VELG28W VELG29C VELG29W VELG29E VELG29W VELG29W VELG29C-4 VELG29C-4  
VELG29C-4 VELG29C-4

**Tracks**  
Overview All on All off  
Landmarks  
General All on All off  
gene snRNA transposable element  
repeats telomer IRNA

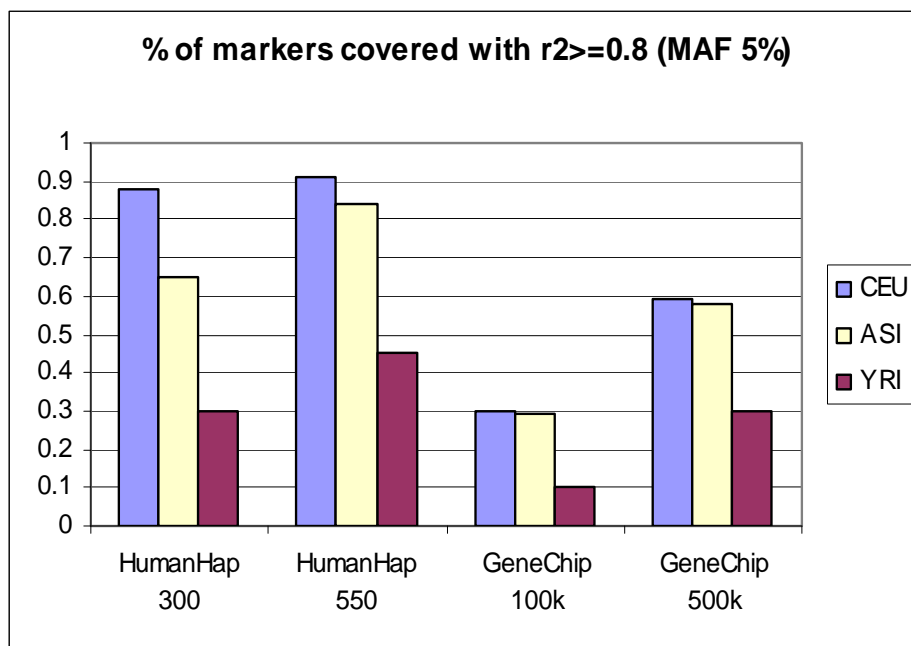


Joonis 2.  
Meretigu *Conus consor* ja näidis genoomi andmete haldamise programmist GBrowser.

## INIMESE GENOOMI UURINGUD

Inimese genoomide uurimisel on praegu kõige olulisemaks teemaks inimestevahelise genoomi varieeruvuse ulatuse leidmine ja inimestevahelise geneetilise varieeruvuse seostamine inimeste omaduste ja haigusriskidega.

Meie töörühma olulisemad tööd selles valdkonnas on tehtud geneetiliste markerite valiku alal, mis on geneetiliste analüüside juures üheks peamiseks probleemiks. Võimalikke markereid on üle 10 miljoni, kuid praegused tehnoloogiad ei võimalda nii palju markereid korraga analüüsida. Ülegenoomset geneetiliste markerite analüüsi tulemust nimetame GEENIKAARDIKS. Ülegenoomsete geenikaartide koostamisel on oluline valida paljude võimalike markerite hulgast minimaalne hulk kõige informatiivsemaid markereid. Küsimus on selles, milliseid markereid geenikaardi koostamiseks kasutada. Seejuures mõjutab valikuid ka uuritavate inimeste päritolu. Eurooplaste uurimiseks kasutatavad markerid ei pruugi sobida aafriklaste geenikaardi koostamiseks. Meie töörühma osalusel on publitseeritud rida uurimistöid, kus uuriti markerite valiku mõju geneetiliste uuringute tulemustele ja võrreldi markerite käitumist erinevates populatsioonides. Nende uuringute läbiviimiseks töötati muuhulgas välja tarkvara REAPER, mis esmakordselt maailmas võimaldas arvutada geenikaardi koostamiseks optimaalseima markerite komplekti kogu genomist.



Joonis 3.

Laiemalt kasutatavate geenikaardi koostamise tehnoloogiate kasutatavus erinevate populatsioonide uurimiseks (CEU – eurooplased, ASI – aasialased, YRI – Yoruba, Nigeeria). Nimetatud artiklis näitasime, et vastavate tehnoloogiate kasutatavus eestlaste jaoks on sarnane kasutatavusega eurooplaste uurimiseks [Magi jt, 2007].



Oluline on ära märkida, et mitmetes meie uuringutes on käsitletud eestlaste geenikaardi koostamise probleemi. Nende uuringute tulemusena on leidnud kinnitust, et praegu laialt kasutusel olevad kommertsiaalsed tehnoloogiad (Illumina 370K, Illumina 550K, Affymetrix 500k) sobivad hästi eestlaste geenikaardi koostamiseks. See tulemus lihtsustab oluliselt eestlaste geneetilist uurimist lähematel aastatel.

## GENOOMIDE UURIMISE TEHNOLOOGIA

Nii inimese kui teiste genoomide uurimisel kasutatakse laialdaselt DNA molekulide võimet spetsiifiliselt hübridiseeruda teise DNA või RNA molekuliga. DNA-DNA hübridiseerumisel põhinevad kõik praegused suuremahulise analüüsi tehnoloogiad, nagu näiteks DNA mikrokiibid ja genoomse DNA võimendamine polümeraasi ahelreaktsiooni (PCR) abil. Samas on suhteliselt keeruline ennustada, kui tugevasti üks DNA molekul seondub teise DNA molekuli külge kogu genoomi kontekstis. Samuti puudub tarkvara DNA molekulide seondumiskohtade ennustamiseks.

DNA hübridiseerimisel põhinevate tehnoloogiate ja vastava tarkvara arendamisest on meie tööühm publitseerinud viimastel aastatel kaheksa artiklit. Siamaani puudub selge ettekujutus, miks mõnede genoomi piirkondade uurimine DNA-põhiste tehnoloogiatega õnnestub alati hästi ja mõned piirkonnad ei anna selgeid ja korratavaid tulemusi. Enamasti esinevad sellised raskesti uuritavad piirkonnad genoomis mitme kordusena. Pikka aega kasutati selliste piirkondade leidmiseks programmi RepeatMasker, kuid selle töökiirus oli sedavõrd aeglane, et korduste leidmiseks inimese genoomist kuluks ca 1000 tundi. Samuti ei sobi see korduste leidmiseks uutest, värskest järjestatud genoomidest. Meie uurimisgrupis loodi algoritm ja tarkvara raskesti uuritavate ja kordusjärjestuste piirkondade leidmiseks inimese genoomist. Nimetatud tarkvara – GENOMEMASKER – võimaldab kordused inimese genoomist leida ja märgistada vähem kui 2 tunniga, olles seega >500 korra kiirem seni kasutatud RepeatMaskerist. GENOMEMASKER tarkvara sobib ka korduste *de novo* leidmiseks täiesti uutest genoomijärjestustest. Nimetatud tarkvara kasutades on arendatud mitmeid keerukamaid rakendusi nii PCRi tehnoloogia kui ka mikrokiipide täiustamiseks. Näiteks on loodud algoritmid ja tarkvara DNA proovide valikuks geenide koopia arvu määramise kiipidele. Samuti on loodud tarkvara PCRi praimerite multipleksimiseks, et oleks võimalik teha mitu PCRi reaktsiooni ühes ja samas lahuses.

Olulise tähisena tahaksin välja tuua meie töögrupi osaluse praimerite disaini programmi Primer3 arendamisel. Primer3 on kasutusel *de facto* standardina peaaegu kõigis maailma uurimisgruppides, kes tegelevad PCRi praimerite disainimisega. Meie töögrupis on programmi täiustatud, nii et programm oskab vältida probleemseid genoomipiirkondi, mis on eelnevalt leitud teise meie programmi GENOMEMASKER poolt. Lisaks parandati Primer3 programmi nii, et ta oskab tunduvalt täpsemalt arvutada ka praimerite sulamistemperatuuri.



**A.**

```
>user sequence
TTAACGTTTTCAAAAAGTTAACAGTACCTATGTCTTCATAGTATTTATTACATTC
AGAAATTTTAATTTACCTACCTTTCTTATCCATAGTTTCTAATCTTATGAAATAA
GCATGCATTTGTTCTGTAGTAAGAAAAATAATTTTATTCTGTTATTTAAATAAA
ATGTATATATACTCATAGTTGAGTAATAAACTTTTCATCTAGATAAGTTTTTTA
AAAMTGTGTAATACATTAATTAATTTATTGTGAGTAGGAATTACCTACATTTA
TATATTTAAATAAATAGGTTTTTAATAAAATAACATTTACAGAGTTGCAGTCATT
GTTGTATTAAGAGTTCTAAATACTTTTATGTATGTTAGGCTGACCTGAAAGATCC
AGAATCGATCTGATTTTCCTTGATCTGTC
```

**B.**

```
>user sequence
TTAACGTTTTCAAAAAGTTAacagtACCTATGTCTTCATAGTAtttAttaCattc
AGaaaTTtaatttacCtaCCTTTCTtATCCATAGTTTCTAATCttATGaaaTaa
gCATGCAttTTctGTAGTAAgaaaaataatttttattctgttatttaaaaa
atgtatataactcataGTTGAGTAATAAACTtTtcatctAGATAAGTTTTTTA
AAAMTGTGTAatacattaaattAAATTTATTGTGAGTAGGaAttaCctacattta
tatatttaaataaataggtttttaaaaaATaACATTTACAGAGTTGCAGTCATT
GTTGTATTAAGagtTTctaAataCTTTTATGTATGTTAGGCTGACCTGAAAGATCC
AGAATCGATCTGATTTTCCTTGATCTGTC
```

**C.**

```
>user sequence
TTAACNNNNNCAAAAAGTTANNNNNACCNNGNNNTNNNNGTNNNNANNNNNNNN
NGNNNTNNNNNNNNNNCNCCNTTCTNATNNATAGTNTCNNAATCNNNTGNANNTN
NCATGCNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNN
NNNNNNNNNNNNNNNNNGNTNNNNNNNTAAAACTNTNNNNNNNNNATAAGTTTTTTA
NNNNMGNNNNNNNNNNNNNNTNNNNNNNNNNNNNGTAGGNANNNCNNNNNNNNN
NNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNTTNCAGTCATT
GTTGTATTAAGNNNTCNNANNNCTTTNNNGTNNNGNNNGGCTGACCTGAAAGATCC
AGAATCGATCTGATTTTCCTTGATCTGTC
```

**D.**

```
>user sequence
TTAAC#####AACAGTACC#####
#####TTTCTTAT#####
#####CTCATAG#####TCATC#####TTA
AAAM#####TTGTGAGTAGG#####
#####GAGTTGCAGTCATT
GTTGTATTAAG#####ATGTTAGGCTGACCTGAAAGATCC
AGAATCGATCTGATTTTCCTTGATCTGTC
```

Joonis 4.  
Näide erinevatest viisidest, kuidas GENOMEMASKER-i abil saab genoomi järjestust maskeerida [Anderson jt, 2007].

<b>Please select genome and dbSNP version:</b>	
NCBI Homo Sapiens Build 35.1 (June 2004) + dbSNP Build 125	
<b>Please insert a region coordinates or select input file:</b>	
Chromosome: 1	Start position: <input type="text"/> End position: <input type="text"/>
Your input file must be in FastA format: <input type="text"/> <input type="button" value="Browse..."/>	
<b>Mask SNPs with symbol:</b>	
<input checked="" type="radio"/> With 'N' symbol (default) <input type="radio"/> With lower-case letter <input type="radio"/> With IUPAC symbol <input type="radio"/> With custom symbol -> <input type="text"/>	
<b>Mask SNPs with MAJOR allele (HUMAN ONLY!):</b>	
<input type="radio"/> Replace with upper-case letter using HapMap major allele frequency <input type="radio"/> Replace with lower-case letter using HapMap major allele frequency	
Population: CEPH	
HapMap major allele frequency cutoff: 60 %	
HapMap major allele callrate cutoff: 50 %	
<b>Repeat-masking options:</b>	<b>GenomeMasker options:</b>
<input checked="" type="radio"/> GenomeMasker with lower-case letters (default) <input type="radio"/> GenomeMasker with custom letters -> <input type="text"/> <input type="radio"/> RepeatMasker with lower-case letters <input type="radio"/> NO repeat-masking	<input checked="" type="radio"/> BOTH strands (default) <input type="radio"/> FORWARD strand only <input type="radio"/> REVERSE strand only <input type="radio"/> Outside TARGET region <small>This type masks upper strand in front of target region and lower strand behind the target region. FROM and TO define start and end nucleotides of the target region (NOT an absolute positions in chromosome!).</small> From: <input type="text"/> to: <input type="text"/> Number of bp to mask: 16 <small>(from 3' end of repeats)</small>
<b>If you enter Your email address, You will get an email when SNPmasker job is finished (optional):</b>	
<input type="text"/>	
<input type="button" value="Run SNPmasker"/>	<input type="button" value="Reset"/>

Joonis 5.

Näide SNPmasker programmi kasutajaliidesest (<http://bioinfo.ut.ee/snpmasker/>), mis võimaldab kasutaja poolt etteantud järjestuses leida SNPde asukohad ja need märgistada [Anderson jt, 2006].

Primer3 eelmine versioon võis sulamistemperatuuri ennustamisel eksida kuni 10 kraadi. Primer3 programmi edasine arendamine meie töörühmas toimub koostöös originaalversiooni autori Steve Rozeniga.

DNA hübriidiseerumisel põhinevatele probleemidele on meie töögruppis lähenetud terviklikult, püüdes statistilise analüüsi abil leida molekulaarseid mehha-

nisme, mis mõjutavad PCRi edukust erinevate inimese genoomi fragmentide paljundamisel. Selles Ettevõtluse Arendamise Sihtasutuse poolt finantseeritud projektis tegime tuhandeid PCRi katseid ja analüüsisime, millised DNA järjestused annavad katses paremaid tulemusi ja millised halvemaid. Koostasime statistilised mudelid, mis suudavad ennustada suvalise DNA järjestuse (suvalise praimer) edukust inimese genoomi fragmentide paljundamisel. Selle töö tulemusena suudame nüüd veel paremini märgistada kogu inimese genoomis piirkonnad, mida peab PCRi praimerite disainil vältima.

## KIRJANDUS

Andreson, R., Kaplinski, L., Remm, M. (2007). Fast masking of repeated primer binding sites in eukaryotic genomes. Yuryev, A. (ed.). PCR Primer Design. Humana Press, 367.

Andreson, R., Puurand, T., Remm, M. (2006a). SNPmasker: automatic masking of SNPs and repeats across eukaryotic genomes. Nucleic Acids Res., 34 (Web Server Issue), W651-W656.

Andreson, R., Reppo, E., Kaplinski, L., Remm, M. (2006b). GENOMEMASKER package for designing unique genomic PCR primers. BMC Bioinform., 7, 172.

Dawson, E., Abecasis, G. R., Bumpstead, S., Chen, Y., Hunt, S., Beare, D. M., Pabial, J., Dibling, T., Tinsley, E., Kirby, S., Carter, D., Papaspyridonos, M., Livingstone, S., Ganske, R., Lohmussaar, E., Zernant, J., Tonisson, N., Remm, M., Magi, R., Puurand, T., Vilo, J., Kurg, A., Rice, K., Deloukas, P., Mott, R., Metspalu, A., Bentley, D. R., Cardon, L. R., Dunham, I. (2002). A first-generation linkage disequilibrium map of human chromosome 22. Nature, 418, 6897, 544-548.

Kaplinski, L., Andreson, R., Puurand, T., Remm, M. (2005). MultiPLX: automatic grouping and evaluation of PCR primers. Bioinformatics, 21, 8, 1701-1702.

Kaplinski, L., Remm, M. (2007). MultiPLX: Automatic Grouping and Evaluation of PCR Primers. Yuryev, A. (ed.). PCR Primer Design. Humana Press, 367.

Koressaar, T., Remm, M. (2007). Enhancements and modifications of primer design program Primer3. Bioinformatics, 23, 10, 1289-1291.

Kousoulidou, L., Parkel, S., Zilina, O., Palta, P., Puusepp, H., Remm, M., Turner, G., Boyle, J., van Bokhoven, H., de Brouwer, A., van Esch, H., Froyen, G., Ropers, H., Chelly, J., Moraine, C., Gecz, J., Kurg, A., Patsalis, P. C. (2007). Screening of 20 patients with X-linked mental retardation using chromosome X-specific array-MAPH. Eur. J. Med. Genet., 50, 6, 399-410.

- Kousoulidou, L., Männik, K., Sismani, C., Žilina, O., Parkel, S., Puusepp, H., Tõnisson, N., Palta, P., Remm, M., Kurg, A., Patsalis, P. C. Array-MAPH: a methodology for the detection of locus copy-number changes in complex genomes. *Nature Protoc.* (accepted).
- Kousoulidou, L., Männik, K., Zilina, O., Parkel, S., Palta, P., Remm, M., Kurg, A., Patsalis, P. C. Application of two different microarray-based copy-number detection methodologies - array-CGH and array-MAPH - with identical amplifiable targetsequences. *Clin. Chem. Lab. Med.* (accepted).
- Kuningas, M., Mägi, R., Westendorp, R. G., Slagboom, P. E., Remm, M., van Heemst, D. (2007). Haplotypes in the human *Foxo1a* and *Foxo3a* genes; impact on disease and mortality at old age. *Eur. J. Hum. Genet.*, 15, 3, 294-301.
- Laan, M., Wiebe, V., Khusnutdinova, E., Remm, M., Paabo, S. (2005). X-chromosome as a marker for population history: linkage disequilibrium and haplotype study in Eurasian populations. *Eur. J. Hum. Genet.*, 13, 4, 452-462.
- Margus, T., Remm, M., Tenson, T. (2007). Phylogenetic distribution of translational GTPases in bacteria. *BMC Genom.*, 8, 15.
- Montpetit, A., Nelis, M., Laflamme, P., Magi, R., Ke, X. Y., Remm, M., Cardon, L., Hudson, T. J., Metspalu, A. (2006). An evaluation of the performance of tag SNPs derived from HapMap in a Caucasian population. *PLoS Genet.*, 2, 3, 282-290.
- Mueller, J. C., Lõhmussaar, E., Mägi, R., Remm, M., Bettecken, T., Lichtner, P., Huber, S., Illig, T., Luedemann, J., Schreiber, S., Wichmann, H. E., Pramstaller, P., Romeo, G., Testa, A., Metspalu, A., Meitinger, T. (2005). Linkage Disequilibrium Patterns and tagSNP Transferability among European Populations. *Am. J. Hum. Genet.*, 76, 3, 387-398.
- Mägi, R., Kaplinski, L., Remm, M. (2006). The Whole Genome TagSNP Selection and Transferability Among HapMap Populations. *Pacific Symposium on Biocomputing 2006: 2006*. World Scientific Publ Co Pte Ltd, 535-543.
- Magi, R., Pfeufer, A., Nelis, M., Montpetit, A., Metspalu, A., Remm, M. (2007). Evaluating the performance of commercial whole-genome marker sets for capturing common genetic variation. *BMC Genom.*, 8, 159.
- O'Brien, K. P., Remm, M., Sonnhammer, E. L. (2005). Inparanoid: a comprehensive database of eukaryotic orthologs. *Nucleic Acids Res.*, 33, D476-D480.
- Patsalis, P. C., Kousoulidou, L., Männik, K., Sismani, C., Žilina, O., Parkel, S., Puusepp, H., Tõnisson, N., Palta, P., Remm, M., Kurg, A. (2007). Detection of small genomic imbalances using microarray-based multiplex amplifiable probe hybridization. *Eur. J. Hum. Genet.*, 15, 2, 162-172.
- Plumpton, M., Sharp, N. A., Liddicoat, L. H., Remm, M., Tucker, D. O., Hughes, F. J., Russell, S. M., Romanos, M. A. (1995). A high-capacity assay for

- inhibitors of human papillomavirus DNA-replication. *Bio-Technology*, 13, 11, 1210-1214.
- Remm, M., Brain, R., Jenkins, J. R. (1992). The e2 binding-sites determine the efficiency of replication for the origin of human papillomavirus type-18. *Nucleic Acids Res.*, 20, 22, 6015-6021.
- Remm, M., Kurg, A., Metspalu, A. (2004). Primer design for large-scale multiplex PCR and arrayed primer extension (APEX). Weissensteiner, T., Griffin, H. G., Griffin, A. (eds.). *PCR Technology, Current Innovations*. 2nd Edition. Boca Raton, CRC PRESS, 131-139.
- Remm, M., Metspalu, A. (2002). High-density genotyping and linkage disequilibrium in the human genome using chromosome 22 as a model. *Curr. Opin. Chem. Biol.*, 6, 1, 24-30.
- Remm, M., Remm, A., Ustav, M. (1999). Human papillomavirus type 18 E1 protein is translated from polycistronic mRNA by a discontinuous scanning mechanism. *J. Virol.*, 73, 4, 3062-3070.
- Remm, M., Sonnhammer, E. (2000). Classification of transmembrane protein families in the *Caenorhabditis elegans* genome and identification of human orthologs. *Genome Res.*, 10, 11, 1679-1689.
- Remm, M., Storm, C. E. V., Sonnhammer, E. L. (2001). Automatic clustering of orthologs and in-paralogs from pairwise species comparisons. *J. Mol. Biol.*, 314, 5, 1041-1052.
- Sturzbecher, H. W., Brain, R., Addison, C., Rudge, K., Remm, M., Grimaldi, M., Keenan, E., Jenkins, J. R. (1992). A C-terminal alpha-helix plus basic region motif is the major structural determinant of p53 tetramerization. *Oncogene*, 7, 8, 1513-1523.
- Tamm, R., Oselin, K., Kallassalu, K., Magi, R., Anier, K., Remm, M., Metspalu, A. Thiopurine S-methyltransferase (TPMT) pharmacogenetics: three new mutations and haplotype analysis in the Estonian population. *Clin. Chem. Lab. Med.* (accepted).
- Tats, A., Remm, M., Tenson, T. (2006). Highly expressed proteins have an increased frequency of alanine in the second amino acid position. *BMC Genom.*, 7, 28.
- Vimberg, V., Tats, A., Remm, M., Tenson, T. (2007). Translation initiation region sequence preferences in *Escherichia coli*. *BMC Mol. Biol.*, 8, 100.

*Teaduspreemia tehnikateaduste alal uurimuste tsükli  
“Tahkeoksüdkütuseelementides ja elektrilise kaaskõiki kondensaa-  
torites ning kompaksete ja poorsete elektrodide ning elektrolüütide  
vahelisel piirpinnal toimuvate protsesside seaduspärasuste komp-  
leksed uuringud” eest*



*Enn Lust*

Sündinud 22.10.1956 Ida-Virumaal

1975 Jõhvi Gümnaasium

1980 Tartu Ülikool

1989 keemiakandidaat

Alates 1980 Tartu Ülikoolis: elektrokeemia laboratooriumi insener, nooremteadur, teadur vanemteadur, sektorijuhataja; 1992 anorgaanilise keemia kateedri lektor, 1993 dotsent; alates 1997 TÜ füüsikalise keemia instituudi professor; 2003–2007 füüsikalise keemia instituudi juhataja; alates 2008 TÜ Keemia Instituudi direktor.

Avaldanud üle 130 artikli rahvusvahelistes (ISI) teadusajakirjades.

#### UURINGUTE TAUST

Üheks tänapäeva industriaalühiskonna väga pakilist lahendamist vajavaks probleemiks on kõrgefektiivse loodussõbraliku energiamajanduse, s.o energiamuundamise, säilitamise ja kasutamise süsteemide väljaarendamine. Tänapäeva energeetika peab olema oluliselt efektiivsem kui seni Eestis kasutusel olev põlevkivienergeetika, mille tõttu Eesti on Euroopa Liidus mahajääja oma ülimadala energeetilise efektiivsusega (s.o kasutatud energiahulgalt toodangu rahalise väärtuse kohta). Seni on Eestis väga visalt juurdunud kaasaegsed elektrienergia ja soojusenergia koostootmise süsteemid, mille energeetiline efektiivsus on oluliselt suurem kui Carnot' termodünaamilisel tsükli põhinevate soojuselektrijaamade efektiivsus, mida Nobeli keemiapreemia laureaat W. Ostwald näitas juba 1896. aastal. Euroopa Liidus on ellu kutsutud vesinikuenergeetika ja kütuseelementide arendamise ühisprogramm, mille raames, kaasates erakapitali ja EL 7. raamprogrammi vahendeid, soovitakse otsustavalt edasi liikuda kõrgefektiivsete kütuseelementide ja elektrolüüserite kommertsialiseerimise teel. Seetõttu on TÜ Keemia Instituudi füüsikalise keemia õppetoolis pööratud suurt tähelepanu tahkeoksiidkütuseelemendi (TOKE) arendamisele.

Tulenevalt töötemperatuurist jaotuvad kütuseelemendid madal- ( $T < 80^{\circ}\text{C}$ ), keskmise ( $80 < T < 500^{\circ}\text{C}$ ) ja kõrgtemperatuurseteks ( $T > 500^{\circ}\text{C}$ ) seadeldisteks. Kõrgtemperatuursete kütuseelementide jaotuvad omakorda kaheks suureks rühmaks: ülikõrgtemperatuursete ( $800 < T \leq 1300^{\circ}\text{C}$ ) ning mõõdukalt kõrgtemperatuursete ( $500 < T < 800^{\circ}\text{C}$ ) kütuseelementide [Lust jt, 2005abc, 2007ab, accepted; Nurk jt, 2007; A method..., 2007; Meetod..., 2007].

Kütuseelemendi elementaarrakk koosneb katoodist, kus toimub hapniku redutseerumine, elektrolüüdist ja anoodist, kus toimub kütuse oksüdeerumine.

Kuna elektrolüüt on valmistatud aktiveeritud haruldaste muldmetallide oksiidist ( $Zr_{1-x}Y_xO_{2-\delta}$ ,  $Ce_{1-x}Sm_xO_{2-\delta}$ ,  $Ce_{1-x}Gd_xO_{2-\delta}$  jne), kus toimub hapniku anioonide (tegelikult vakantside) suunatud liikumine, siis kutsutakse selliseid  $O^{2-}$  ioonjuhtidel põhinevaid süsteeme tahkeoksiidseteks kütuseelementideks (TOKE). TOKE suureks eeliseks on asjaolu, et tema teoreetiline ja ka eksperimentaalne kasutegur on tulenevalt termodünaamika II-st seadusest palju kõrgem kui madal- või keskmistemperatuurse kütuseelemendi kasutegur. Kahjuks aga on  $T > 900^\circ C$  juures materjalide elektrokeemiline korrosioon palju kiirem kui madalamal temperatuuril (kuna korrosiooni kiirus kasvab eksponentsiaalselt T-ga), mis tingib vajaduse alandada TOKE töötemperatuuri  $500\text{--}700^\circ C$  juurde. Sellistel temperatuuridel loodetakse kasutada korpuste, elektriliste kontaktide ja gaasijuhtimissüsteemide valmistamiseks erinevaid roostevabu teraseid, mis on tehnoloogiliselt hästi töödeldavad, muutes TOKE valmistamise põhimõtteliselt odavamaks. TOKE kõrge hind on väga oluline faktor, mis takistab TOKEd muutmist laiatarbekaubaks. TOKE suureks eeliseks madalatemperatuursete kütuseelementide ees on võimalus kasutada kütustena paljusid vesinikku sisaldavaid aineid, nagu looduslik gaas, bensiin ja diiselmootor, metanool, etanool, erinevad estrid ja isegi  $NH_3$  või  $H_2S$ , mis annab võimaluse kasutada anaeroobsel biodegradatsioonil tekkivat puhastamata biogaasi ( $CH_4$ ,  $H_2$ ,  $H_2S$  ja  $NH_3$  segu).

Väga suure elektrilise kasuteguriga energiasalvestamise seadeldis on elektrilise kaksikkihi kondensaator (EKKK), kus nii positiivse kui ka negatiivse elektrodina kasutatakse ülisuure eripinnaga nano-mesopoorset süsinikku (tabel 1), mis saadakse erinevaid lähteaineid ja valmistamismeetodeid kasutades [Arulepp jt, 2004, 2006; Conway, 1999; Eikerling jt, 2005; Jänes jt, 2004abc, 2007ab; Jänes, Lust, 2005, 2006ab; Leis jt, 2006; Lust jt, 2003, 2004abc]. USAs, Jaapanis, Šveitsis jm uuritakse ülisuure elektrimahtuvusega elektrokeemiliste kondensaatorite kasutamise võimalusi tsükliliselt töötavate fotoelektriliste elementide ja tuulegeneraatorite ning hüdroelektrijaamade energiasalvestitena. EKKKd on ka väga efektiivsed impulss-vooluallikad, mille elektriline kasutegur on 96–98% ning kus piikvoolutugevus võib ulatuda tuhandete amprieni ning seda 10 ja enama sekundi jooksul, sõltuvalt kondensaatori mahtuvusest ja muudest tehnilistest detailidest. Sellest tulenevalt on autofirmade (*Ford Motors*, *Toyota Motors*, *Renault*, *BMW*, *Honda* jne) konstruktorite ja tehnoloogide ettekujutuse kohaselt EKKKd asendamatud efektiivsete elektri-autode, busside ja vedurite konstrueerimisel, kus neid lisaks stabiilses režiimis töötavale kütuseelemendile või liitium-ioon-patareile kasutatakse energiaimpulsside saamiseks kiirendusel. Tänapäeva tehnoloogia võimaldab pidurdamisel genereeritavat elektrienergiat kasutada EKKK taaslaadimiseks.

Elektrilise kaksikkihi kondensaatorid jaotuvad kaheks suureks grupiks: vesilahuse- ja mittevesilahuse-kondensaatorid, sõltuvalt nende maksimaalse potentsiaalierinevuse väärtusest positiivselt ja negatiivselt laetud elektrodide vahel ( $\Delta U$ ). Kahjuks on vee lagunemise termodünaamiline ülepinge (1,23 V)



Tabel 1

Selekteeritud süsinikmaterjalide gaasifaasikarakteristikud.

Parameeter	Lähtekarbiid					
	$\alpha$ -SiC	TiC	Mo <sub>2</sub> C	B <sub>4</sub> C	Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	VC
lähtekarbiidi kristallograafiline struktuur	romboeedriline	kuubiline	heksagonaalne	romboeedriline	romboeedriline	kuubiline
$S_a/m^2g^{-1}$	1085	1505	1490	1525	1470	1305
$S_m/m^2g^{-1}$	1030	1205	0	930	1130	1143
$V_m/cm^3g^{-1}$	0,46	0,60	0	0,43	0,57	0,63
$V_k/cm^3g^{-1}$	0,49	0,75	1,50	0,99	0,74	0,66
$D_{NLDFT}/nm$	~0,7	~0,8	~4,0	~1,3	~0,8	1,0

 $S_a$  — BET-i eripind $S_m$  — mikropooride eripind $V_m$  — mikropooride ruumala $V_{tot}$  — pooride koguruumala $D_{NLDFT}$  — NLDFT meetodil arvatud keskmine pooridiameeter

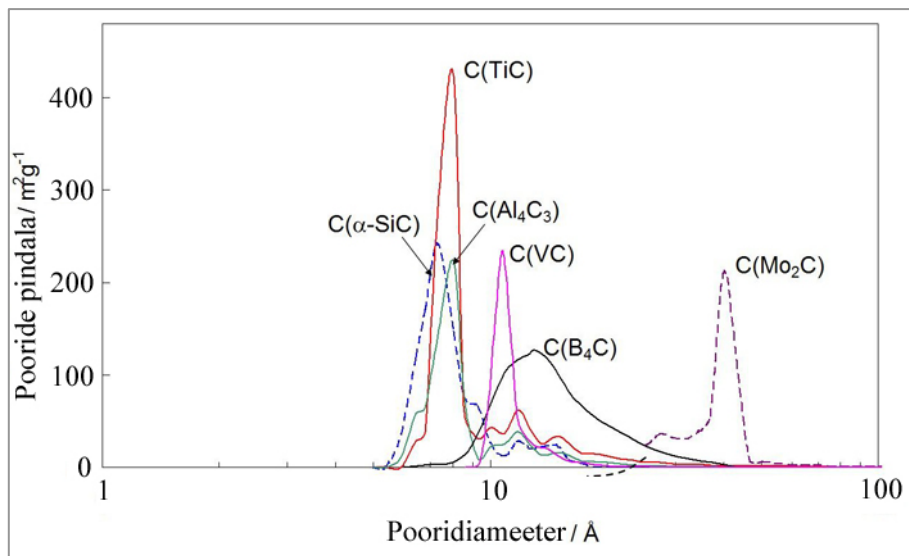
kaks kuni neli korda väiksem kui mõningate orgaaniliste solventide lagunemise ülepinge (4–5 V) ning seega on vee baasil valmistatud EKKK  $\Delta U \leq 0,8$  V, kuid atsetonitriili (AN) või propüleenkarbonaadi (PC) baasil valmistatud EKKK  $\Delta U = 2,7$ – $3,4$  V, sõltudes oluliselt vee kui lisandi kontsentratsioonist EKKKs [Arulepp jt, 2004, 2006; Eikerling jt, 2005; Jänes jt, 2004abc, 2007a; Jänes, Lust, 2005, 2006ab; Leis jt, 2006; Lust jt, 2003, 2004abc].

Tartu Ülikooli Keemia Instituudi füüsikalise keemia õppetoolis alustati süsinikmaterjalide (klaassüsinik, grafiit, kõrgorienteeritud grafiit, poorne ning geomeetriliselt kare klaassüsinik) elektrokeemilise käitumise uuringuid 1991. aastal, kasutades nii vee kui ka AN baasil valmistatud erinevaid elektrolüüte. 1997. aastal tuli ahvatlev pakkumine asuda uurima nanopoorsete süsinikmaterjalide omadusi koostöös ettevõttega AS Tartu Tehnoloogiad, kellega edukas koostöö jätkub tänaseni.

#### NANOPOORSE SÜSINIKU VALMISTAMINE JA ELEKTROKEEMILINE ISELOOMUSTAMINE

AS Tartu Tehnoloogiad ja TÜ Keemia Instituudi koostöö tulemusena töötati välja meetodika nanopoorsete materjalide elektrokeemiliste uuringute läbiviimiseks ning esimesed tõsised tulemused saadi 1999. aastal (G. Nurk, A. Jänes, M. Arulepp jt). Sellest ajast alates on uuritud väga palju erineva poori jaotuse ja eripinnaga süsinikmaterjale, mis on sünteesitud AS-s Tartu Tehnoloogiad ja TÜ Keemia Instituudis [Arulepp jt, 2004, 2006; Eikerling jt, 2005; Jänes jt, 2004abc, 2007ab; Jänes, Lust, 2005, 2006ab; Leis jt, 2006; Lust jt, 2003, 2004abc]. On uuritud põhiliselt binaarsetest karbiididest kloreerimisel saadud

nn skeletonsüsinikmaterjale, mis on väga kitsa poorijaotusfunktsiooni maksimumi (joonis 1) ja ülisuure eripinnaga (kuni  $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Poorijaotusfunktsiooni maksimumi asukohta on võimalik muuta nii diameetri kui ka nanopoori ruumala järgi, kasutades erinevaid lähtekarbiide ( $\text{TiC}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{Al}_4\text{C}_3$ ,  $\alpha\text{-SiC}$ , VC), aga ka erinevaid süsiniku järeltöötlemise tingimusi (töötlemine veeauruga, CO-ga jne). Samuti on oluline sünteesitemperatuur, sest kõrgemal kui  $1100^\circ\text{C}$  hakkab toimuma amorfse süsiniku grafitiseerumine, mis vähendab eripinda, kuid loob eeldused  $\text{Li}^+$ -ioonide interkaleerumiseks grafiitsesse struktuuri. Klorineerimismeetodil saadakse üliheade elektrokeemiliste omadustega nanopoorset süsinikku (30% parem kui traditsioonilistel meetoditel valmistatud), kuid kahjuks on lähtematerjalide hinnad väga kõrged ja klooriga töötamine tervistkahjustav ning keskkonnaohtlik. Seepärast on TÜ Keemia Instituudis alates 2002. aastast uuritud teisi meetodeid ja lähteaineid nanopoorse süsiniku tootmiseks [Jänes jt, 2007a]. Põhiliselt on selleks kasutatud nanokiudpolümeere, aga ka ostetud erinevaid süsinikkangaid ja nanopoorse süsiniku pulbreid, mida on täiendavalt aktiveeritud kas veeauru, süsinikoksiidi või muude reagentidega. Süstemaatiliste uuringute tulemusel leiti, et nanopoorse süsiniku veeauruga töötlemine tõstab oluliselt mesopooride ( $d > 2,0 \text{ nm}$ ) osakaalu ning vähendab nanopooride ( $d < 2,0 \text{ nm}$ ) ruumala ja tõstab materjali ionide adsorptsioonivõimet ehk elektrilist mahtuvust. Saadud on karbiidsetele süsinikele sarnase piirilise mahtuvusega  $C_s \sim 120 \div 140 \text{ Fg}^{-1}$  nanopoorseid süsinikmaterjale [Jänes jt, 2007a], mis on palju odavamad kui skeletonsüsinikud.



Joonis 1. Binaarsetest karbiididest kloreerimise teel valmistatud süsinikmaterjalide poorijaotuse sõltuvus lähtematerjalist.

## NANOPOORSETE SÜSINIKELEKTROODIDE JA UUTE SOLVENTIDE UURIMINE NING EKKKDE IDEAALSE POLARISEERITAVUSE ALA LAIENDAMINE

Teiseks oluliseks probleemiks on olnud vajadus suurendada süsinikelektroodide ja EKKKde ideaalse polariseeritavuse ala  $\Delta U$  (s.o rakupotentsiaali ulatust), kuna nii EKKKde võimsustihedus  $P$  kui ka energiatihedus  $E$  sõltub paraboltselt  $\Delta U$ -st ( $E = f(\Delta U^2)$  ja  $P = f(\Delta U^2)$ ) [Jänes, Lust, 2005, 2006ab]. Elektri-juhtivuse parandamiseks kaetakse õhukesekihiline süsinikelektrood ühelt poolt ülipuhta vaakumaurustatud Al kihiga, millele omakorda keevitatakse Ar-atmosfääris üliõhuke Al-plekk. Põhilised tegurid, mis määravad  $\Delta U$ , on solvendi ja elektrolüüdi ning nanopoorse süsinikmaterjali veesisaldus, aga ka elektro-keemiliselt aktiivsete gaaside ( $O_2$ ,  $H_2$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $H_2S$ ) absorptsioon/adsorptsioon nanopoorides või orgaaniliste ühendite (aldehüüdid, alkoholid, ketoonid jne) ja ioonsete lisandite ( $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $F^-$ ,  $HSO_4^-$ ) esinemine elektrolüüdis. Seepärast teostatakse kõik eksperimentaalsed uuringud hermeetilises katsekapis, kus  $O_2$ , veeauru,  $SO_x$  ja  $NO_x$  sisaldus on viidud alla 1 ppm. Kasutatakse pikaajaliselt vaakumkuivatuskapis kuivatatud süsinikelektroode ning molekulaarsõlgetega täiendavalt kuivatatud ülikuivi solvente. Elektrolüütidena kasutatakse veevabu tetraalküülammoonium-tetrafluoro-boraate. Loodud tingimustes on saavutatud süsinikelektroodide jaoks väga lai ideaalse polariseeritavuse ala  $\Delta U \approx 3,6$  V [Jänes jt, 2007a; Jänes, Lust, 2005, 2006ab], mis on ligikaudu võrdne kahekordse energiatiheduse juurdekasvuga, võrreldes maailmas seni laialdaselt saavutatuga –  $\Delta U = 2,6$  V.

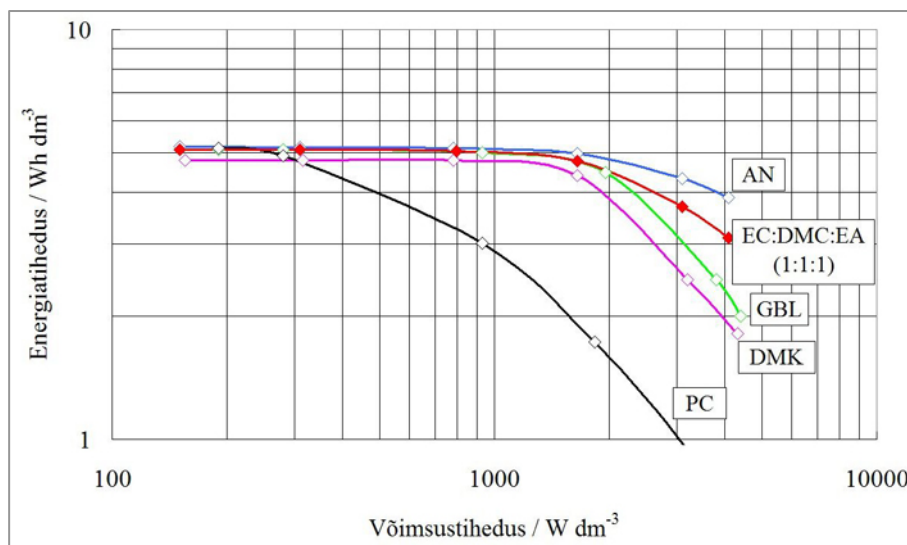
## SOLVENTIDE MÕJU EKKK ÜHIKRAKU OMADUSTELE

Mürgise atsetonitriili asendamiseks loodussõbralikumate solventidega (etüleenkarbonaat (EC), etüülmetüülkarbonaat (EMC), dimetüülkarbonaat (DMC), propüleenkarbonaat (PC), etüülatsetaat (EA), metüülatsetaat (MA)) uuriti kahelektroodsetes ühikrakkudes binaarsete, ternaarsete ja kvaternaarseste solventide süsteemide ja erinevate elektrolüütide ( $(C_2H_5)_3C_4H_9NBF_4$ ,  $(C_2H_5)_4NBF_4$ ,  $(C_2H_5)_3CH_3NBF_4$ ,  $(CH_3)_3C_2H_5NBF_4$ ) baasil valmistatud lahuste mõju elektrilise kaksikkihi kondensaatorite ühikrakkude omadustele. Leiti, et nii mitmedki solventide segude baasil valmistatud ühikrakud on ideaalselt polariseeritavad väga laias potentsiaalide vahemikus ( $\Delta U$  kuni 3,5 V), mis lubab järeldada, et AN asendamine vähemmürgiste ja loodussõbralikumate elektrolüütidega on võimalik. Leiti, et suurim madalsageduslik elektriline piirmahtuvus ( $C_s = 125$  Fg<sup>-1</sup>) on etüleenkarbonaadi (EC), dimetüülkarbonaadi (DMC) ja etüülatsetaadi (EA) ekvimolekulaarsel segul ning ka EC ja EA ekvimolekulaarse segu baasil valmistatud ühikrakul. Kasutades impedantspektroskoopia andmeid, määrati kindlaks ühikrakkude laadimise ja tühjenemise ajakonstandid  $\tau_R$ , mis olid küll veidi suuremad kui AN baasil valmistatud ühikrakkudel, kuid oluliselt lühemad kui  $\gamma$ -butürolaktooni või propüleenkarbonaadi baasil valmistatud EKKKdel, mida seni põhiliselt laiatarbe EKKKdes kasutatakse [Jänes, Lust, 2005, 2006ab].

Binaarsete ja ternaarsete solventide segude baasil valmistatud ühikrakkude  $\tau_R$  väärtused varieeruvad 20-st kuni 60 sekundini, kusjuures selgub, et  $\tau_R$  väärtuse määrab ära solvent, millel on suurim karakterse ajakonstandi väärtus. Selgus, et  $\tau_R$  kasvab oluliselt, kui elektrootide aktiivkihi paksus kasvab või kui elektrootide konstantse paksuse korral temperatuur alaneb. Samuti tehti kindlaks, et  $\tau_R$  kasvab, kui elektrolüüdi kontsentratsioon väheneb, seega sõltub  $\tau_R$  ioonide Debye ekraanemispikkusest lahuses. Samuti sõltub  $\tau_R$  mõnevõrra nanopooride/mesopooride keskmiste diameetrite või keskmiste ruumalade suhtest, st elektrootides aktiivkihti moodustava süsiniku omadustest, olles pikim materjalide korral, milles on rohkem väiksema diameetriga nanopore. Seega on massiülekanne nanopoorides aeglane ja selleks, et tõsta võimsustihedust konstantse energiatiheduse juures, tuleb osa nanopore muuta mesopoorideks nii, et summaarne mahtuvus ei väheneks (st optimeerida pooride jaotusfunktsioon süsinikmaterjalis). Seda, et EKKK-de materjali optimeerimist tuleb jätkata, näitavad mudelarvutused, mis põhinevad erinevatel empiirilistel, aga ka Eikerlingi, Kornyshevi ja Lusti poolt väljatöötatud nn nano/mesopoorse süsinikmaterjali hierarhilisel mudelil [Eikerling jt, 2005]. Sellest mudelist tuleb, et kaasajal osatakse elektrilaengu salvestamiseks süsinikmaterjalis ioonide adsorptsiooniks efektiivselt ära kasutada ainult 10–15% gaasifaasis aktiivsest eripinnast. Ülejäänud nanopoorid on kas blokeeritud adsorbeerunud (kemosorbeerunud) solvendimolekulide poolt või on nende raadius nii väike, et osaliselt solvateeritud/desolvateeritud ioonide massiülekanne ja adsorptsioon on raskendatud.

#### RAGONE'I (VÕIMSUSTIHEDUSE ENERGIATIHEDUSEST) SÕLTUVUSED

Koostöös ASga Tartu Tehnoloogiad ja California Davis'e Ülikooliga [Arulepp jt, 2004, 2006; Leis jt, 2006] uuriti nii ühikrakkude kui ka suurte EKKK patareide Ragone'i sõltuvusi, mille tüüpilisemad näited on toodud joonisel 2. Joonistelt on näha, et Ragone'i sõltuvuste kuju sõltub oluliselt nii elektrolüüdi mooljuhtivusest, temperatuurist kui ka elektrootimaterjali paksusest [Jänes jt, 2004a; Lust jt, 2004bc]. Elektrolüüdi viskoossuse kasvades leiab aset oluline võimsustiheduse vähenemine konstantse energiatiheduse korral. Parimaid tulemusi näitab ANi ja halvimaid PC-baasil valmistatud EKKK. Temperatuuri alanedes ja aktiivmaterjali kihi paksuse kasvades vähenevad võimsustiheduse väärtused seda kiiremini, mida viskoossem on elektrolüüt. Binaarsete segude (EC:EA (1:1) ja EC:EMC:EA (1:1:1)) baasil valmistatud EKKKd näitavad AN baasil valmistatud EKKKdele lähedasi omadusi väikeste ja keskmiste võimsus- ja energiatiheduste alas. Suurte energiatiheduste alas on need seni disainitud nanopoorsete materjalide korral valmistatud EKKKde jaoks kahjuks mõnevõrra väiksemad, mis on tingitud binaarsete ja ternaarsete solventide segude baasil valmistatud elektrolüüdi suuremast viskoossusest kui AN ning seega



Joonis 2.

Energiatiheduse sõltuvus võimsustihedusest nanopoorse süsinikkanga AUVM ( $S_a = 1500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ,  $d_{\text{NLDFT}} = 1,42 \text{ nm}$ ) baasil valmistatud ühikraku korral, mis on täidetud  $1 \text{ M } (\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{CH}_3\text{NBF}_4$  lahusega erinevates solventides ( $25^\circ\text{C}$ ).

väiksemast elektrolüüdi juhtivusest nano- ja mesopoorides [Jänes, Lust, 2005, 2006ab].

TÜ Keemia Instituudis uuriti samuti ka separaatorite mõju elektrilise kaksikihi kondensaatorite omadustele. Leiti, et separaatori paksus, poorsus, lüofiilsus ja dielektriline läbitavus mõjutavad väga oluliselt EKKKde võimsustihedusi ning selles suunas on vaja oluliselt rohkem läbi viia eksperimentaalseid ja teoreetilisi modelleerimisi.

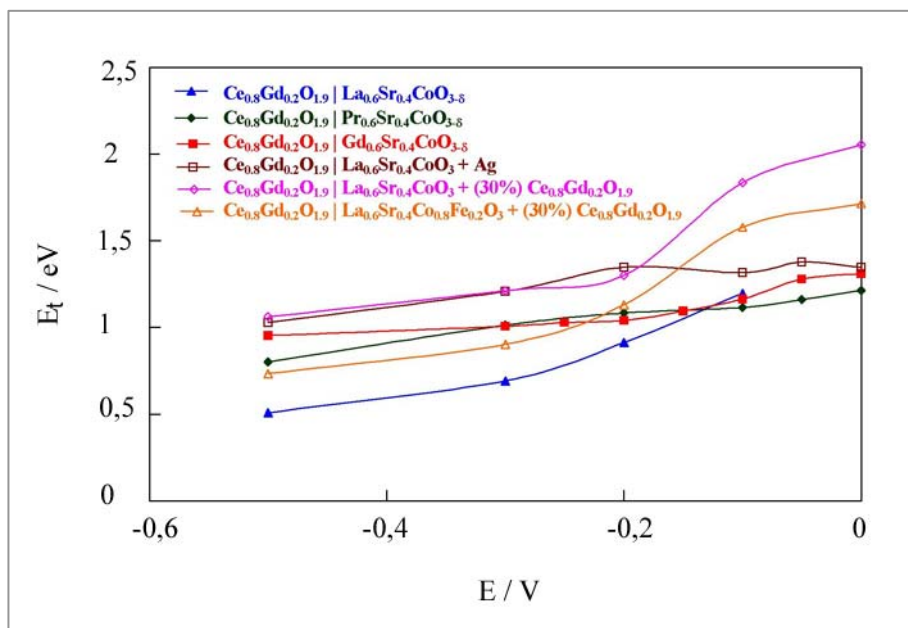
Kokkuvõttes tuleb öelda, et nanopoorseid süsinikmaterjalid omavad väga laialdasi rakendusvõimalusi EKKKdes, mida saab kasutada energiasalvestitena, impulssvooluallikatena ja ka muudes elektrilistes seadmetes.

#### TAHKEOKSIIDSETE KÜTUSEELEMENTIDE UURINGUD TARTU ÜLIKOOLI KEEMIA INSTITUUDIS

2001. aastal alustati AS Elcogeni finantseerimisel ning koostöös Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudiga (akad Endel Lippmaa, vanemteadur Juhan Subbi) keskmistemperatuursete kütuseelementide süstemaatilist uurimist eesmärgiga alandada TOKE töötemperatuuri  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$ -lt  $500\text{--}700^\circ\text{C}$ -ni [Lust jt, 2005abc, 2007ab, accepted; Nurk jt, 2007; A method..., 2007: Meetod..., 2007].

Hiljem on sellesse projekti kaasatud ka sihtfinantseeritava teema TFKFE0522 ja ETF grandide vahendeid, mida on kasutatud põhiliselt SOFC fundamentaalprobleemide uurimiseks. Kütuselementide töötemperatuuri alandamine on ülimalt oluline, kuna 900–1000°C juures ülimalt agressiivses keskkonnas (kõrge negatiivne polarisatsioon, molekulaarne hapnik ja veeaur) on kütuselemendi konstruktsioonimaterjalide ja voolukollektorite elektrokeemiline korrosioon väga kiire. Vaatamata mitme firma (Thyssen Krupp GmbH, Haynes, Arcelor, Sandvik, Hitachi Metals) intensiivsetele uuringutele pole õnnestunud valmistada metallist voolukollektoreid, vaheühendusi ja gaasijaotusplaate, mille eluiga ületaks 1000°C juures 5000–10000 töötundi. Kütuselemendi töötemperatuuri alandamine võimaldab kasutada keraamiliste konstruktsioonimaterjalide asemel ka eriotstarbelisi roostevabu teraseid, mis lihtsustaks tunduvalt SOFC korpuse ja teiste detailide valmistamist. Molekulaarne hapniku elektrokeemiline redutseerumine on väga kõrge ülepingsuga kulgev protsess ja kütuselemendis aset leidvast summaarsest potentsiaalilangusest leiab 60–70% aset just katoodil, kus toimub hapniku elektrokeemiline redutseerumine. Seoses selle asjaoluga alustati eelkõige katoodprotsessi detailseid uuringuid gadoliiniumi ja samaariumi ioonidega modifitseeritud tseeriumoksiidi tahke elektrolüüdi baasil valmistatud poolelemendil, kus katoodina kasutatakse perovskiitse ( $ABO_3$ ) struktuuriga erinevalt A- või B-positsioonis aktiveeritud lantanoid-kobaltiiti. A-positsioonis  $Sr^{2+}$  ioonide või mingite muude leelismuldmetallide katioonidega ( $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) modifitseeritud aktiveeritud katoodide B-positsioonis kasutatakse traditsioonilise mangaani katioonide asemel koobalti katioone. Lisaks sellele sünteesiti A-positsiooni katioonide rolli väljaselgitamiseks lantanoidide rühma erinevate elementide baasil oksiidid  $Ln_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$ , kus Ln on vastavalt La, Pr, Gd vm kation. Leiti, et katalüütiline aktiivsus langeb ja summaarne aktivatsioonienergia tõuseb, kui A-positsioonis asuva katiooni aatommass kasvab (joonis 3).

Tahkeoksiidse kütuseelemendi pikaajase ning tsüklilise töö seisukohalt on väga oluline, et nii katoodi, elektrolüüdi kui ka anoodi paisumiskoeffitsiendid oleksid lähedased ning lisaks sellele oleksid sarnased ka paisumiskoeffitsientide temperatuurisõltuvused. Kuna aga  $La_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$  paisumiskoeffitsient on tunduvalt suurem kui  $Ce_{0.85}Gd_{0.15}O_{1.95}$  paisumiskoeffitsient, siis katoodi termilise paisumise vähendamiseks uuriti ka B-positsioonis asendatud materjalide (näiteks  $La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Fe_yO_{3-\delta}$ ) omadusi. Teine võimalus vähendada katoodide termilise paisumise koeffitsienti seisneb kas makro/mikropoorsete katoodide või nn segakatoodide kasutamises, kus katoodimaterjali on lisatud tahket elektrolüüti, tõstmaks katoodiioonjuhtivust. Süstemaatilise analüüsi alusel jõuti järeldusele, et B-positsioonis koobalti katioonide asendamine raua katioonidega vähendab oluliselt katoodi elektrokeemilist aktiivsust ning ei ole seetõttu otstarbekas [Lust jt, 2005abc]. Ka elektrolüüdi lisamine katoodimaterjali põhjustab katoodi katalüütilise aktiivsuse vähenemist. Seetõttu töötati välja meetodika ülisuure eripinnaga poorsete katoodide sünteesiks ja



Joonis 3.

Hapniku redutseerimise ja transpordi summaarse aktivatsioonienergia sõltuvus elektroodi potentsiaalidest kõrgtemperatuurse kütuseelemendi erinevate poolelementide jaoks.

uuriti detailselt makro-mikropoosete materjalide käitumise seaduspärasusi temperatuurivahemikus 450–750°C potentsiaalidel  $-1,0 < E < 0$  V (Pt | poorne Pt | O<sub>2</sub> võrdluselektroodi suhtes). Määrati kindlaks O<sub>2</sub> redutseerimisprotsessi limiteerivad staadiumid (madalal temperatuuril on aeglane nii massiülekanne kui ka laenguülekanne ning  $T \geq 650^\circ\text{C}$  juures on põhiliselt tegemist aeglase laenguülekandega) ja erinevate limiteerivate staadiumide aktivatsioonienergia, formaalne ülekandekoefitsient  $\alpha$  ja vahetusvool  $j_0$ . Leiti, et mainitud parameetrid sõltuvad oluliselt nii katoodi keemilisest koostisest (La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>CoO<sub>3-δ</sub>, La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>Co<sub>1-y</sub>Fe<sub>y</sub>O<sub>3-δ</sub>, Pr<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>CoO<sub>3-δ</sub>, Gd<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>CoO<sub>3-δ</sub>) kui ka mõnevõrra elektroolüüdist (Ce<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>O<sub>2-δ</sub>, Sm<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>O<sub>2-δ</sub>) [Eikerling jt, 2005; Jänes jt, 2004c, 2007a]. Lisaks sellele sõltuvad  $\alpha$  ja  $j_0$  aktivaatori kontsentratsioonist  $x$  nii katoodis kui elektroolüüdis ja loomulikult katoodi eripinnast ning pooride jaotusfunktsioonist [Lust jt, 2005abc]. Massiülekandeprotsessi detailne analüüs näitas, et tegemist on hapnikuioonide nn anomaalse difusiooni juhtumiga, kus elektroodi pindkihis esineb piiratud paksusega difusioonikiht ning madalal elektroodipotentsiaalil leiab aset O<sup>2-</sup>-ioonide akumulatsioon (adsorptsioon/absorptsioon) katoodi pindkihis [Lust jt, 2005abc, 2007ab, accepted; Nurk jt, 2007].

Antud materjalide alusel koostati patenditaotlused [A method..., 2007; Meetod..., 2007], mis on läbinud edukalt eelretsenseerimise staadiumi ning lähiajal võib oodata otsust patendi väljaandmise kohta.

Samuti koostati TOKE kompleksed ühikrakud ja uuriti detailselt  $\text{Ni} | \text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x\text{O}_{1.95-\delta}$  piirpinnal aset leidvaid protsesse. Arvestades asjaolu, et tegemist on nn elektrolüütandvate ühikrakkudega, on saavutatud väga häid tulemusi võimsustihedusega  $\sim 80 \text{ mW cm}^{-2}$   $600^\circ\text{C}$  juures. Kui asendada elektrolüütandev konstruktsioon, mis on vajalik katoode- ja anoodprotsesside eraldi uurimiseks, õhukese  $\text{Ce}_{0,9}\text{Gd}_{0,1}\text{O}_{1,95}$  elektrolüüdiga, peaks olema võimalik ühikraku võimsustihedust oluliselt (vähemalt 3–5 korda) tõsta [Lust jt, 2007a, accepted; Nurk jt, 2007; A method..., 2007; Meetod..., 2007].

#### ORGAANILISTE ÜHENDITE JA IOONIDE ADSORPTSIOONI JA LAENGUÜLEKANDE KINEETIKA SEADUSPÄRASUSED KÕRGE ÜLEPINGEGA METALLIDEL

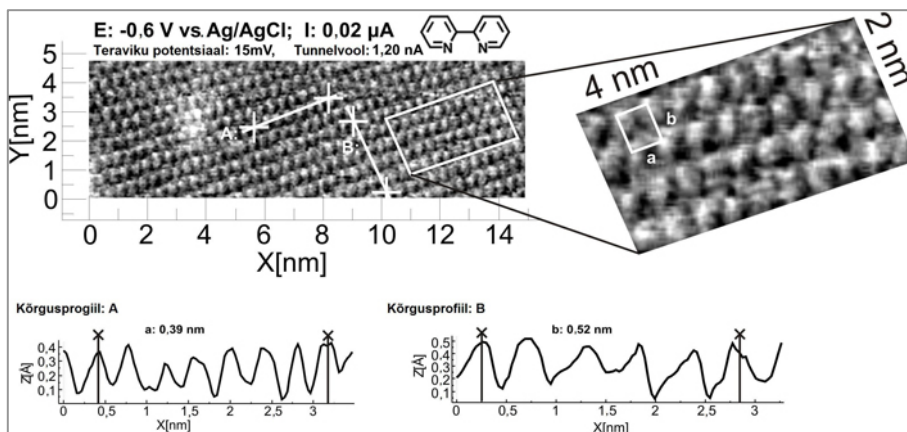
Väga olulist rõhku pandi ka fundamentaalelektrokeemia probleemide uurimisele, laiendades nii kasutatavate elektroodimaterjalide ringi (Bi, Sb, Cd ja C monokristallid ja nanopoorseid süsinikud) kui ka uuritavate probleemide ringi [Härk, Lust, 2006; Jäger jt, 2004; Kallip, Lust, 2005; Kallip jt, 2008; Kasuk jt, 2005, 2008; Laes jt, 2004; Lust jt, 2006; Nazmutdinov jt, 2005; Romann jt, 2007ab; Siinor jt, 2007; Thomberg jt, 2004, 2005, 2006; Väärtnõu, Lust, 2005, 2006, 2008]. Laenguülekandekineetika, orgaaniliste ühendite ja ionide adsorptsioonikineetika uurimise tulemused monokristalsetel ja nanopoorsetel süsinikelektroodidel näitasid, et mittevahelühendites võib ionide adsorptsioon olla segakineetiline, st lisaks aeglasele massiülekandele (difusioon, pind-difusioon, migratsioon) võib aeglaseks staadiumiks olla ka vahetu adsorptsiooni staadium. Seetõttu uuriti molekulaarsete orgaaniliste ühendite, orgaaniliste anioonide (dodetsüülsulfaat-anioon) ja katioonide (erinevad tetra-alküül-ammoonium-katioonid) adsorptsioonikineetikat vismuti ja kaadmiumi monokristalsetel elektroodidel, kus erinevalt nanopoorsest süsinikelektroodist ei tohiks esineda kõrvalekaldeid difusioonistaadiumi poolt limiteeritud adsorptsioonimehhanismist. Leiti, et tugevat adsorbaat-adsorbaat vastastiktoimet omavates süsteemides võib aeglaseks staadiumiks olla ka vahetu adsorptsiooni staadium, st sobiva molekulaarstruktuuri moodustumine elektroodilähedases kihis (2,2'-bipüridiin, uratsiil, tetra-butüül-ammoonium-katioon, kamper, heptanool). Adsorbses kihis nõrka van der Waalsi toimet omavate orgaaniliste ühendite adsorptsiooni kiirus on määratud põhiliselt aga difusiooniprotsessi kiirusega.

TÜ Keemia Instituudis komplekteeriti ja evitati kaasaegne tunnelektroon/aatomjõu mikroskoopia (STM/AFM) mõõtekompleks [Kallip, Lust, 2005; Lust jt, 2006; Kallip jt, 2008], mis võimaldab saavutada *in situ* tingimustes aatomlahutusrežiimi elektrokeemilisteks mõõtmisteks elektroodide erineva polarisatsiooni korral. Viidi läbi rida unikaalseid eksperimente nii lõhestamisel



saadud pinnaga kui ka elektrokeemiliselt poleeritud vismutelektroodidel. Leiti, et nii lõhestamise kui ka elektrokeemilise poleerimise meetodil saadud Bi(111) tahu pind on ideaalilähedane uurimisobjekt, kuna tema pinnal esinevad suured atomaarselt siledad alad ( $70 \times 70$  nm), mille kõrguste erinevus on ainult 1-2 aatomkihti. Leiti, et elektroodipotentsiaali muutudes  $-0,4$  kuni  $-1,2$  V (mõõdetuna küllastatud kalomelelektroodi suhtes, KKE) ei leia aset Bi(111) pinna restruktureerumist ega keemilist modifitseerumist. Seega on erinevalt Au, Pt ja Ag monokristalsetest elektrodidest tegemist väga stabiilse pinnastruktuuriga elektrodiga, mis võimaldab kvantitatiivselt uurida erinevate adsorptsiooni-kihtide ehitust väga laias voolutiheduste ja pinnalaengutiheduste vahemikus, mis on väga vajalik mõistmaks nanoporsel süsinikul toimuvate protsesside mehhanismi.

Alustati erinevate kondenseeritud kahedimensionaalseid (2D) kihte moodustavate orgaaniliste ühendite (2,2'-bipüridiin, kamper), aga ka kemosorbeeruvate ühendite (tiokarbamiid jt väävelorgaanilised ühendid) adsorptsiooni uuringuid [Kallip jt, 2008]. Leiti, et kamper ei moodusta Bi(111) elektroodi negatiivsete pinnalaengute korral 2D-kihte ning 2D-kondensatsiooni protsess algab väga kitsas potentsiaalide vahemikus ( $\pm 20$  mV) nõrgalt positiivselt laetud elektrodil. Samadel potentsiaalidel leiab aset ka 2D-kihtide katkemine, kui muuta elektroodipotentsiaali negatiivsemaks. Leiti, et tiokarbamiid adsorbeerub eelostatult defektsetel pinnaosadel (monokristalsete platoode servade varjus). Erinevalt kamprist avastati 2,2'-bipüridiini väga kompaktne 2D-kiht oluliselt laiemas potentsiaalide vahemikus (joonis 4).



Joonis 4.

2,2'-bipüridiiniiga kaetud Bi(111) elektroodi pinna *in situ* STM kujutis ja märgitud  $8 \text{ nm}^2$  suurune osa suurendatult ning märgitud kõrgusprofiilid  $2,5 \times 10^{-2}$  M 2,2'-bipüridiini +  $0,5 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$  +  $3 \times 10^{-3}$  M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  vesilahuses.

Näidati, et kampri ja 2,2'-bipüridiini adsorptsiooni ja 2D kihi moodustumise kiirust limiteerib adsorptsioonistaadium ja antud süsteem omab kahte karakterse ajakonstandi väärtust – nn kõrgsageduslikku (100–1000 Hz) ja madalsageduslikku (0,05–1 Hz), olles seega nn bimodaalne süsteem.

*In situ* STM meetodil tehti kindlaks, et suhteliselt kontsentreeritud HClO<sub>4</sub> vesilahusestes potentsiaali tsükleerimisel vahemikus  $-0,7\text{ V} < E < -0,05\text{ V}$  (KKE suhtes) leiab aset Bi(111) tahu elektrokeemiline söövitumine (monokristalsete alade lahustumine ja defektse fraktaalse struktuuri moodustumine). Saadud pind on väga oluline mudelobjekt erinevate kaasaegsete elektroodi pinna kareduse (näiteks elektrolüüdi lahuses nn solvateeritud ionide Debye ekraanemis pikkusest ja pinnalaengutihedusest sõltuva näilise elektrokeemilise kareduse) mudelite testimiseks.

Oluliselt intensiivistati elektrokeemilise laenguülekande kineetika alast uurimistööd eesmärgiga selgitada välja elektrodide keemilise loomuse, pinna kristallograafilise ehituse ja geomeetrilise kareduse ning energeetilise ebaühtluse mõju heterogeensete laenguülekandeprotsesside kineetikale. Antud perioodil uuriti põhiliselt [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>, [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, aga ka S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>iooni elektroreduktsiooni seaduspärasusi. Siinkohal tuleb tõdeda, et eespool toodud redokssüsteemid omavad olulist tähtsust nn reaktsiooni mediaatorina biokütuseelemendis. Seni kehtinud arusaamade alusel peaks [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> ja [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup> ionide elektroreduktsioon toimuma adiabaatselt nn väliskoordinatsioonisfääri reorganisationsimehhanismi alusel ning selliste reaktsioonide kineetika peaks elektrostaatiliselt komponendi muutuse kaudu sõltuma väga oluliselt elektroodi potentsiaalilt, st elektroreduktsiooni korral on oluline elektrilise kaksikkihi ehituse muutusest tingitud välise Helmholtzi tasandi potentsiaali  $\psi_d$  muutus. Väliskoordinatsioonisfääri reorganisationsimehhanismi alusel kulgevate protsesside kiiruskonstantide väärtused ei tohiks sõltuda elektrodimaterjalist ega ka selle kristallograafilisest ehitusest, kuid eksperimentaalsetest tulemustest ilmneb, et heterogeense reaktsiooni kiiruskonstant sõltub oluliselt vismuti pinna kristallograafilisest ehitusest. Pöörleva ketas-elektroodi meetodil kogutud eksperimentaalsete andmete analüüsil selgus, et kõikide eelpool nimetatud ionide korral leiab aset nõrk adsorptsioon ja seetõttu esinevad olulised kõrvalekalded Frumkini aeglase neutralisatsiooni teooriast. Viidi läbi detailne elektrokeemiliste impedantsiandmete analüüs ning näidati, et katoodsetel potentsiaalidel esinev reaktsiooni kiiruse oluline pidurdus on tingitud kas vaheühendite või lähteainete adsorptsioonist, mitte aga  $\psi_d$ -potentsiaali muutusest. Kõige lähedasemalt ideaalsele süsteemile käituvad süsteemid Bi(hkl) | H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>; Bi(hkl) |  $x\text{ M Co(NH}_3\text{)ClO}_4 + y\text{ M LiClO}_4 + z\text{ M HClO}_4$  ( $z < 1 \times 10^{-4}\text{ M}$ ), kus adsorptsiooniefektid on kõige väiksemad.

Kogutud eksperimentaalsete andmete teoreetilisele analüüsile tuginedes on ilmunud või aktsepteeritud 39 Current Contents'is ja 5 Chemical Abstracts'is refereeritavat artiklit. Mõningad artiklid on veel retsenseerimise staadiumis.

Kaitstud on 6 filosoofiadoktori kraadi ning rohkesti magistritöid. Seega võib viimase nelja aasta elektrokeemiaalaseid uurimistöid lugeda edukaks.

#### KIRJANDUS

Arulepp, M., Leis, J., Lätt, M., Miller, F., Rumma, K., Lust, E., Burke, A. F. (2006). The advanced carbide-derived carbon based supercapacitor. *J. Power Sources*, 162, 1460-1466.

Arulepp, M., Permann, L., Leis, J., Perkson, A., Rumma, K., Jänes, A., Lust, E. (2004). Influence of the solvent properties on the characteristics of a double layer capacitor. *J. Power Sources*, 133, 320-328.

Conway, B. E. (1999). *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*, Kluwer Academic /Plenum Publishers, New York, 1999.

Eikerling, M., Kornyshev, A. A., Lust, E. (2005). Hierarchical model of high energy density double layer capacitor. Toward optimisation of the electrical double layer capacitor characteristics. *J. Electrochem. Soc.*, 152, E24-E33.

Härk, E., Lust, E. (2006). Electroreduction of hexaamminecobalt(III) cation on Bi(hkl) electrodes from weakly acidified  $\text{LiClO}_4$  solutions. *J. Electrochem. Soc.*, 153, 6, E104-E110.

Jäger, R., Härk, E., Möller, P., Nerut, J., Lust, K., Lust, E. (2004). The kinetics of electroreduction of hexaamminecobalt(III) cation on Bi planes in aqueous  $\text{HClO}_4$  solutions. *J. Electroanal. Chem.*, 566, 2004, 217-226.

Jänes, A., Kurig, H., Lust, E. (2007). Characterisation of activated nanoporous carbon for supercapacitor electrode materials. *Carbon*, 45, 1226-1233.

Jänes, A., Lust, E. (2006). Electrochemical characteristics of nanoporous carbide-derived carbon materials in various non-aqueous electrolyte solutions. *J. Electrochem. Soc.*, 153, A113-A116.

Jänes, A., Lust, E. (2005). Organic carbonate — organic ester based non-aqueous electrolytes for electrical double layer capacitors. *Electrochem. Comm.*, 7, 510-514.

Jänes, A., Lust, E. (2006). Use of organic esters as co-solvents for electrical double layer capacitors with low temperature performance. *J. Electroanal. Chem.*, 588, 285-295.

Jänes, A., Permann, L., Arulepp, M., Lust, E. (2004). Electrochemical characteristics of nanoporous carbide-derived carbon materials in nonaqueous electrolyte solutions. *Electrochem. Commun.*, 6, 313-318.

Jänes, A., Permann, L., Arulepp, M., Lust, E. (2004). Voltammetric and electrochemical impedance spectroscopy studies of nanoporous carbon | 1M  $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{CH}_3\text{NBF}_4$  electrolyte solution interface. *J. Electroanal. Chem.*, 569, 257-269.

- Jänes, A., Permann, L., Nigu, P., Lust, E. (2004). Influence of solvent nature on the electrochemical characteristics of nanoporous carbon | 1 M  $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{CH}_3\text{NBF}_4$  electrolyte solution interface. *Surf. Sci.*, 560, 145-157.
- Jänes, A., Thomberg, T., Lust, E. (2007). Synthesis and characterization of nanoporous carbide-derived carbon by chlorination of vanadium carbide. *Carbon*, 45, 2717-2722.
- Kallip, S., Kasuk, H., Grozovski, V., Möller, P., Lust, E. (2008). Adsorption of camphor and 2,2'-bipyridine on Bi(111) electrode surface. *Electrochim. Acta*, 53, 4035-4045.
- Kallip, S., Lust, E. (2005). *In situ* STM studies of Bi(111) electrodes in aqueous electrolyte solutions. *Electrochem. Comm.*, 7, 863-867.
- Kasuk, H., Nurk, G., Lust, E. (2008). Adsorption of sodium dodecyl sulfate on the bismuth (111), (001) and  $(01\bar{1})$  planes. *J. Electroanal. Chem.*, 613, 80-96.
- Kasuk, H., Nurk, G., Lust, K., Lust, E. (2005). Adsorption of uracil on bismuth single crystal planes. *J. Electroanal. Chem.*, 580, 128-134.
- Laes, K., Nurk, G., Väärtnõu, M., Lust, K., Jänes, A., Lust, E. (2004). Adsorption of tetrabutylammonium cations on Bi $(01\bar{1})$  plane. *J. Electroanal. Chem.*, 569, 241-256.
- Leis, J., Arulepp, M., Kuura, A., Lätt, M., Lust, E. (2006). Electrical double-layer characteristics of novel carbide-derived carbon materials. *Carbon*, 44, 2122-2129.
- Lust, E., Jänes, A., Arulepp, M. (2004). Influence of electrolyte characteristics on the electrochemical parameters of electrical double layer capacitors. *J. Solid State Electrochem.*, 8, 488-496.
- Lust, E., Jänes, A., Arulepp, M. (2004). Influence of solvent nature on the electrochemical parameters of electrical double layer capacitors. *J. Electroanal. Chem.*, 562, 33-42.
- Lust, E., Jänes, A., Pärn, T., Nigu, P. (2004). Influence of nanoporous carbon electrodes thickness on the electrochemical characteristics of nanoporous carbon | x M  $(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{NBF}_4$  acetonitrile solution. *J. Solid State Electrochem.*, 8, 224-237.
- Lust, E., Kivi, I., Nurk, G., Möller, P., Kallip, S., Grozovski, V., Kurig, H. (2007a). Influence of cathode porosity and potential on the oxygen reduction kinetics at the intermediate temperature SOFCs cathodes. *ECS Trans.*, 7, 1, 1071-1080.
- Lust, E., Möller, P., Kivi, I., Nurk, G., Kallip, S. (2005a). Electrochemical characteristics of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ ,  $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  and  $\text{Gd}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  on  $\text{Ce}_{0.85}\text{Sm}_{0.15}\text{O}_{1.925}$  electrolyte. *J. Solid State Electrochem.*, 9, 882-889.

Lust, E., Möller, P., Kivi, I., Nurk, G., Kallip, S., Nigu, P., Lust, K. (2005b). Optimisation of the cathode composition for the intermediate temperature SOFC. *J. Electrochem. Soc.*, 152, A2306-A2308.

Lust, E., Möller, P., Nurk, G., Kivi, I., Kallip, S. (2007b). Influence of electrode porosity and potential of the oxygen reduction kinetics on the intermediate temperature SOFCs cathodes. *ECS Trans.*, 5, 1, 423-434.

Lust, E., Nerut, J., Härk, E., Kallip, S., Grozovski, V., Thomberg, T., Jäger, R., Lust, K., Tähnas, K. (2006). Electroreduction of complex ions at bismuth and cadmium single crystal plane electrodes. *ECS Trans.*, 1, 17, 9-17.

Lust, E., Nurk, G., Jänes, A., Arulepp, M., Nigu, P., Möller, P., Kallip, S., Sammelseg, V. (2003). Electrochemical properties of nanoporous carbon electrodes in various nonaqueous electrolytes. *J. Solid State Electrochem.*, 7, 91-105.

Lust, E., Nurk, G., Kallip, S., Kivi, I., Möller, P. (2005c). Electrochemical characteristics of  $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_{1.9} | \text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta} + \text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_{1.9}$  half-cell. *J. Solid State Electrochem.*, 9, 674-683.

Lust, E., Nurk, G., Kivi, I., Küngas, R., Möller, P., Kurig, H., Kallip, S. (accepted). Influence of cathode porosity on the characteristics of medium-temperature SOFC single cells. *ECS Trans.*

A method for preparation of the nano(micro)meso porous cathode electrode, anode and electrolyte single cells for a solid oxide fuel cell and solid oxide fuel cell (Euroopa prioriteeditaotlus nr EE200700026, PCT/EE2007/000010, 31.05.2007. Staatus: jõus).

Meetod tahke oksiid kütuselemendi ühikraku valmistamiseks ja nimetatud ühikrakk (prioriteeditaotlus Eestis: nr P200700026, 28.08.2007. Staatus: jõus).

Nazmutdinov, R. R., Zinkicheva, T. T., Probst, M., Lust, K., Lust, E. (2005). Adsorption of halide-ions from aqueous solutions at a Cd(0001) electrode surface: quantum chemical modelling and experimental study. *Surf. Sci.*, 577, 112-126.

Nurk, G., Küngas, R., Kivi, I., Kurig, H., Grozovski, V., Kallip, S., Lust, E. (2007). Influence of mesoporosity of the anode on the characteristics of medium-temperature SOFC single cells. *ECS Trans.*, 7, 1, 1609-1616.

Romann, T., Grozovski, V., Lust, E. (2007). Formation of the bismuth thiolate compound layer on bismuth surface. *Electrochem. Comm.*, 9, 2507-2513.

Romann, T., Lust, K., Lust, E. (2007). Adsorption of 1,6 hexanediol on Bi single crystal electrodes. *Electrochim. Acta*, 52, 2612-2619.

Siinor, L., Lust, K., Lust, E. Impedance study of adsorption kinetics of iodide ions at Bi(001) electrode from the aqueous solutions with constant ionic strength. *J. Electroanal. Chem.*, 601, 39-46.

Thomberg, T., Nerut, J., Jäger, R., Möller, P., Lust, K., Lust, E. (2005). The kinetics of electroreduction of peroxodisulfate ions on single crystal cadmium and bismuth electrodes. *J. Electroanal. Chem.*, 582, 130-143.

Thomberg, T., Nerut, J., Lust, E. (2006). Impedance spectroscopy data for  $S_2O_8^{2-}$  anions electroreduction kinetics at Cd(0001) plane electrode. *J. Electroanal. Chem.*, 586, 237-246.

Thomberg, T., Nerut, J., Lust, K., Lust, E. (2004). The kinetics of electroreduction of peroxodisulfate anion on electrochemically polished Cd(0001) plane. *Electrochim. Acta*, 49, 1271-1279.

Väärtnõu, M., Lust, E. (2008). Adsorption of iodide ions on the Cd(0001) single crystal plane in ethanol. *J. Electroanal. Chem.*, 614, 1-7.

Väärtnõu, M., Lust, E. (2006). Adsorption of tetraethylammonium ions on Bi(111) single crystal plane from solutions in ethanol. *J. Electroanal. Chem.*, 587, 220-225.

Väärtnõu, M., Lust, E. (2005). Impedance study of chloride ions adsorption on Bi(111) and Bi(01 $\bar{1}$ ) single crystal planes in ethanol. *J. Electroanal. Chem.*, 578, 273-282.

*Teaduspreemia arstiteaduse alal publikatsioonide tsükli  
“Närvisüsteemi haiguste molekulaarsetest mehhanismidest” eest*



*Tõnis Timmusk*

Sündinud 07.01.1959 Tallinnas

1977 Tallinna 7. Keskkool

1982 Tartu Ülikool, bioloog-tsütoloog ja bioloogia-keemiaõpetaja

1994 filosoofiadoktor, arstiteadus, Karolinska Instituut.

Aastatel 1985–1991 ja 2000–2005 Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudis insenerist vanemteadurini; 1991–1996 Karolinska Instituudis doktorant, teadur, abiprofessor; 1996–1999 Uppsala Ülikoolis abiprofessor; 1999–2003 Helsingi Ülikoolis neurobioloogia dotsent ja vanemteadur; aastast 2002 Tallinna Tehnikaülikoolis geenitehnoloogia instituudi professor.

Avaldanud 46 ISI publikatsiooni.

Närvisüsteemi varast arengut mõjutavad protsessid, mis toimuvad enne neuro-nitevaheliste ühenduste, sünapside formeerumist. Nende varaste protsesside hulka kuuluvad 1) loote esmase närvisüsteemi kujunemine; 2) närvirakkude ehk neuronite sünd primitiivsetest eellasrakkudest; 3) peamiste ajustruktuuride moodustumine; 4) neuronite migratsioon oma sünnikohast lõppasukohta.

Kui neuraalorust on moodustunud algelised pea- ja seljaajustruktuurid, algab aju püsielementide, neuronite ning gliarakkude sünni- ja eristumisprotsess. Täiskasvanud inimese ajus on umbes miljard neuronit ja veelgi enam gliarakke. Kõik need rakud tekivad väga lühikese aja, umbes mõne kuu jooksul väiksest populatsioonist eellasrakkudest. Individuaalsete eellasrakkude arenguline valik sõltub kõige rohkem nende eristumise ajal toimuvatest koostoi-metest keskkonnaga ehk ümbritsevate rakkudega. Lõpptulemusena kontrolli-vad kõiki neid sündmusi rakk-rakk-kontaktid ja rakuspetsiifiline geeniregulat-sioon. Valgud, mis osalevad varase arengu suunamises, osalevad hiljem ka täiskasvanud organismi funktsioneerimises, näiteks transkriptsioonitegurid, adhesioonimolekulid jpt. Nende valkude kirjeldamine on toonud selgust palju-de haiguste, sh pärilike, tekkepõhjusele [Timmusk jt, 2007; Purves jt, 2000].



## NEUROTROOFSED TEGURID JA NENDE ROLL NÄRVISÜSTEEMI FUNKTSIONEERIMISES JA HAIGUSTES

NEUROTROOFSED TEGURID. Pärast seda, kui neuronid on “leidnud” oma lõppasukoha, peab toimuma veel kaks suurt protsessi, et närvisüsteem hakkaks normaalselt funktsioneerima. Esiteks peavad tekkima ühendused eri närvisüsteemi piirkondade vahel. Teiseks, õigete partnerite-neuronite vahel peavad moodustuma spetsiifilised struktureeritud ühendused, mida nimetatakse sünaptsiteks. Neuronite võrgustike moodustumise aluseks on närviraku jätkete – aksonite – kasvamine õiges suunas õigesse kohta ja sünaptsite formeerumine. Neuronid peavad integreerima hulgaliselt erinevaid signaale, et teha kindlaks, kuhu saata aksonid, kas elada või surra, milliste rakkudega ja kui palju moodustada sünaptilisi kontakte ning kuidas neid säilitada. Sünaptiliste kontaktide moodustumisega algab arengus uus etapp: neuronid muutuvad edasisel eluspüsimisel teatud määral sõltuvaks oma märklaudkoest; märklaua puudumisel neuronite dendriidid ja aksonid atrofeeruvad ning selle tagajärjel neuronid lõpptulemusena surevad. Seda pikaajalist sõltuvust neuronite ja nende märklaud-kudede vahel nimetatakse troofiliseks interaktsiooniks. Troofiliste interaktsioonide aluseks on signaalmolekulid – neurotroofsed tegurid [Timusk jt, 2007; Purves jt, 2000; Davies, 2003].

Neurotroofsed tegurid täidavad kaht peamist funktsiooni: 1) suuremast neuronite populatsioonist teatud väikse hulga neuronite elushoidmine, 2) korrektse arvu ühenduste moodustamine ja säilitamine. See eeldab teatud hulga reeglite ja tingimuste olemasolu: 1) ellujäämiseks ja hiljem korrektse arvu märklaud-ühenduste moodustamiseks vajavad neuronid kindlat hulka troofilisi tegureid; 2) märklaud-koed sünteesivad ning varustavad enda suunas jätkeid suunavaid neuroneid sobivate troofiliste teguritega; 3) märklaud-koed sünteesivad troofilisi tegureid piiratud hulgal, mille tulemusena kasvavate neuronite ellujäämine toimub konkurentsi tingimustes, kus teatud piiratud tegurihulgale konkureerivad suured neuronite populatsioonid. Neurotroofne hüpotees väidab, et neuronite märklaudkoed, kas mitteneuraalsed koed või teised neuronid, toodavad neurotroofiine väga kontrollitud ja piiratud hulgal. Lootelises ja varases sünnijärgses arengus ning kohati ka täiskasvanud organismis sõltub neuronite ellujäämine nende tegurite kriitilisest hulgast. Selle tulemuseks on teatud tegurite suhtes tundlike neuronite omavaheline konkurents, mis põhjustab „nõrgemate“ neuronite hukkumise. Üheks selliseks troofiliseks teguriks on närvide kasvutegur ehk NGF (*nerve growth factor*). NGFi avastasid Rita Levi-Montalcini ja Victor Hamburger 1950ndate alguses. Nad näitasid, et jäsemealge amputatsioon kana embrüo teatud arengustaadiumis viib enamiku nende motoneuronite degeneratsioonini, mis oleksid eemaldatud jäset innerveerinud. Nende katsete põhjal oletasid teadlased, et märklaudkude, mis antud katses oli jäsemealge, sekreteerib teatud signaali, mis on neuronite ellujäämiseks vajalik. Hiljem Rita Levi-Montalcini koos Stanley Coheniga eraldasid ja puhastasid valgu, mille nad nimetasid närvide kasvuteguriks, sest see valk indutseeris tea-

tud närvirakkudel neuriitide massiivset väljakasvu. 1986. a said Rita Levi-Montalcini ja Stanley Cohen Nobeli auhinna füsioloogias ning meditsiinis [Timmusk jt, 2007; Purves jt, 2000; Davies, 2003; Bibel, Barde, 2000; Binder, Scharfman, 2004].

Neurotroofsed tegurid edastavad signaali rakumembraaniga seotud retseptorite kaudu. Neurotroofseid teguritest on enim uuritud kahte perekonda – NGF perekonda e neurotrofiine ja gliia päritolu neurotroofsete tegurite (*glial cell line-derived neurotrophic factor*) perekonna GFL (*GDNF Family Ligands*) valke. GFL perekonna valkudel GDNF<sub>il</sub>, neurturiinil, artemiiniil ja persefiiniil on närvisüsteemi arengus, talitluses ja patoloogias oluline roll. Närvisüsteemi arengus osalevad GFL neurotrofiinid erinevate neuroniklasside elushoidmisel: eriti oluline on GDNF dopaminergiliste neuronite elushoidmiseks [Airaksinen, Saarma, 2002]. Allpool käsitletakse pikemalt NGF perekonna neurotroofseid tegureid.

NGF PEREKONNA NEUROTROOFSED TEGURID – NEUROTROFIINID. Kuigi NGF on kõige enam uuritud neurotroofne tegur, oli juba varasematest katsetest selge, et teatud neuronite populatsioonid ei olnud NGFist sõltuvad. Hilisemad tööd on kinnitanud, et NGF on vaid üks neurotrofiinide perekonna esindaja. Praeguseks on selles perekonnas kirjeldatud veel kolme liiget: aju-päritoluga neurotroofne tegur (BDNF), neurotrofiin-3 (NT-3) ja neurotrofiin-4 (NT-4). Neurotrofiinid on suhteliselt väikesed evolutsiooniliselt konserveerunud sekreteeritavad valgud, millel on väga oluline roll selgroogsete närvisüsteemis. Neurotrofiinide tasemed määravad tasakaalu rakkude ellujäämise ja apoptoosi (programmeeritud rakusurma) vahel. Hiired, kellel NGF, BDNF või NT-3 puuduvad, surevad peatselt pärast sündi. Isegi hiired, kelle neurotrofiinide tasemed on poole võrra vähenenud vastava geeni ühe alleeli inaktivatsiooni tulemusena, on mitmete defektidega. Kuigi neurotrofiinid on oma struktuurilt väga sarnased, kattuvad nende funktsioonid vaid osaliselt. Neurotrofiinide selektiivsed funktsioonid tulenevad neid siduvate rakupinnal olevate Trk (*tropomyosin receptor kinase*) retseptorvalkude perekonnast. TrkA on peamine NGFi retseptor, TrkB – BDNF ja NT-4 retseptor, TrkC – NT-3 retseptor. Trk retseptorite ekspressioonist tulenevalt on neuronid teatavate neurotrofiinide suhtes selektiivsed. Trk retseptorid kuuluvad retseptor türosiinkinaaside superperekonda. Nad on oma struktuurilt ja aktivatsioonilt väga sarnased sellise mitteneuronaalse kasvuteguri retseptoriga nagu EGF (epidermaalne kasvutegur) retseptor. Need sarnasused viitavad võimalusele, et Trk retseptorite ja teiste kasvutegurite poolt initsieeritud rakusisesed signaalsed kaskaadid on sarnased. Neurotrofiinide toimel aktiveerunud Trk retseptorid põhjustavad lõpptulemusena muutusi märklaudneuronide geenide ekspressiooni mustris, mis siis määrabki troofiliste interaktsioonide avaldumist. Teine klass retseptoreid, mis seob neurotrofiine, kannab nimetust p75. Viimast seostatakse suuresti rakkude programmeeritud surma ehk apoptoosiga [Timmusk jt, 2007; Davies, 2003; Bibel, Barde, 2000].

Neurotrofiinide kõige klassikalisemaks funktsiooniks on arenevate piirdeärvsüsteemi neuronite elushoidmine (vt eespool neurotroofne hüpootees). Näiteks NGF, BDNF, NT-3 ja NT-4 on vajalikud erinevate piirdeärvsüsteemi neuronite ellujäämiseks. Samas reguleerivad neurotrofiinid ka närviraku jätkete väljakasvu ja õiges suunas märklaudkoe ni juhtimist. Staadiumist, mil on moodustunud täiskasvanud neuronite populatsioon, hakkavad troofilised signaalid kontrollima neuraalsete ühenduste moodustamist, eriti neuronite jätkete, aksonite ja dendriitide harude hulka, ulatust ning suurust [Timmusk jt, 2007; Davies, 2003; Bibel, Barde, 2000].

Neurotrofiinidel on ka olulised funktsioonid kesknärvsüsteemis (aju, seljaaju). Neurotrofiinid osalevad kesknärvsüsteemis rohkem neuronalse diferentseerumise ja rakulise fenotüübi regulatsioonis kui lihtsalt rakkude eluspäsimise toetamisel. Näiteks reguleerivad neurotrofiinid närvirakkude vaheliste spetsiifiliste ühenduste, sünapside struktuuri ja funktsiooni. Närvirakud annavad infot edasi sünapside kaudu, kasutades selleks mitmesuguseid virgatsaineid ehk neurotransmittereid. Neurotrofiinid reguleerivad neurotransmitterite dopamiini, serotoniini, noradrenaliini jt sisaldust. Näiteks BDNF geeni ühe geenikoopia inaktivatsiooniga hiirtes on serotoniini sisaldused sünapsites vähenenud. Neurotrofiinid on olulised ka agressiivsuse, valutundlikkuse ja toitumise regulatsioonis: BDNF geeni inaktivatsiooniga mutantsed hiired on hüperaktiivsed, agressiivsed ja kannatavad ka liigsöömise all. Samuti on oluline märkida, et neurotrofiinide tasemeid reguleerib neuronaalne aktiivsus, mis lubab arvata, et neuronite võrgustike kujunemise ajal võivad need valgud oluliselt mõjutada kogemusel põhinevaid protsesse, nagu õppimist ja mälu. Nii arenevas kui ka täiskasvanud närvsüsteemis on sünaptilised ühendused väga dünaamilised: keskkonna mõjutuste tagajärjel kaovad vanad sünaptid ja tekivad uued. Seda protsessi nimetatakse ka sünaptiliseks plastilisuseks. Õppimisel ja mälus toimub uute sünapside moodustamine ning neurotrofiinidel, eriti BDNFil, on selles väga tähtis funktsioon [Timmusk jt, 2007; Davies, 2003; Bibel, Barde, 2000; Binder, Scharfman, 2004].

Neurotrofiinidest on kõige rohkem tähelepanu pälvinud BDNF tänu tema laialdasele ekspressioonile ja olulistele funktsioonidele nii kesknärvsüsteemis kui ka piirdeärvsüsteemis. BDNF mõjutab närvsüsteemi nii lootelises arengus kui ka sünnijärgses perioodis peaaegu igast aspektist – alates neuraalsest proliferatsioonist, migratsioonist, närvirakkude ellujäämisest, aksoni juhtimisest sihtmärgile, dendriitide kasvust ja harunemisest, sünapside moodustamisest kuni neurotransmitterite vabastamiseni. BDNFi esineb suurtes kontsentratsioonides ka täiskasvanu teatud ajuosades, kus ta reguleerib samu protsesse, tagades närvirakkude võrgustike funktsioneerimise [Timmusk jt, 2007; Binder, Scharfman, 2004].

NEUROTROOFSED TEGURID JA NÄRVISÜSTEEMI HAIGUSED. Häired neurotroofsete tegurite funktsioonis arvatakse olevat paljude närvsüsteemihaiguste alu-

seks. Muutusi neurotroofsete tegurite tasemetes organismis on eelkõige tähtsustatud mitmete neurodegeneratiivsete haiguste, sealhulgas Alzheimeri, Parkinsoni, Huntingtoni tõve ja amüotroofse lateraalskleroosi puhul. Kõik need haigused on progresseeruva iseloomuga ja hõlmavad kindlate neuronipopulatsioonide selektiivset hävimist. Häireid neurotroofsete tegurite funktsioonides on leitud ka stressist tulenevates meeleolu- ja ärevushäiretes, perifeersetes neuropaatias, epilepsias jt närvisüsteemi haigustes. Ühenukleotiidne polümorfism inimese BDNF geenis, mis viib valiini asendumisele metioniiniga (Val66Met) BDNF valgu prodomeenis, põhjustab vähenenud neuraalse aktiivsuse poolt indutseeritud BDNF valgu sekretsiooni, mälu halvenemist ja eelsoodumust mitmeteks neuropsühhiaatrilisteks haigusteks, nagu näiteks bipolaarne häire, ärevushaigused ning skisofreenia. BDNFi hulga vähenemine kaasneb paljude närvisüsteemi haigustega ja arvatavasti osaleb ka neist mitmete põhjustamises [Timmusk jt, 2007; Binder, Scharfman, 2004].

Praegu neurotroofsete tegurite funktsiooni häiretega haiguste ravis kasutusel olevad ravimid on piiratud efektiivsusega. Seetõttu on vajadus uute tõhusamate ravimite järele suur. Üheks paljulubavaks strateegiaks on taastada tundliku neuronipopulatsiooni neurotroofne tugi. Neurotroofsete tegurite geenide ja valkude uurimine on toonud selgust paljude haiguste, sh neurodegeneratiivsete, tekkepõhjusele. Lisaks tuntakse neurotroofsete tegurite ja nende retseptorite vastu suurt huvi seetõttu, et nad on potentsiaalsed ravimid või arendatavate ravimite märklaud [Timmusk jt, 2007].

Huntingtoni tõve patsientidel hävivad järk-järgult ja selektiivselt aju juttkeha GABA-ergilised neuronid, mis vajavad ellujäämiseks ajukooses toodetavat BDNFi. Oleme hiljuti avastanud neurotrofiin BDNFi geeni uued regulatsiooni mehhanismid, mida on võimalik kasutada BDNFiga seotud närvisüsteemi haiguste, k.a Huntingtoni tõve, uute ravimite arenduses. Oluline on see, et osa avastatud mehhanismidest toimivad vaid inimeses ja toimi teistes imetajates, k.a biomeditsiinilistes uuringutes enim kasutatavates mudelorganismides hiirtes ja rottides [Aid jt, 2007; Pruunsild jt, 2007]. Need uuringud olid jätkuks meie varasematele uuringutele koostöös Milano Ülikooli professori Elena Cattaneo töögrupiga, kus näitasime, et Huntingtoni tõve korral esinev mutantne ebanormaalselt pikka glutamiiniahelat sisaldav Huntingtini valk põhjustab BDNFi transkriptsiooni vähenemise inimese ajus ja tegime kindlaks selle molekulaarse mehhanismi [Zuccato jt, 2001, 2003].

Neurotrofiin BDNF reguleerib ajus mitmeid olulisi geene. Üks neist on KCC2, mis kodeerib aju tähtsa inhibitoorse virgatsaine GABA retseptori tööd reguleerivat transmembraanset valku. Muutused GABA neurotransmitteri süsteemis võivad põhjustada mitmeid närvisüsteemi haiguseid, näiteks epilepsiat ja skisofreeniat. Koostöös dr Matti Airaksineniga Helsingi Ülikoolist kirjeldasime uusi regulatsioonimehhanisme KCC2 geeni avaldumises [Uvarov jt, 2005, 2007].

NEUROTROOFNE TEGUR CDNF KUI PARKINSONI TÕVE UUS POTENTIAALNE RAVIM. Koostöös prof. Mart Saarma töögrupiga Helsingi Ülikoolist avastasime ja iseloomustasime hiljuti uue neurotroofse teguri CDNF*i* (*Conserved Dopamine Neurotrophic Factor*) kui potentsiaalse ravimi Parkinsoni tõves surevate närvirakkude elushoidmiseks ja taastumiseks [Lindholm jt, 2007]. Parkinsoni tõbi on eelkõige vanemate inimeste haigus: 90% haigeid on vanemad kui 60 aastat ja iga saja üle 70-aastase inimese hulgas on üks haige. Parkinsoni tõve korral surevad dopamiini tootvad närvirakud aju musttuumas. Dopamiin on virgatsaine, mis saadab signaale liikumist kontrollivatele aju osadele. Haiguse sümptomiteks on lihaste jäikus, värinad, liikumise aeglus. Nüüdsed ravimid vaid kergendavad haiguse sümptomeid, kuid ei ravi seda tõbe. Patsientide suhteline osa rahvastikus aga üha suureneb rahvastiku vananedes. Meie uurimus näitas, et CDNF on iseäranis mõjus dopaminergiliste neuronite ellujäämist toetav tegur. Oluline on ka see, et CDNF on senituntud neurotroofsetest teguritest erinev, kuna toimib põhiliselt vaid dopamiini tootvatele aju närvirakkudele ja võib potentsiaalselt seega olla kõrvaltoimeteta ravim või tulevikus arendatava ravimi märklaud.

#### INIMAJU ASÜMMEETRIAST, KÄELISUSEST JA SKISOFREENIAST

Inimese aju koosneb kahest poolkerast, mis sarnaselt teistele paarisorganitele on anatoomiliselt ja funktsionaalselt peaaegu sümmeetrilised: neis paiknevad struktuurid on enamasti ühesugused nii ehituselt kui ülesannetelt. Samas on tänapäeval teada, et ajupoolkerad on mõlemas aspektis mõneti erinevad. Poolja mitteteaduslike väljaannete vahendusel on laiem üldsus teadlik ühe või teise ajupoolle domineerimisest. Vasaku poolkera domineerimisega seostatakse ratsionaalsust ja loogilisust, parema poolkera ülekaaluga aga loomingulisi võimeid. Need väited on tänaseks leidnud küllaldaselt eksperimentaalset kinnitust ning jõudsaid edasiminekuks on viimasel ajal toimunud asümmeetriliste ajuosade piiritlemises. Suuresti mõistatuslikuks on jäänud aga nii molekulaarsed mehhanismid, mis suunavad asümmeetria teket arenevas ajus, kui ka aju asümmeetria väljakujunemise aeg ning põhjused evolutsioonis [Koppel jt, 2008].

AJU ASÜMMEETRIA UURIMISE AJALOOST. Aju funktsionaalse asümmeetria avastajaks võib pidada prantsuse arsti Paul Broca't, kes 1861. aastal avastas vasakus ajupoolkeras paikneva kahjustuse patsiendil, kelle sõnavara piirdus ühe sõnaga. Ala, kus paiknes kahjustus (nn Broca ala), esineb vaid vasakus ajupoolkeras ja on oluline kõne moodustamisel. 1874. aastal avastas saksa neuroloog Carl Wernicke ala, mis on kriitilise tähtsusega kõne mõistmisel. Ka see ala esineb vaid vasakus ajupoolkeras. Süstemaatiline poolkerade vaheliste funktsionaalsete erinevuste uurimine toimus siiski pea sajand hiljem, 1960ndatel, Roger Sperry ja kolleegide poolt, kasutades uurimisobjektina patsiente, kellel oli kirurgiliselt katkestatud ajupoolte vaheline side (äärmusliku meede epilepsiahoogude kontrollimiseks). Selliste ning ühepoolsete ajukahjus-

tustega patsientide uurimine on näidanud, et lisaks keelele ja kõnele on parema ja vasaku ajukoore vahel erinevusi teisteski kõrgemates funktsioonides. Näiteks domineerib vasak poolkera matemaatilis-loogiliste ülesannete koordineerimisel, parema poolkera funktsioon on aga ülekaalukas ruumitaju ja mõtlemise emotsionaalse komponendi (huumor, kõne mittesõnaline informatsioon) osas [Koppel jt, 2008].

Esimesed tähelepanekud aju anatoomilise asümmeeria kohta tehti 19. sajandi teisel poolel, kuid alles 1960ndate lõpul avastati olulised poolkeradevahelised anatoomilised erinevused piirkondades, mida seostati kõne ja keelega. Sealtpeale on ajupoolkerade funktsionaalse asümmeeria uurimisega intensiivselt tegeletud, kasutades erinevaid meetodeid, nagu inimajude mõõtmist, magnetresonantskuvamist (MRI), funktsionaalset MRId (võimaldab jälgida ajuosade aktiveerumise kulgu ajas) ja viimastel aastakümnetel ka molekulaarbioloogilisi meetodeid [Koppel jt, 2008].

VASAKUKÄELISUS, KEEL JA SKISOFREENIA. Sõltumata rahvusest ning kultuurilisest taustast eelistab umbes 90% inimestest osavust nõudvates toimingutes paremat kätt. Pikka aega kehtinud ettekujutus inimesest kui ainukesest “paremakäelisest” liigist, purustati hiljuti uurimisega, mis näitas veenvalt parema käe eelistust shimpansitel. Indiviiditi on käpaeelistust täheldatud ka teiste liikide esindajatel: näiteks on mitmed uuringud näidanud, et närilised kasutavad eelistatult üht käppa toidu haaramiseks. Populatsioonis jagunevad parema- ja vasakukäpalised närilised aga ligikaudu pooleks. Kuna vasaku ja parema käe koordineerimisega tegelevad alad paiknevad vastavalt paremas ja vasakus poolkeras, on loogiline kahtlustada võimalust, et käelisus seotub aju asümmeetriaga. Tõepoolest on leitud, et parema käe tööga seotud ajukoore osa on paremakäelistel vasaku käe omast suurem, vasakukäelistel jälle vastupidi. Intrigeerival kombel paikneb see ajuosa keele eest vastutavate asümmeetriliste piirkondadega lähistikku, mis koos inimesele omase 9:1 käe-eelistusega tekitab küsimuse käelisuse ja keele võimalikust sõltuvusest evolutsioonis [Koppel jt, 2008].

Kuigi vasakus poolkeras paiknevad unikaalsed kõne ja keele töötusega seotud struktuurid, nagu Broca ja Wernicke alad, ei ole need vastutavad kogu kõnega seotud ajutegevuse eest. Kaasaegsetest funktsionaalsetest uuringutest on teada, et kõne tekitamisel/töötlemisel aktiveeruvate ajuosade puhul esineb suuremal osal inimestest vasaku poolkera ülekaal – selles poolkeras toimub intensiivsem informatsioonitöötlus. Paremakäelistest esineb selline vasaku poolkera domineerimine ligikaudu 95% juhtudest, vasakukäelistel aga mitte 5%, vaid umbes 80% juhtudest, mis viib olulise järelduseni: vasakukäelisuse põhjuseks ei ole aju asümmeeria peegeldumine (n-õ poolkerade rollide vahetusseminek), vaid hoopis asümmeeria vähenemine [Koppel jt, 2008].

Aju asümmeetrilisuse vähenemist on täheldatud skisofreenikutel, autistidel ja düslektikutel. See viitab võimalusele, et neid häireid võib ühendada mingi

puudujääk ajukoore asümmeetrilises arengus. On näidatud, et teatud vasaku poolkera piirkonna mahu vähenemine korreleerub mõttekäigu häirimise ja hallutsinatsioonide raskusastmega skisofreenikutel. See ajuosa paikneb alas, mis on inimajus suurima anatoomilise asümmeetrilisusega. Aju poolkera-spet-siifiliste efektidega on pistmist teistelgi psühhiaatrilistel häiretel, nagu depressioon ja maania, obsessiiv-kompulsiivne häire, tähelepanu puudulikkuse sündroom hüperaktiivsusega (ADHD) ja autism. Vasaku ajupoolle kahjustused toovad sagedamini kaasa depressiooninähud, parema poolkera omad aga maania. See on hästi kooskõlas arusaamisega poolkerade funktsioonide jaotusest: depressiooniga käib kaasas tugev puudujääk intelligentsustesti tüüpi probleemide lahendamisel, mis hindavad põhiliselt loogilis-matemaatilisi ja keelelisi võimeid – funktsioonid, mida on seostatud just vasaku poolkeraga. Maania haiguspildis on tooniandev emotsionaalne pidurdamatus ja kõrge-nenud enesehinnang, mis viitavad puudujääkidele parema ajupoolkeraga seostatud emotsioonitöötles [Koppel jt, 2008].

Skisofreenia seos käelisusega on leidnud kinnitust aastakümnete jooksul läbi viidud kümnetes uurimustes. Mõne erandiga (efekti ei leitud) on jõutud sarnastele järeldustele: skisofreenikute hulgas on sega- ja vasakukäeliste hulk kuni paar korda suurem kui tavapopulatsioonis. Paraku toimib see seos ka teistpidi, andes vähe rõõmustava signaali vasakukäelistele: tõenäosus skisofreeniasse haigestuda peaks neil olema paremakäelistest suurem [Koppel jt, 2008].

Statistika näitab, et käelisuse kujunemisel on päritav komponent. Tõenäoliselt on käelisuse kujunemine mitmete geenide koostoime tulemus, kuigi tänaseni pole välistatud võimalus, et see on määratud ühe geeni poolt. Populaarne käelisuse ühe-geeni teooria pakub välja võimaluse, et on olemas nn paremnihke (*right shift*) geen, mille põhiroll on keelega seotud asümmeetriliste struktuuride väljakujunemine. Selle teooria järgi võiks käelisus tekkida kaasnähuna, kui võrd käeliigutusi koordineerivad alad ajus paiknevad lähistikku “keelealadega” [Koppel jt, 2008].

UUS AJASTU AJU ASÜMMEETRIA UURIMISEL. Usaldusväärsete faktideni aju asümmeetria kohta on jõutud kahte põhilist meetodikat kasutades – esiteks, seostades erinevate ajupiirkondade kahjustusi täheldatavate muutustega aju funktsioonis; teiseks, mõõtes erinevate ülesannetega hõivatud ajuosade aktiivsust. Paraku ei ole neid meetodeid kasutades võimalik vastata küsimustele asümmeetria tekke kohta. Evolutsiooniliste põhjuste mõistmiseks peame küsima, millised muutused on toimunud liikide genoomide tasemel. Paar aastat tagasi sekveneeritud šimpansi genoomi (kasutatav alates 2005) võrdlemine inimese genoomiga (2001) pakub esmakordse võimaluse jälile saada geneetilistele erinevustele, mis meid lähimatest looduslikest sugulastest lahutavad. Selleks, et teada saada asümmeetrilise aju kujunemise põhjuseid indiviidi arengus, peame mõistma aju arengu ja talitluse molekulaarseid mehhanisme üldisemalt. Molekulaarbioloogia populaarsuse kiire kasv ja selle meetodite tormi-

line areng on oluliselt kaasa aidanud paljude aju funktsioneerimist valgustavate avastuste sünnile viimasel paaril aastakümnel. Aju asümmeeria molekulaarsed alused on siiani aga suurel määral teadmata. Mehhanisme, mis käivitaksid asümmeeria tekke, võib hetketeadmiste põhjal oletada mitmesuguseid, kuid üldjoontes taanduvad need kahele suuremale võimalusele (võimalik on ka koosmõju): 1) asümmeetriat indutseeriva geeni/geenide sisselülitamine mingil kriitilisel perioodil arengus või 2) teatud geeni/geenide erinev avaldumise tase mingil arenguetapil ajupoolkerades. Teise võimaluse uurimine on märgatavalt kergem, sest geeniekspressiooni erinevuste uurimine on praeguste tehnoloogiliste vahenditega teostatav, taandudes vaid järjekindlusele – tuleb kasutada suhteliselt suuri valimeid ning süstemaatiliselt uurida läbi kõik sünnieelse ja sünnijärgse arengu etapid. Teatud arengustaadiumidest on teada juba paarkümmend geeni, mis avalduvad kõrgemal tasemel ühes või teises poolkeras. Kas ja kuidas need ekspressioonierinevused on seotud aju asümmeetriaga, nõuab edasist uurimist. Sümmeetriliselt ekspresseeruva, kuid asümmeetriat põhjustava geeni leidmiseks on ainus võimalus võrrelda normaalset aju sellisega, kus asümmeeria on häiritud. Taolist analüüsi võimaldavad populatsioonigeneetika meetodid, mille abil leitakse statistiline seos mingi tunnuse ja seda tunnust põhjustavate geneetiliste elementide vahel. Uurimisobjektideks antud küsimuses on näiteks aju asümmeetrilise ehituse ja talitlusega seostatud haiguste või tunnustega inimesed [Koppel jt, 2008].

2007. aastal avaldati teadusajakirjas *Molecular Psychiatry* meie grupi osalusel läbi viidud uurimus, milles leiti skisofreenia ja käelisusega seostuv geen *LRRTM1*. Selle geeni olime eelnevalt avastanud koos soome teadlastega. Varasemalt oli teada vaid piirkond genoomis, milles paiknevad erinevused indiviidide vahel võivad määrata soodumuse nii vasakukäelisuse, lugemisraskuste kui skisofreenia väljakujunemiseks. Käesolevas uurimuses tehti aga kindlaks, et seda seost kandvad elemendid, kindlad ühenukleotiidsed polümorfismid (SNPid), paiknevad just *LRRTM1* geeni regulaatorsetes osades. Samuti leiti, et skisofreeniat ja vasakukäelisust ennustaval geenivariandil esines osades katsegruppides isaliini pidi avalduv päritavus – emapoolne geenikoopia ei avaldu. Inimese paarikümnest tuhandest geenist on selliseid nn vermitud (*imprinted*) gene avastatud vaid mõnikümmend ning reeglina on tegemist arenguliselt oluliste geenidega. Oluline on märkida, et *LRRTM1* on esimene ja siiani ainus teadaolev geen, mille polümorfism on seotud käelisusega. Geeni *LRRTM1* funktsiooni kohta on hetkel vähe teada, kuid vastav uurimistöö võib lähitulevikus anda olulisi vastuseid küsimustele aju asümmeeria, käelisuse ning psühhiaatriliste haiguste tekke ja olemuse kohta [Koppel jt, 2008].

## KIRJANDUS

Aid, T., Kazantseva, A., Piirsoo, M., Palm, K., Timmusk, T. (2007). Mouse and rat BDNF gene structure and expression revisited. *J. Neurosci. Res.*, 85, 525-535.



- Airaksinen, M. S., Saarma, M. (2002). The GDNF family: signalling, biological functions and therapeutic value. *Nat. Rev. Neurosci.*, 3, 383-394.
- Bibel, M., Barde, Y. A. (2000). Neurotrophins: key regulators of cell fate and cell shape in the vertebrate nervous system. *Genes Dev.*, 14, 2919-2937.
- Binder, D. K., Scharfman, H. E. (2004). Brain-derived neurotrophic factor. *Growth Factors*, 22, 123-131.
- Davies, A. M. (2003). Regulation of neuronal survival and death by extracellular signals during development. *EMBO J.*, 22, 2537-2545.
- Francks, C., Maegawa, S., Lauren, J., Abrahams, B. S., Velayos-Baeza, A., Medland, S. E., Colella, S., Groszer, M., McAuley, E. Z., Caffrey, T. M., Timmusk, T., Pruunsild, P., Koppel, I., Lind, P. A., Matsumoto-Itaba, N., Nicod, J., Xiong, L., Joobar, R., Enard, W., Krinsky, B., Nanba, E., Richardson, A. J., Riley, B. P., Martin, N. G., Strittmatter, S. M., Moller, H. J., Rujescu, D., St Clair, D., Muglia, P., Roos, J. L., Fisher, S. E., Wade-Martins, R., Rouleau, G. A., Stein, J. F., Karayiorgou, M., Geschwind, D. H., Ragoussis, J., Kendler, K. S., Airaksinen, M. S., Oshimura, M., Delisi, L. E., Monaco, A. P. (2007). LRRTM1 on chromosome 2p12 is a maternally suppressed gene that is associated paternally with handedness and schizophrenia. *Mol. Psychiatry*, 12, 1129-1139.
- Koppel, I., Pruunsild, P., Timmusk, T. (2008). Inimaju asümmeetriast, käelisusest ja skisofreeniast. Tallinna Tehnikaülikooli aastaraamat 2008. (ilmumisel).
- Lindholm, P., Voutilainen, M. H., Laurén, J., Peränen, J., Leppänen, V. M., Andressoo, J. O., Lindahl, M., Janhunen, S., Kalkkinen, N., Timmusk, T., Tuominen, R. K., Saarma, M. (2007). Novel neurotrophic factor CDNF protects and rescues midbrain dopamine neurons *in vivo*. *Nature*, 448, 73-77.
- Pruunsild, P., Kazantseva, A., Aid, T., Palm, K., Timmusk, T. (2007). Dissecting the human BDNF locus: bidirectional transcription, complex splicing and multiple promoters. *Genomics*, 90, 397-406.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A. S., McNamara, J. O., Williams, S. M. (2000). *Neuroscience*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Zuccato, C., Ciammola, A., Rigamonti, D., Leavitt, B. R., Goffredo, D., Conti, L., MacDonald, M. E., Friedlander, R. M., Silani, V., Hayden, M. R., Timmusk, T., Sipione, S., Cattaneo, E. (2001). Loss of Huntingtin-Mediated BDNF gene transcription in Huntington's disease. *Science*, 293, 493-498.
- Zuccato, C., Tartari, M., Crotti, A., Goffredo, D., Valenza, M., Conti, L., Cataudella, T., Leavitt, L., Hayden, M. R., Timmusk, T., Rigamonti, D., Cattaneo, E. (2003). Huntingtin interacts with REST/NRSF to modulate the transcription of NRSE-controlled neuronal genes. *Nat. Genet.*, 35, 76-83.

Timmusk, T., Koppel, I., Pruunsild, P., Sepp, M., Tamme, R. (2007). Neurotroofsed tegurid. *Eesti Arst*, 86, 614-621.

Uvarov, P., Ludwig, A., Markkanen, M., Pruunsild, P., Kaila, K., Delpire, E., Timmusk, T., Rivera, C., Airaksinen, M. S. (2007). A novel N-terminal isoform of the neuronal  $K^+/Cl^-$  cotransporter KCC2. *J. Biol. Chem.*, 282, 30570-30576.

Uvarov, P., Pruunsild, P., Timmusk, T., Airaksinen, M. S. (2005). KCC2 transgenes lacking neuron restrictive silencer element recapitulate CNS neuron-specific expression and developmental upregulation of endogenous KCC2 gene. *J. Neurochem.*, 95, 1144-1155.

*Teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal  
tööde tsükli “Molekulaarne süsteemne bioenergeetika” eest*



*Valdur Sakš* (kollektiivi juht, neljas vasakult)

Sündinud 3.09.1943 Kiviõlis

1962 Kohtla-Järve Keemia-Mäetehnikum

1967 Moskva Riiklik Ülikool, keemiateaduskond

1971 keemiakandidaat, Moskva Riiklik Ülikool

1981 bioloogiadoktor, Moskva Kardiokeskus

1970–1971 Eesti TA Küberneetika Instituudi nooremteadur

1971–1972 Moskva Riikliku Ülikooli keemiateaduskonna nooremteadur

1972–1993 Moskva Kardiokeskuse vanemteadur, laboratooriumi juhataja

Alates 1993 Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi bioenergeetika laboratooriumi juhataja

Alates 1997 Grenoble'i Joseph Fourier' Ülikooli titulaarprofessor

1993 Eesti Teaduste Akadeemia liige

1978 NSVL riiklik preemia

1988 ÜRO ja UNICEFi rahvusvaheline preemia “Research for Development”

2006 Valgetähe IV klassi teenetemärk

Rahvusvahelise Südame Uurimise Ühingu, Ameerika Südameeliidu Alusteaduste Nõukogu, Rahvusvahelise Kardioloogia Ühingu Liidu, Ameerika Füsioloogia Seltsi, Ameerika Biofüüsika Seltsi liige.

Avaldanud ca 230 teaduspublikatsiooni.

## *Jüri Engelbrecht* (teine vasakult)

Sündinud 1.08.1939 Tallinnas

1962 Tallinna Tehnikaülikool, ehitusteaduskond  
1968 tehnikakandidaat, mehaanika, TTÜ  
1981 füüsika-matemaatikadoktor, pideva keskkonna mehaanika,  
Ukraina Teaduste Akadeemia

1968–1969 Tallinna Tehnikaülikooli vanemõpetaja

Alates 1969 Küberneetika Instituudis: vanemteadur, teadusala asedirektor,  
Mittelineaarsete protsesside analüüsi keskuse (Eesti teaduse tippkeskus alates  
2003) juhataja

Alates 1984 TTÜ professor (vaheaegadega)

1990 Eesti Teaduste Akadeemia liige

Alates 1994 Eesti Teaduste Akadeemias, president (1994–2004), 2004–  
asepresident

Rahvusvahelise Teadusnõukogu (ICSU) peaassamblee liige

Euroopa Teaduste Akadeemiate Föderatsiooni (ALLEA) peaassamblee liige,  
töörühmade juht, juhtkomitee liige, alates 2006 president

Rahvusvahelise Teoreetilise ja Rakendusmehaanika Liidu (IUTAM) büroo  
peaassamblee ja kongressikomitee liige

Euroopa Teadusfondi (ESF) nõukogu liige

Euroopa akadeemiate teadusnõukoja (EASAC) nõukogu liige

Ülemaailmse Innovatsioonifondi, Euroopa Teaduste ja Kunstide Akadeemia,  
*Academia Europaea* liige; Ungari Teaduste Akadeemia auliige; *Accademia  
Peloritana dei Pericolanti* (Itaalia), Läti Teaduste Akadeemia, Göteborgi Ku-  
ningliku Teadus- ja Kunstiühingu, Bulgaaria Teaduste Akadeemia välisliige,  
Budapesti Ülikooli audoktor

1992 Eesti Vabariigi teaduspreemia

1993 A. von Humboldti teaduspreemia

1995 Soome Valge Roosi Rüütelkonna I klassi komandör

1999 Riigivapi IV klassi teenetemärk

2001 Soome Lõvi Rüütelkonna Suurrist

2003 Prantsusmaa Akadeemiliste Palmide Ordeni rüütlimärk

2004 Haridus- ja Teadusministeeriumi teenetemärk nr 1

2005 Bulgaaria Teaduste Akadeemia Marin Drinovi medal

2005 Poola Vabariigi Teeneteordeni Rüütlirist

2007 Riigivapi III klassi teenetemärk

Avaldanud 9 raamatut ja ca 200 artiklit eelretsenseeritavates teadusajakirjades.

## *Enn Seppet* (esimene vasakult)

Sündinud 26.02.1950

1974 Tartu Ülikool, arstiteaduskond  
1980 bioloogiakandidaat, Üleliiduline Kardioloogiakeskus, Moskva  
1991 filosoofiadoktor, Tartu Ülikool

Alates 1974 Tartu Ülikoolis: kehakultuuriteaduskonna lihastalitluse laboratooriumi noorem- ja vanemteadur, üld- ja molekulaarpatoloogia instituudi hormonaalse regulatsiooni laboratooriumi juhataja, arstiteaduskonna üld- ja molekulaarpatoloogia instituudi patoloogilise füsioloogia õppetooli professor, 1994–2000 arstiteaduskonna teadusprodekaan

2001 Kardiovaskulaarsete teaduste instituudi teenetemedal, Winnipeg, Kanada  
Rahvusvahelise Südame-veresooneakadeemia, Ameerika Füsioloogia Seltsi, Soome Füsioloogia Seltsi, Euroopa Biokeemia Ühingute Föderatsiooni, Rahvusvahelise Südame uurimise ühingu, Ameerika Biograafia Instituudi Teadusliku Nõukogu liige

Avaldanud ca 70 teaduspublikatsiooni.

## *Marko Vendelin* (kolmas vasakult)

Sündinud 6.03.1974 Tallinnas

1997 Tallinna Tehnikaülikool, tehniline füüsika  
2001 filosoofiadoktor, loodusteadused, TTÜ  
2005 järel doktor, INSERM U446, Faculté de Pharmacie, Université Paris-Sud, Châtenay-Malabry, Prantsusmaa  
2003–2005 EL Marie Curie järel doktor, INSERM E0221, Université J. Fourier, Grenoble, Prantsusmaa

Alates 2006 TTÜ Küberneetika Instituudis: teadur, vanemteadur, süsteemibioloogia laboratooriumi juhataja

Alates 01.08.2007 Wellcome Trust Internationalis vanemteadur

Ameerika Füsioloogia Seltsi, Ameerika Biofüüsika Seltsi liige

Avaldanud 17 artiklit eelretsenseeritavates teadusajakirjades.

## SÜSTEEMBIOLOOGIA AJALOOLINE JA FILOSOOFILINE TAUST

Süsteembioloogiast on hakatud tõsiselt rääkima ja kirjutama viimase kümnen- di jooksul [Kitano, 2001, 2002; Klipp jt, 2005; Noble, 2006, 2008]. Sellele uurimissuunale bioloogiateadustes pööratakse üha suuremat tähelepanu, palju- des maades luuakse süsteembioloogia instituute ja laboratooriume. Põhjus seisneb selles, et bioloogiateadused elavad käesoleval ajal üle murrangulisi muutuseid: toimub üleminek vanalt paradigmalt – reduktsionismilt – uuele, süsteembioloogiale, et mõista elusa organismi kui terviku funktsiooni. Kui reduktsionistlik lähenemine seisneb organismi, koe või raku komponentide üks- teisest eraldamises ja nende struktuuri ning omaduste uurimises, siis süsteem- bioloogia eesmärgiks on kõikide komponentide uurimine terviku raames, st in- tegreeritud süsteemides, kus erinevate komponentide vastastikuste mõjude tu- lemusel tekivad uued nn süsteemitasemelised omadused (*system level proper- ties*). Nagu kirjutab üks kaasaja süsteembioloogia rajajatest Hiroki Kitano [Kitano, 2002]: “Kõikide geenide ja valkude iseloomustus on nagu lennuki ehituseks vajalike komponentide nimekirja koostamine. Järgmisena on nendest komponentidest vaja lennuk kokku panna – selleks on vaja teada, kuidas nad omavahel seostuvad ja koos funktsioneerivad. Seega tuleb tunda kogu süsteemi käitumist, juhtimissüsteemi jne. See aga sarnaneb juba süsteembioloogia- ga.”

Niisiis on tegemist põhimõtteliste suunamuutustega bioloogiateadustes, uue arenguetapiga, seni eraldi arenenud teaduste saavutuste ja meetodite ühenda- misega üha keerukamate probleemide lahendamiseks. Siiski tuleb märkida, et integreeritud bioloogiliste süsteemide uurimine ei ole uus ala bio- ja mediti- siiniteadustes ja, nii paradoksaalne kui see ka võiks paista, võib öelda, et süs- teembioloogia eksisteeris juba enne süsteembioloogiat. See, mis praegu toi- mub bioloogiateadustes, järgib päris täpselt Hegeli põhjapanevat ideed dialek- tilisest ja spiraalsest arengust vanalt uuele ja siis uuesti vanale tagasi, kuid juba uuel tasemel (tees-antitees-süntees) [Russell, 1946]. Ajalooliselt toetub süs- teembioloogia paljude teadlaste töödele, sealhulgas Claude Bernardi homeö- staasiteooriale, Erwin Schrödingeri ainevahetuse ja negentroopia printsiipidele ning Norbert Wieneri töödele küberneetika vallas.

Claude Bernard oli 19. sajandi väljapaistev prantsuse füsioloog, eksperimen- taalfüsioloogia rajaja, kes töötas välja organismide sisekeskkonna (*milieu inté- rieur*) püsivuse (homeöstaasi) teooria [Bernard, 1865, 1984; Noble, 2008], mis kujutab endast ühte kaasaja meditsiini olulisematest alusteoriatest. Sisekesk- konna püsivuse saavutamiseks toimivad organismis väga efektiivsed tagasi- side- ja regulatsioonimehhanismid. Nende mehhanismide uurimine meditsiinis ja tehnikas on küberneetika eesmärgiks.

Selle teaduse rajas möödunud sajandi keskel Norbert Wiener [Wiener, 1961]. Üks Claude Bernardi ideedest seisnes selles, et bioloogiliste süsteemide kirjeldamiseks on vajalikud kvantitatiivsed uurimismeetodid, seega arvutustehnika

kasutamine: “Matemaatika rakendamine loodusnähtuste kirjeldamiseks on eesmärgiks kõikidele teadustele, sest loodusnähtuste seaduspärasuste väljendus peab alati olema matemaatiline” [Bernard, 1865]. Tema ajal oli eksperimentaalseid fakte siiski veel liiga vähe ja arvutustehnika peaaegu et puudus.

Nüüd on situatsioon muutunud. Süsteembiooloogia üks põhilisi lähenemisviise seisnebki täpsete ja mahukate eksperimentaaluuringute seostamises uuritavate süsteemide matemaatilise mudelleerimisega, et mõista ja kvantitatiivselt kirjeldada süsteemisisesid seoseid ja uuritavate süsteemide käitumist. Sellise töö oluliseks väljundiks on uute täpsete hüpoteeside püstitamine edasiseks uurimistööks. Seega võimaldab süsteembiooloogia mitte ainult kirjeldada ja sünteesida olemasolevaid andmeid, vaid annab võimsa tõuke ka edasise teadusliku uurimistöö arenguks, uute teadussuundade tekkeks.

Ühe süsteembiooloogia aktiivse rajaja Denis Noble'i arvates võib isegi öelda, et süsteembiooloogia on tegelikult klassikaline füsioloogia kõrgemal tasemel [Noble, 2008], kus kasutatakse molekulaarbioloogia, küberneetika ning rakendusmatemaatika saavutusi ja meetodeid integreeritud rakusiseste protsesside uurimisel, seejärel seaduspärasuste kirjeldamiseks organi, organismi ja isegi populatsiooni tasemel. Paljudes maades on loodud süsteembiooloogia instituudid ning koostatud laialdased rahvusvahelised koostöö- ja uurimisprogrammid (nt P. Hunteri poolt juhitud programm “Physiome” jpt).

Möödunud sajandi keskel kirjutas Nobeli füüsikapreemia laureaat Erwin Schrödinger ühe kuulsaima raamatu teaduses “Mis on elu?” (*What is life?*) [Schrödinger, 1944], kus ta füüsika seisukohtadest lähtudes selgitas geeniteooria olemust ning andis seega tõuke molekulaarbioloogia arenguks 50 järgneva aasta jooksul. Selle väikesemahulise raamatu kuuendas peatükis kirjeldas ta aga ka teist bioloogiateaduste tähtsaimat probleemi elu olemuse mõistmiseks – ainevahetusprobleemide olemust füüsika seisukohalt ning nende uurimise tähtsust. Nende probleemide uurimisega tegelebki süsteemne bioloogia molekulaarsel ja raku tasemel – molekulaarne süsteembiooloogia. Piltlikult öeldes on bioloogiateadlased nüüd, pärast 50 aastast molekulaarbioloogia hiilgavat arengut, asunud tõsiselt selle raamatu kuuendas peatükis kirjeldatud probleeme lahendama.

#### SÜSTEEMBIOLOOGIA EESTIS: MOLEKULAARNE SÜSTEEMNE BIOENERGEETIKA

Eesti Vabariigis on akadeemikute Valdur Saksa ja Jüri Engelbrechti, professor Enn Seppeti ja dr Marko Vendelini ühistöös ning koostöös paljude maade teadlastega (Prantsusmaa, USA, Saksamaa, Rootsi, Šveits ja Holland) praeguseks rajatud uus süsteembiooloogia suund – molekulaarne süsteemne bioenergeetika (MSB), mis on kaasa aidanud süsteembiooloogia paradigma arengule ja juurdumisele bioloogias. MSB kirjeldab integreeritud aine-, energia- ja informatsioonivahetuse protsesse nende ruumilises ja ajalises dünaamikas,

kasutades selliseid uurimismeetodeid ja strateegiaid, mis ühendavad eksperimentaalsete uuringute andmed uuritavate protsesside matemaatilise mudelleerimise ja teoreetilise analüüsiga. MSB peamiseks lähtealusteks on kaasaegsed teadmised rakkude ehitusest, struktuursest organisatsioonist ja ainevahetusvõrkudest koos arusaamaga, et rakukomponentide omavahelised seosed viivad uute süsteemitasandiliste omaduste (näiteks rakusisesed kompartmentalisatsiooninähtused, metaboolne kanaliseerimine jt) tekkele [Saks, 2007].

Teatud määral väljendab MSB areng Eestis üldist süsteembioogia arengu loogikat. MSB tugineb eksperimentaaluuringutele, mida on enam kui kolmekümne aasta vältel läbi viidud akadeemik Valdur Saks ja prof Enn Seppeti poolt juhitavates laboratooriumides ning mille tulemusena on välja selgitatud organiseeritud ensüümsüsteemide (sh kreatiinkinaaside) keskne roll lihasrakkude rakusiseses energia ülekandes. Viimase 10 aasta jooksul on seda uut teadussuunda arendatud tihedas koostöös akadeemik Jüri Engelbrechti osakonnaga TTÜ Küberneetika Instituudis, kus on välja töötatud paljud matemaatilise mudelleerimise meetodid ja põhialused. Selle koostöö tulemusena on eksperimentaaluuringute käigus saadud andmeid edukalt rakendatud energeetilise ainevahetuse matemaatiliseks mudelleerimiseks. Töö peamiseks eesmärgiks on olnud selgitada, kuidas elavates rakkudes reguleeritakse energiavooge, st kuidas kindlustatakse mitokondriaalse hingamise ja ATP sünteesi regulatsioon täpsel vastavuses ATP kulutamisega ATPaaside poolt, ehk mil viisil realiseerub energia ülekanne ja tagasiside mitokondrite ja ATPaaside vahel ning vastavalt tagasiside lihastöö mahu ning hingamisprotsesside vahel. Peamiseks uurimisobjektideks ja -probleemideks on olnud südame, skeletilihase, ajukoe ja maoepiteeli rakkude bioenergeetilised süsteemid, rakkude elutegevuse varustamine energiaga ning nende süsteemide häirete patofüsioloogilised toimed südame-, neurodegeneratiivsete ja mao-sooletrakti haiguste tekkes ja arengus.

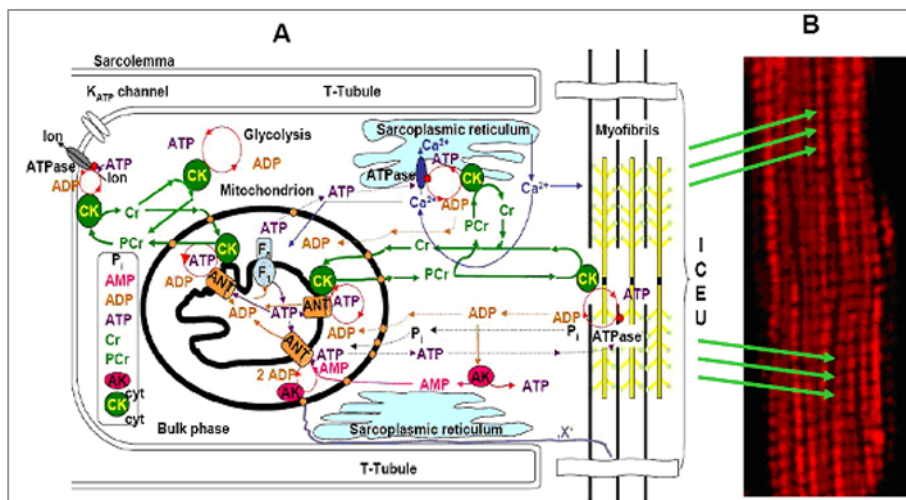
Uurimistöö innovaatus põhineb lähenemisviisil, kus füsioloogilised, biokeemilised ja molekulaarbioloogilised eksperimendid on ühendatud matemaatilise mudelleerimisega ja mudelite numbrilise analüüsiga. On töötatud välja ja juurutatud originaalne hierarhiline formalism, mis on seotud sisemuutujate formalismi üldistamisega ning vastab nii kudedes kui ka rakkudes toimivate protsesside tegelikule toimimisele. Tulemusena on õnnestunud mudelid siduda ühtsesse skeemi, silmas pidades termodünaamilisi piiranguid.

Töö ühe peamise tulemusena on formuleeritud originaalne hüpotees, mille kohaselt oksüdatiivsetes lihasrakkudes moodustavad mitokondrid ja ATPaasid täpselt lokaliseeritud komplekse e rakusiseseid energiaüksusi (RSEÜd), kusjuures igas RSEÜs toimub mitokondrite ja ATPaaside vaheline energia ülekanne kreatiin- ja adenülaatkinaasete süsteemide vahendusel ning adeniinnukleotiidide otsese ülekande teel (joonis 1). Erineva struktuurse organisatsiooniga südamerakkude (täiskasvanud looma kardiomüotsüüdid *versus* kardiomüotsüütide püsikultuuride rakud) võrdlemisel näidati, et rakkudes, kus mitokondrid paiknevad kaootiliselt ja nende asend pidevalt muutub, omavad mito-



kondrid palju suuremat näilist affiinsust eksogeense ADP suhtes kui täiskasvanud roti südamerakkudes [Anmann jt, 2006]. Teiselt poolt selgus täiskasvanud kardiomiotsüütide struktuuri analüüsidest, et neis rakkudes paiknevad mitokondrid erakordselt korrapäraselt, moodustades kristallitaolise struktuuri [Vendelin jt, 2005]. Need uuringud viisid uue järelduseni, et mitokondrite organisatsiooni struktuur määrab otseselt mitokondrite hingamise regulatsioonitüübi rakkudes. Selle seose avastamine toetab RSEÜ kontseptsiooni ja viitab sellele, et mitokondrite hingamise regulatsiooniprotsessides *in vivo* osalevad spetsiifilised valgud, mis seovad mitokondreid sarkomeeridega, kuid takistavad ADP difusiooni üksusesisese ja -välise ADP varude vahel [Anmann jt, 2005, 2006]. Nende valkude lokaliseerimise selgitamiseks töötati välja uued RSEÜ funktsiooni kirjeldavad matemaatilised mudelid, mis võimaldasid simuleerida kahte eri võimalust adeniinnukleotiidide liikumise suhtes – ühtlaselt jaotunud difusioonitakistust ja lokaliseeritud difusioonitakistust ning lõpptulemusena näidata, et RSEÜ struktuuri moodustavad valgulised barjäärid lokaliseeruvad RSEÜ piiril või mitokondrite välismembraani tasemel [Vendelin jt, 2004; Saks jt, 2003].

RSEÜ kontseptsiooni järjekindel rakendamine ülalnimetatud kollektiivi poolt viis teise fundamentaalse tähtsusega avastuseni, mis käsitleb südame füsioloogia ühe põhilise seaduspärasuse – Frank-Starlingi seaduse bioenergeetilist mehhanismi. Teatavasti seisneb Frank-Starlingi seadus selles, et südamelihase

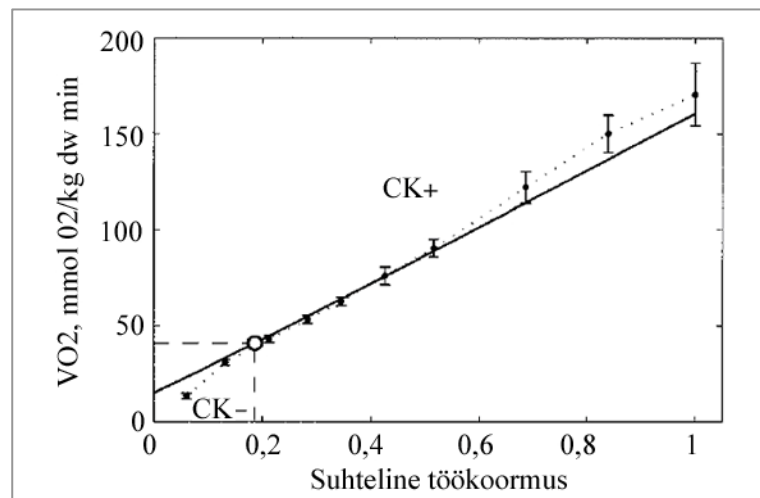


Joonis 1.

RSEÜd (A) on regulaarselt paigutatud südamerakus (B). RSEÜ sees kantakse energia mitokondritest ATPaasideni kreatiinkinaasidega (CK) ja adenülaatkinaasidega (AK) vahendatud mehhanismide abil ning ATP ja ADP otsese ülekande teel.

vastab venitusele suurema pingearendusega, seega genereerib südamevatsake seda suuremat rõhku süstolis, mida rohkem ta täitub verega diastolis. Juba selle seaduse üks avastaja Ernest Starling kirjeldas aastatel 1914–1926 nähtust, et vatsakesse siseneva verehulga suurenemisel kasvab koos vatsakese töökoormusega lineaarselt ka müokardi hapnikutarbimine. Vaatamata intensiivsele uurimistööle ei ole seni püstitatud hüpoteesid siiski suutnud selgitada, kuidas kindlustatakse seos südame töökoormuse ja hapnikutarbimise vahel. Selle protsessi kvantitatiivne analüüs matemaatiliste mudelite abil kinnitas, et lihase pikkuse muutudes aktiveeruvad RSEÜde struktuurimuutuste kaudu energiat tarbivad süsteemid ja energia ülekande süsteemid, mis kindlustavad metaboolse tagasiside ATPaasidelt mitokondriteni fosforüülgruppide ülekande ja lokaalsete ADP kontsentratsiooni muutuste teel [Saks jt, 2006c].

Tõenäoliselt kujutab RSEÜ endast oksüdatiivse lihasraku energiaetilise metabolismi peamist organisatsioonivormi, mille fundamentaalne omadus seisneb selles, et ta võimaldab raku töökoormust suurendades kiirendada energia ülekannet ja tagasisidet ATPaasidelt mitokondritele (joonis 2). Selline süsteemi omadus kindlustab energiavarustuse juurdekasvu täpses vastavuses raku töökoormuse suurenemisele, tagades samal ajal maksimaalse ATP hüdrolüüsi vaba energia ja selle kaudu ökonoomseima energia kasutamise, mis ongi aluseks Frank-Starlingi seadusele.



Joonis 2.

Hingamiskiiruse sõltuvus südame töökoormusest – Frank-Starlingi südameseaduse ainevahetuslik aspekt. Punktiirjoon: eksperimentaalsed andmed; pidev joon – teoreetiline sõltuvus [Vendelin jt, 2000; Saks jt, 2007].

Nende uuringute õigsust ja tähtsust on kinnitanud hiljuti ajakirjas *New England Journal of Medicine* avaldatud Oxfordi Ülikooli teadlaste kliiniliste uuringute tulemused. Professor Neubaueri juhitud uurimisgrupp leidis, mõttes fosforiühendite tuumamagentresonantsspektreid tervete inimeste ja kardio-müopaatiaga haigete südamelihastes, et fosfokreatiini (PCr) ja ATP suhe on väga täpne diagnostiline indeks südamepuudulikkuse astme hindamisel [Neubauer, 2007]. Patsientide südames ATP hulk eriti ei muutu, küll aga väheneb PCr sisaldus ning PCr/ATP suhe, mille langus korreleerub patsientide suremuse kasvuga. Kõik kirjeldatud seosed on aga seletatavad ülalnimetatud Eesti teadlaste uuringute tulemuste alusel, sest PCr/ATP suhe on RSEÜ funktsiooni efektiivsuse näitaja.

Koostöös mitmete Tartu Ülikooli arstiteaduskonna kliinikutega ja Biomedikumi instituutidega on saadud uusi andmeid mitokondrite rakusise organisatsiooni ja funktsiooni mehhanismide kohta inimese eri kudedes ning nende mehhanismide kahjustuste kohta mitmete haiguste patogeneesis:

1. Näidati, et kroonilisi maksahaigusi põdevate patsientide verest isoleeritud autoantikehad inhibeerivad ADP-sõltuvat hingamist roti oksüdatiivsetes lihasrakkudes, seostudes sarkomeeri Z- ja M-liini valkudega. Tööst järeldus, et autoantikehad moduleerivad RSEÜ funktsiooni mõjustades raku tsütoskeletti. Seega võivad maksahaiguste puhul kujuneva südamepuudulikkuse põhjuseks olla autoantikehadest tingitud bioenergeetiliste protsesside häired [Kadaja jt, 2004].

2. Näidati, et inimese müokardis eksisteerivad RSEÜd, sest mitokondrite hingamise regulatsiooni kineetika adeniinnukleotiidide ja kreatiini toimel inimese südamekoja müokardis sarnanes sellele katseloomade müokardis, samuti demonstreeriti otsese adeniinnukleotiidide ülekande esinemist kobarakkudes [Seppet jt, 2005].

3. Selgitati välja, et üks inimese puusaliigese funktsiooni kontrollivatest lihastest – *m. gluteus medius* kuulub mitokondrite regulatsiooni tüübi poolest samasse klassi müokardiga, kus eksisteerivad RSEÜd ning et osteoartroosi puhul kahjustuvad mitokondriaalse hingamise kreatiinkinaasidega vahendatud regulatsioonimehhanismid *m. gluteus medius* rakkudes [Eimre jt, 2006].

4. Näidati, et mitokondrite hingamisahel kahjustub inimese südame rütmihäire (kodade virvendus) [Seppet jt, 2005] ning kroonilise gastriidi puhul [Gruno jt, 2006].

5. Prof Enn Seppet on koostöös Saksamaa kolleegidega formuleerinud uue mitokondriaalse meditsiini kontseptsiooni, mille kohaselt mitokondriaalse energiavarustuse häired vahendavad kõiki rakukahjustuse ja -surma mehhanisme. Kontseptsiooni praktiline väärtus seostub arusaamaga, et mitokondri kujutab endast farmakoloogilise ravi universaalset sihtmärki praktiliselt kõikide haiguste puhul [Seppet jt, 2007].

Akad Saksa, prof Seppeti ning akad Engelbrechti gruppide töötulemused raku bioenergeetika organisatsiooni ja regulatsiooni alal on leidnud laialdast rahvusvahelist tunnustust. Sellest kõnelevad viimasel ajal publitseeritud mahukad tööd ja ka saadud grandid:

- Akadeemik Valdur Saks on korduvalt toimetanud raku bioenergeetika probleemidele pühendatud rahvusvaheliste teadusväljaannete erinumbreid (*Mol Cell Biochem* 1994, 1998, 2004).
- 2007. a on Valdur Saks toimetatud ja paljude riikide teadlaste koostööna Wiley VCH poolt (Saksamaa) välja antud monograafia “Molecular System Bioenergetics. Energy for Life”.
- Marko Vendelin oli üks kahest külalistoimetajatest tippajakirja *American Journal of Physiology: Cell Physiology* süsteembiooloogiale “Mitochondrial System Biology” pühendatud väljaannete koostamisel.
- Käesoleval aastal on RSEÜde uuringuteks saadud prestiižsed rahvusvahelised grandid: *Wellcome Trust International Senior Research Fellowship, UK* (Marko Vendelin) ja *Agence de la Recherche, Prantsusmaa* (Valdur Saks), *EU Framework Programme 7 Project MyoAge* (Enn Seppet ja Valdur Saks).

Ülalnimetatud väljaannetes on selgelt formuleeritud MSB eesmärgid, meetodid ja kontseptsioonid, mis on loonud soodsa pinna rahvusvahelise teaduskoostöö organiseerimiseks ja kontsentreerimiseks sellel huvitaval ja perspektiivikal teadussuunal. Lisaks on avaldatud palju teaduslikke artikleid ja ülevaateid teistes kõrgetasemelistes rahvusvahelistes väljaannetes (vt Kirjandus). Ühised uuringud, mida on finantseeritud ühisgrantide abil, on võimaldanud efektiivselt koondada TÜ, KBFI ja TTÜ Küberneetikainstituudi erinevate erialade spetsialistide kompetentsi ja meetodilised võimalused (sh dr M. Vendelini juhitud Süsteembioologia laboratooriumi rajamine TTÜ KIs), et uurida bioenergeetiliste süsteemide käitumist elavas rakus.

Töötulemustel on oluline rakenduslik tähtsus, sest loodud on teoreetiline baas ja testide süsteem, mis võimaldavad hinnata kahjustavate faktorite toimeid ning potentsiaalsete ravimainete toimeid eri tüüpi rakkude energeetilisele metabolismile kui tervikule haiguste tingimustes. MSB rakendamine avab uued võimalused personifitseeritud raviskeemide väljatöötamiseks, sest ta võimaldab identifitseerida individuaalseid eripärasid raku energeetilise metabolismi patofüsioloogias ja reaktsioonides ravimitele. MSB printsiipide rakendamine võimaldab ka simuleerida eri haiguslikke seisundeid sõltuvalt eri raviskeemidest ja seega muuta ravimite kliinilised katsed efektiivsemaks ja ökonoomsemaks. Eesti tasemel võib MSB olla üheks integratiivseks teadusharuks, mis lubab seostada siinsete teadlaste saavutused geneetika, molekulaarbioloogia, evolutsiooniteaduse ja biotehnoloogia ühtseks tervikuks – näiteks eesmärgiga paremini mõista geenimutatsioonide rolli eri haiguste patogeneesis.

## KOKKUVÕTTEKS

Süsteemioloogia ühe olulise osa, uue teadussuuna – molekulaarse süsteemse bioenergeetika arendamine Eesti teadlaste poolt on kaasa aidanud bioloogia-teaduste paradigma muutmisele ning võimaldanud paremini mõista rakusiseste bioenergeetilise protsesside mehhanisme ja olemust terves ja haigestunud organismis.

## KIRJANDUS

Anmann, T., Eimre, M., Kuznetsov, A. V., Andrienko, T., Kaambre, T., Sikk, P., Seppet, E., Tiivel, T., Vendelin, M., Seppet, E., Saks, V. A. (2005). Calcium-induced contraction of sarcomeres changes the regulation of mitochondrial respiration in permeabilized cardiac cells. *FEBS J.*, 272, 12, 3145-3161.

Anmann, T., Guzun, R., Beraud, N., Pelloux, S., Kuznetsov, A. V., Kogerman, L., Kaambre, T., Sikk, P., Paju, K., Peet, N., Seppet, E., Ojeda, C., Tourneur, Y., Saks, V. (2006). Different kinetics of the regulation of respiration in permeabilized cardiomyocytes and HL-1 cells. Importance of cell structure/organization for respiration regulation. *Biochim. Biophys. Acta*, 1757, 12, 1597-1606.

Beard, D., Vendelin, M. (guest eds.). (2006). *Am. J. Physiol. Cell Physiol.*, 291, 6: Special issue on Systems Biology of Mitochondrion.

Bernard, C. (1865, 1984) *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale*. Flammarion, Paris.

Eimre, M., Puhke, R., Alev, K., Seppet, E., Sikkut, A., Peet, N., Kadaja, L., Lenzner, A., Haviko, T., Seene, T., Saks, V. A., Seppet, E. K. (2006). Altered mitochondrial apparent affinity for ADP and impaired function of mitochondrial creatine kinase in gluteus medius of patients with hip osteoarthritis. *Am. J. Physiol.*, 290, 5, R1271-R1275.

Gruno, M., Peet, N., Seppet, E., Kadaja, L., Paju, K., Eimre, M., Orlova, E., Peetsalu, M., Tein, A., Soplepmann, J., Schlattner, U., Peetsalu, A., Seppet, E. (2006). Oxidative phosphorylation and its coupling to mitochondrial creatine and adenylate kinases in human gastric mucosa. *Am. J. Physiol.*, 291, 4, R936-R946.

Guerrero, K., Wuyam, B., Mezin, P., Vivodtzev, I., Vendelin, M., Borel, J. C., Hacini, R., Chavanon, O., Imbeaud, S., Saks, V., Pison, C. (2005). Functional coupling of adenine nucleotide translocase and mitochondrial creatine kinase is enhanced after exercise training in lung transplant skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 289, R1144-R1154.

Kadaja, L., Kisand, K. E., Peet, N., Braun, U., Metskula, K., Teesalu, K., Vibbo, R., Kisand, K. V., Uibo, R., Jockusch, H., Seppet, E. K. (2004). IgG from patients with liver diseases inhibit mitochondrial respiration in permeabilized oxidative muscle cells: Impaired function of intracellular energetic units? *Mol. Cell. Biochem.*, 256, 1-2, 291-303.

- Kitano, H. (2001). *Foundations of Systems Biology*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Kitano, H. (2002). Systems biology: a brief overview. *Science*, 295, 1162-1164.
- Klipp, E., Herwig, R., Kowald, A., Wierling, C., Lehrach, H. (2005). *Systems Biology in Practice*. Wiley – VCH Verlag, Weinheim.
- Neubauer, S. (2007). The failing heart - an engine out of fuel. *N. Engl. J. Med.*, 356, 1140-1151.
- Noble, D. (2008). Claude Bernard, the first system biologist, and the future of physiology. *Exp. Physiol.*, 93, 1, 16-26.
- Noble, D. (2006). *The Music of Life*. Oxford University Press, Oxford.
- Russell, B. (1946,1996). *History of Western Philosophy*. Routledge, London.
- Safiulina, D., Peet, N., Seppet, E., Zharkovsky, A., Kaasik, A. (2006). Dehydroepiandrosterone inhibits complex I of the mitochondrial respiratory chain and is neurotoxic in vitro and in vivo at high concentrations. *Toxicol. Sci.*, 93, 2, 348-356.
- Saks, V. (ed.). (2007). *Molecular System Bioenergetics. Energy for Life*. Wiley - VCH, Weinheim.
- Saks, V., Anmann, T., Guzun, R., Kaambre, T., Sikk, P., Schlattner, U., Wallimann, T., Aliev, M., Vendelin, M. (2007a). The creatine kinase phosphotransfer network: thermodynamic and kinetic considerations, the impact of the mitochondrial outer membrane and modelling approaches. Wyss, M., Salomons, G. (eds). *Creatine and Creatine Kinase in Health and Disease*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Saks, V. A., Dzeja, P., Guzun, R., Aliev, M. K., Vendelin, M., Terzic, A., Wallimann, T. (2007b). System analysis of cardiac energetics – excitation – contraction coupling: integration of mitochondrial respiration, phosphotransfer pathways, metabolic pacing and substrate supply in the heart. *Molecular System Bioenergetics. Energy for Life*. Wiley - VCH, Weinheim, 367-406.
- Saks, V., Dzeja, P., Schlattner, U., Vendelin, M., Terzic, A., Wallimann, T. (2006a). Cardiac system bioenergetics: metabolic basis of the Frank-Starling law. *J. Physiol.*, 571, 2, 253-273.
- Saks, V., Favier, R., Guzun, R., Schlattner, U., Wallimann, T. (2006b). Molecular system bioenergetics: regulation of substrate supply in response to heart energy demands. *J. Physiol.* 577, 769-777.
- Saks, V., Guerrero, K., Vendelin, M., Engelbrecht, J., Seppet, E. (2006c). The creatine kinase isoenzymes in organized metabolic networks and regulation of cellular respiration: a new role for Maxwell's demon. Vial, C. (ed.). *Creatine*

Kinase. NovaScience Publishers, New York, 223-267. (Molecular Anatomy and Physiology of Proteins).

Saks, V., Kuznetsov, A., Andrienko, T., Usson, Y., Appaix, F., Guerrero, K., Kaambre, T., Sikk, P., Lemba, M., Vendelin, M. (2003). Heterogeneity of ADP diffusion and regulation of respiration in cardiac cells. *Biophys. J.*, 84, 3436-3456.

Saks, V., Monge, C., Anmann, T., Dzeja, P. (2007c). Integrated and organized cellular energetic systems: theories of cell energetics, compartmentation and metabolic channeling. Saks, V. (ed.). *Molecular System Bioenergetics. Energy for Life*. Wiley - VCH, Weinheim, 59-110.

Saks, V., Vendelin, M., Aliev, M. K., Kekelidze, T., Engelbrecht, J. (2007d). Mechanisms and modeling of energy transfer between intracellular compartments. Gibson, G. E., Dieselelds, G. A. *Handbook of Neurochemistry and Molecular Neurobiology*. Springer, 815-860.

Saks, V., Ventura-Clapier, R., Rigoulet, M., Gellerich, F. N., Leverve, X. (guest eds.) (2004). *Bioenergetics of the cell : Organized metabolic systems*. Focussed Issue of *Molecular and Cellular Biochemistry*, 256/257.

Schrödinger, E. (1944). *What is Life?* Cambridge University Press, Cambridge.

Seppet, E., Eimre, M., Anmann, T., Seppet, E., Peet, N., Käämbre, T., Paju, K., Piirsoo, A., Kuznetsov, A., Vendelin, M., Gellerich, F. N., Zierz, S., Saks, V. (2005a). Intracellular energetic units in healthy and diseased hearts. *Exp. Clin. Cardiol.*, 10, 3, 173-183.

Seppet, E. K., Eimre, M., Anmann, T., Seppet, E., Piirsoo, A., Peet, N., Paju, K., Guzun, R., Beraud, N., Pelloux, S., Tourneur, Y., Kuznetsov, A. V., Käämbre, T., Sikk, P., Saks, V. A. (2006). Structure-function relationships in regulation of the energy transfer between mitochondria and ATPases in cardiac cells. *Exp. Clin. Cardiol.*, 11, 3, 189-194.

Seppet, E., Eimre, M., Peet, N., Paju, K., Orlova, E., Ress, M., Kovask, S., Piirsoo, A., Saks, V. A., Gellerich, F. N., Zierz, S., Seppet, E. K. (2005b). Compartmentation of energy metabolism in atrial myocardium of patients undergoing cardiac surgery. *Mol. Cell. Biochem.*, 270, 1-2, 49-61.

Seppet E., Gizatullina, Z., Trumbeckaite, S., Zierz, S., Striggow, F., Gellerich, F. N. (2007). *Mitochondrial medicine: The central role of cellular energetic depression and mitochondria in cell pathophysiology*. *Molecular System Bioenergetics. Energy for Life*. Wiley - VCH, Weinheim, 479-522.

Vendelin, M., Beraud, N., Guerrero, K., Andrienko, T., Kuznetsov, A., Olivares, J., Kay, L., Saks, V. A. (2005). Mitochondrial regular arrangement in muscle cells: a "crystal-like" --pattern. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.*, 288, 3, C757-C767.

Vendelin, M., Eimre, M., Seppet, E., Peet, N., Andrienko, T., Lemba, M., Engelbrecht, J., Seppet, E. K., Saks, V. A. (2004). Intracellular diffusion of adenosine phosphates is locally restricted in cardiac muscle. *Mol. Cell. Biochem.*, 256/257, 229-241.

Vendelin, M., Kongas, O., Saks, V. (2000). Regulation of mitochondrial respiration in heart cells analyzed by reaction -diffusion model of energy transfer. *Am. J. Physiol.*, 278, C747-C764.

Vendelin, M., Saks, V., Engelbrecht, J. (2007). Principles of mathematical modeling and *in silico* studies of integrated systems of cellular energetics. Saks, V. (ed.). *Molecular System Bioenergetics. Energy for Life*. Wiley -VCH, Weinheim, 407-434.

Wiener, N. (1961). *Küberneetika ehk juhtimine ja side loomas ning masinas*. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn.



*Teaduspreemia põllumajandusteaduste alal uurimuste tsükli  
"Tolmeldajad ja kultuurtaimede tolmeldamist mõjutavad tegurid" eest*



*MariKa Mänd* (kollektiivi juht, keskel)

Sündinud 11.12.1954

1973 L. Koidula nim Pärnu 2. Keskkool

1978 Tartu Ülikool, bioloog-zooloog

1994 teadusmagister, entomoloogia, Eesti Maaülikool

2000 filosoofiadoktor, agroökoloogia, Eesti Maaülikool

1989–1992 TA Zooloogia ja Botaanika Instituudis vanemlaborant,  
nooremteadur

1992–2005 Eesti Maaülikooli taimekaitse instituudis nooremteadurist  
vanemteadurini

Alates 2005 Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi dotsent

Alates 2008 Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi  
taimekaitse osakonna juhataja

Avaldanud 90 teaduspublikatsiooni.

## *Ants-Johannes Martin* (kolmas vasakult)

Sündinud 21.08.1946

- 1965 Kohtla-Järve 5. Keskkool
  - 1971 Tartu Ülikool, bioloog-zooloog
  - 1994 teadusmagister, entomoloogia, Eesti Maaülikool
  - 2000 filosoofiadoktor, metsaökoloogia, Eesti Maaülikool
  - 1975–1992 TA Zooloogia ja Botaanika Instituudis vaneminsener, teadur
  - 1992–2005 Eesti Maaülikooli taimekaitse instituudis vanemteadur, putukate ökofüsioloogia labori juhataja
  - Alates 2005 Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi vanemteadur
- Avaldanud 150 teaduspublikatsiooni.

## *Reet Karise* (esimene vasakult)

Sündinud 26.04.1977

- 1995 Tartu 16. Keskkool
  - 2000 Tartu Ülikool, zooloog
  - 2003 teadusmagister, entomoloogia, Eesti Maaülikool
  - 2007 filosoofiadoktor, entomoloogia, Eesti Maaülikool
  - 2003–2007 Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi spetsialist
  - Alates 2007 Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi teadur
- Avaldanud 30 teaduspublikatsiooni.

### SISSEJUHATUS

Põllumajandusliku tootmise intensiivistumine on viinud kiirele liikide arvu langusele agraarmaastikes. Tolmeldajate üldist ja laiaulatuslikku arvukuse vähenemist on täheldatud nii Ameerika, Aasia kui ka Euroopa [Williams, 1996] põllumajandusaladel. Samas on tolmeldajad olulised mitte üksnes põllumajanduses, vaid kõikjal maismaa ökosüsteemides. Putuktolmlemise vähenemine ohustab mitte ainult entomofiilsete kultuurtaimede kvaliteeti ja kvantiteeti ning sellest tulenevalt nende konkurentsivõimet, vaid ka looduslike liikide ellujäämist.

Tolmeldajate arvukuse ja liigirikkuse kriitilist langust põllumajandusmaastikes peetakse seetõttu alarmeerivaks tendentsiks [Gabriel, Tschardtke, 2007], mille põhjuseks on peetud mitmeid faktoreid, sealhulgas kliimamuutust, aga ka nõrgestatud perede vastuvõtlikkust haigustele ja parasiitidele. Põhiliseks teguriks näib olevat siiski maakasutuse ja põllumajandusliku tootmise muutustest tingitud elupaikade ja toiduresursside kadumine või degradeerumine.

Tolmeldajate fauna kaitsmiseks on vajalik teada põllumajandustegevusest tulevaid lokaalseid ja regionaalseid faktoreid. Elupaikade kadumine mõjutab geneetilise eripära tõttu mesilaselaadseid putukaid oluliselt tugevamini kui teisi tolmeldajaid. Mesilaste ühe-lookuseline soo määratlus muudab nad eriti tundlikuks väikeste populatsioonide puhul. Liiga väikesesse populatsiooni ilmuvad kiiresti steriilsed diploidsed isased [Kevan, Philips, 2001].

Entomofiilsete taimede kasvatusala suurenemine ajal, mil looduslike tolmeldajate arvukus väheneb, viib paratamatult saagi kvaliteedi ja kvantiteedi langusele. Tolmeldajate olemasolust sõltub lisaks ka väga paljude looduses vabalt kasvavate taimeliikide püsijäämine [Williams, 1996]. Liblikõieliste taimede peamise ja tõhusaima tolmeldajate – kimalaste – arvukus on oluliselt langedud enamikus Euroopa riikides, seda eriti just intensiivse põllumajandustegevusega aladel.

Alternatiiviks intensiivsele põllumajandusele on välja pakutud ökoloogilist ehk mahepõllumajandust, mis peaks looma soodsamad tingimused bioloogilise mitmekesisuse säilimisele. Mahetootmine on suunatud inimesele puhta toidu tootmisele, mis samal ajal tekitab keskkonnale võimalikult vähe kahju. Erinevalt ökoloogilise maaviljelusega taludest püütakse intensiivse ehk tavaviljeluse puhul saavutada maksimaalset tootlikkust ja tulu sünteetiliselt toodetud mineraalväetiste ja pestitsiidide abil. Mineraalväetised ei suuda täielikult asendada orgaanilisi väetisi, neist jääb keskkonda ka palju jääkained. Tõsiseks probleemiks on insektitsiidide jääkide sattumine toidusse.

#### KIMALASTE ARVUKUS JA LIIGIRIKKUS

Tolmeldajate arvukuse kiirese langusse viimastel aastakümnetel tuleb suhtuda tõsiselt. Selle nähtuse põhjendusteks on pakutud mitmeid erinevaid faktoreid. Olulisimaks neist peetakse tolmeldajatele sobiva elukeskkonna ja piisava toiduresursi vähenemist maakasutustavade ja intensiivse põllumajanduspraktika tõttu [Goulson jt, 2005].

Vaheldusrikas maastik mängib olulist rolli tolmeldajate liigirikkuse kujunemises ja püsimises [Mänd jt, 2001; Sepp jt, 2004]. Mitmete autorite uurimistööd on näidanud, et nektari- ja õietolmuallikate arvukuse suurendamine ja sesooni läbiva pideva toiduvoo teadlik tagamine mõjuvad tolmeldajate arvukusele samuti positiivselt [Mänd jt, 2002a; Carvell jt, 2006]. Suhteliselt vähe on aga

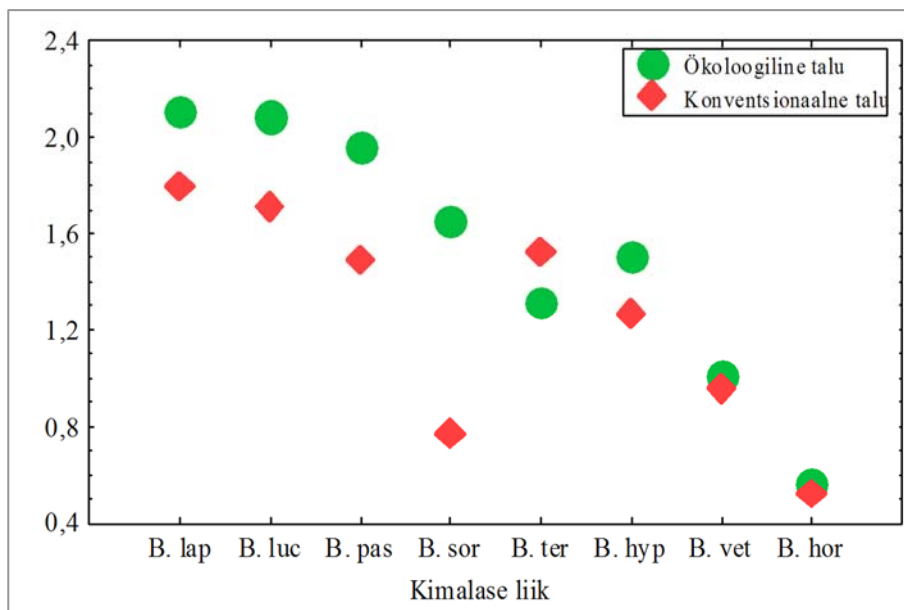
töid, mis seostaks maastikuelementide kompositsiooni tähtsust tolmeldajate liigirikkuse ja arvukusega põllumajandusmaastikus.

Selle puudujäägi korvamiseks uurisime, kuidas mõjutab maastikutüüp kimalaste liigirikkust ja arvukust. Analüüsi lülitasime piirkonnad, kus künnimaa osatähtsus oli alla 45% ja üle 65%. Andmetöötlusel eristusid need grupid nii maastikuelementide rohkuse kui ka kimalaste koosluse poolest. Kimalaste suurem arvukus ja liigirikkus korreleerus selliste maastikeelementidega nagu poollooduslikud niidud ja märgalad. Viimaste olulist rolli tolmeldajate arvukuse tõstmisel on seotud seal kasvavate varakevadiste toidutaimedega, eelkõige pajuga. Tähtsat osa etendasid ka põllumajandusliku maa ning metsade vahelised piirialad (metsa- ja teeservad, põldudevahelised looduskooslused), aga ka liblikõieliste kultuuridega põllud. Kimalaste arvukuse sidumisel suviste toidutaimeliikidega selgus, et eelistatuimaks taimeks oli poolparasiitse eluviisiga harilik härghhein (*Melampyrum nemorosum*), mille arvukas esinemine võib olla üheks võtmeteguriks teatud kimalaseliikidele Eestis [Sepp jt, 2004].

Lisaks maastikustruktuurile on peetud üheks tolmeldajate kooslusi vähendavaks põhjuseks intensiivpõllumajandust. Tolmeldajate arvukuse ja mitmekesisuse erinevuste väljaselgitamiseks mahe- ja tavatootmisega põldudel viisime läbi kimalaste ja nende toidutaimede seire 12 talude paaris üle Eesti. Leidsime [Mänd jt, 2001a; 2002b; Koskor jt, 2006b], et nii kimalaste arvukus kui ka liigirikkus olid oluliselt suuremad mahetaludes, hoolimata sellest, et olulisi erinevusi vaatlusaluste talupaaride toidutaimede ressursi hulgas ei leitud. Erinevus ilmnes aga taimestiku struktuuris. Tavaviiljelusviisiga taludes oli oluliselt vähem mitmeaastaseid ja rohkem üheaastaseid taimi. Mitmeaastased taimed toodavad rohkem nektarit ja on seetõttu sobivamad toidutaimed. Kimalaste liikide arv varieerus intensiivse tootmisviisiga taludes 2 kuni 9 liigini ja mahetaludes 5 kuni 12 liigini. Ökoloogilistes taludes oli kimalaste dieedi heterogeensus suurem kui tavataludes (joonis 1). Kõige mitmekesisem dieet oli lühisuiselistel kimalastel, kõige monotoomsem aga pikasuiselistel. Seega võib väita, et ökoloogilise maaviiljelusega talud tagasid kimalastele, võrreldes intensiivtaludega, mitmekesisema ja suurema valikuvõimalusega toidubaasi, pakkudes soodsamaid toitumistingimusi, mis on üheks eelduseks kimalaste koosluste säilimisele põllumajandusmaastikes.

## KORJEKÄITUMINE

Mesilaselaadsed tolmeldajad on toidutaimede valimisel sageli selektiivsed. Õietolmude eristamine on kimalastele tähtis, sest vastsete arenguks olulisemate aminohapete hulk on teatud taimede õietolmus kõrgem kui teiste taimede omas [Saa-Otero jt, 2000] ning mittedobiv õietolm piirab järglaskonna kasvu. Sama tähtsaks osaks pere arengus on piisava hulga sobiva nektari olemasolu. Ka pesa asupaik erinevate kultuur- ja looduslike taimede kasvukohtade suhtes on korjevalikute ja eelistuste kujunemises väga oluline [Mänd, Martin, 2002].



Joonis 1.  
Kimalaste dieedi mitmekesisus ökoloogilistes ja konventsionaalsetes taludes.

Toitu koguvad kimalased orienteeruvad maastikul õite värvisignaalide alusel. Kuigi erinevate autorite väitel külastavad kimalased õisi ilma kaasasündinud värvielistusega, on neil sageli täheldatud selektiivset õite valikut. Sellele küsimusele vastust otsides loendasime kimalasi hübriidlutserni eri värvi õitel. Leidsime, et sortide 'Karlu' (domineerisid kollased õisikud) ja 'Jõgeva 118' (kollaseid ja siniseid õisikuid enam-vähem võrdselt) põldudel ei kasutanud kimalased eri värvi õisikuid nende esinemise sageduse alusel. Selgus, et kimalaste jaoks osutus eemalt paistev õieväli kaugatraktandiks, mille juures omas tähtsust pigem ala suurus, mitte konkreetsed õievärvid. Lühidistantsidel muutus õite värv kimalaste jaoks oluliseks. Püsivat õievärvi eelistust kimalastel ei esinenud. Esimesel vaatlusaastal eelistasid kimalased mõlemal sordil siniseid õisi, teisel aastal külastasid nad eri värvi õisi enam-vähem proportsionaalselt nende esinemise sagedusega põldudel, kolmandal aastal eelistati mõlemal sordil kollaseid õisi [Hiimets jt, 2000].

Selektiivse käitumise põhjuste selgitamiseks mõõtsime erinevat värvi õite nektari kogust ja suhkrute sisaldust ning õietolmuterade hulka. Kummalgi sordil ei leitud statistiliselt olulisi erinevusi ei nektari hulgas ega ka suhkrute sisalduses [Karise jt, 2001]. Kimalaste õite valik hübriidlutsernil sõltus erinevat värvi õitest saadavatest õietolmu kogustest. Nad eelistasid õisi, mis sisaldasid rohkem õietolmu. Lisaks õietolmu hulgale, mis ühest õiest saadakse, on kimalastele oluline ka selle kalorsus. Nimelt eelistasid kimalased õietolmu, mille ener-

geetiline väärtus oli kõrgem [Karise jt, 2006b]. Sama tendents ilmnes ka teistel taimedel [Mänd jt, 2004b]. Siiski ei ole õites sisalduv tasu kimalaste selektiivse käitumise ainupõhjustaja. Selgus, et erinevat värvi lutserniõite esinemis-sageduste sesoonsed muutused põllul mõjutasid oluliselt kimalaste õievärvi-valikut. Kimalaste arvukus tõusis koos vastavat värvi õisikute osatähtsuse suurenemisega ja vähenes, kui õisikute hulk vähenes. Eelnevat arvestades on üsna tõenäoline, et kimalaste selektiivsus võib aja jooksul anda eelise mõnele õietüübile. Mitmete tingimuste pikemaajalisel kokkulangemisel võib kimalaste värvieelistus olla tugevaks suunavaks faktoriks erinevate geneetiliste omadus-tega taimede püsimisele järglaskonnas [Karise jt, 2005, 2006b].

Putuktolmlevate marjakultuuride kasvatamisel on saagi saamisel samuti oluline, et õied oleksid piisavalt tolmeldatud. Mesimuraka kui risttolmlemist vajava kultuuri tähtsamaks tolmeldajaks Eestis on meemesilane, seetõttu oleneb marjasaak eelkõige nende putukate arvukusest istanduses. Katses võrdlesime Soomes aretatud sorti 'Pima' kohaliku klooniga 'Kaansoo'. Selgus, et meie kohalikul kloonil on küll vähem nektarit, kuid õite tihedus ja nektari suhkrusisaldus on suurem, mistõttu mesilased eelistasid 'Kaansood'. Õite väike nektarisaldus teeb selle taime tolmeldajatele väheatraktiivseks. Samas paremaks viljastumiseks vajab taime erinevate sortide õietolmu. Istanduse paremaks tolmeldamiseks on vaja niita mesimurakaga õitsemisajal põldude vahetus läheduses õitsevad taimed, et suunata tolmeldajaid soovitud õitele [Karp jt, 2004].

#### KIMALASPEREDE KASUTAMINE KULTUURTAIMEDE TOLMELDAMISEL

Kuni tänase päevani on kimalaste isendite jaotumise ruumilisi aspekte põllumajandusmaastikus tegelikult ignoreeritud. Lähtudes üksnes korjelendude aja-ja energiakulust, oleks kimalase jaoks kõige efektiivsem koguda toitu pesa vahetust lähedusest. Paljud autorid ongi väitnud, et kimalased käivad korjel pesa lähedal [Goulson jt, 2005]. Samas on viimasel ajal põllumajandusmaastikes tehtud uuringud näidanud, et sageli väldivad kimalased pesa lähiümbrust ja käivad korjel 350 kuni 600 m kaugusel pesast [Walther-Hellwig, Frankl, 2000]. Siiani puuduvad andmed, kui kaugemale ulatuvad tegelikult efektiivsed korjelennud ja missugune on maksimaalne lennukaugus pesast.

Kimalaste korjeterriitoriumi ja toidutaimede valiku detailide tundmine osutub vajalikuks siis, kui soovitakse kasutada neid lisatolmeldajatena. Paljusid kultuurtaimi (nt punane ristik, lutsern, põlduba) meemesilane ei tolmelda või teeb seda äärmise toidudefitsiidi sunnil. Liblikõieliste taimede tolmukateni jõudmiseks tuleb avada õiekroon ning suuremate õite puhul on seda võimelised tegema kimalased.

Kunstlikult paljundatud kimalaspered võeti kasutusele kasvuhoonekultuuride tolmeldajatena esmalt Lääne-Euroopas, seejärel ka mujal maailmas. Kuigi

põllumajandustootjad on väga huvitatud kimalasperede kasutamisest ka aia- ja põllukultuuride tolmeldamisel, on seda takistanud suur hulk lahendamata probleeme. Peamiseks neist on see, kuidas paigutada pered põldudele nii, et kimalased külastaksid eelkõige tolmeldamist vajavaid kultuurtaimi ega lendaks korjele looduslikele taimedele.

Sobivate tolmeldamistingimuste leidmiseks katsetasime karukimalaste (*Bombus terrestris*) kommertstarude kasutamisevõimalusi. Kimalasperede efektiivsuse selgitamiseks paigutasime tarud liblikõieliste kultuuridega põldudest erinevatele kaugustele (kuni 1200 m). Vaatlusalal oli neli kõrvutiasetsevat põldu – lutserni, punane ja valge ristik ning raps. Leidsime, et samadesse tingimustesse paigutatud tarude kimalased käituvad üldjoontes sarnaselt. Kontrollimist vajag antud tõsiasi seetõttu, et mesilased on toidutaimede valikul konservatiivsed, kui nad on esimesel toitumislennul avastanud hea toiduresursi, siis püüavad nad eelistatult korjata just seal. Selline käitumine vähendab toidu otsimisele ja tundmatute õite käsitlemisele kuluvat aega ja võiks olla põhjuseks, miks erinevatel peredel on erinevad korjealad.

Tasuva toiduresursi ja taru vahelise kauguse suurenedes väheneb ka tarusse toodud lutserni, punase ja valge ristiku õietolmu hulk. Kõige kaugemal paiknevad pered kogusid võrdsetest vahemaadest hoolimata peamiselt rapsi õietolmu. Selline tulemus oli tingitud ilmselt ressursi suurusest – rapsi põld oli oluliselt suurem kui teised katsepõllud. Kuna korjemaa paiknes pesast suhteliselt kaugel, siis arvatavasti osutus kimalastele energeetiliselt kasulikumaks külastada suuremat toiduresurssi [Koskor jt, 2006a].

Tarru toodud õietolmu koostise analüüsist selgus, et erinevat liiki õietolmu kogumine ja seega ka seemnepõldude tolmeldamine sõltub päevaajast. Raps oli ainus taim, mille õietolmu korjati hommikuti (8.00–12.00) oluliselt rohkem kui õhtuti (16.00–20.00), ehkki punase ristiku ja lutserni õietolmu on kimalaste jaoks üldiselt eelistatumad. Saadud tulemust võiks põhjendada mitmeti: rapsi õis on lihtsa ehitusega ja sealt saab õietolmu kätte kiiremini kui liblikõieliste taimede õitest. Lihtne õie ehitus võib soodustada ka kiiremat hommikukastest kuivamist, võimaldades õietolmu korjata varem kui näiteks liblikõieliste taimede õitest. Teise mõjutajana tuleb kindlasti arvesse võtta põllu pindala: suurema ressursi puhul kulutatakse õite otsimiseks vähem aega. Hoolimata sellest, et rapsi põld oli oluliselt suurem ja seega pakkus ka rohkem toiduresurssi, eelistasid kimalased õhtuti liblikõielisi kultuure. Tõenäoliselt suunduvad esimesed hommikused õietolmukorjajad rapsile, kui rikkalikult õietolmu pakkuvale liigile, et kiiresti leevendada tarus tekkinud õietolmudefitsiiti ja hiljem eelistatakse juba väärtuslikumat, kuid raskemini kättesaadavat õietolmu [Koskor jt, 2005].

Kimalastarude paigutamisel põldudele tekivad koheselt probleemid pesaparasitide ja röövtoiduliste putukatega. Röövtoidulistest putukatest ohtlikumad on meie tingimustes sageli mullas elavad sipelgad, kes toituvad nii mesilas- kui

kimalastarudes olevatest toiduvärsudest ja ka vastsetest. Perede kaitseks välja töötatud sipelgatõrjemeetodid on loodussõbralikud ja ei kahjusta peresid [Lind jt, 2006].

#### AGROKEMIKAALIDE MÕJU MESILASTELE. VÄETISED

Inimtegevus on tänapäeval tolmeldajatele suurimaks ohuks. Nii elupaikade hävitamine, loodusmaastike liigne kultuuristamine kui ka agrokemikaalide kasutamine põhjustavad ja on põhjustanud mitmete liikide arvukuse tõsise languse või ka teatud juhtudel isegi piirkondliku väljasuremise. Siit tulenes ka meie teadustööde üks suunavalikutest.

Õitsvad kultuurtaimed on mesilastele atraktiivsed nii õietolmu kui nektari kvaliteedi ja kvantiteedi tõttu. Suured õitsvad alad meelitavad tolmeldajaid ligi oluliselt kaugemalt, kui üksikud taimed. Mesilaste jaoks on meil Eestis kasvatatavatest kultuurtaimedest üks atraktiivsemaid raps. Rapsi põldudele lendavad nii meemesilane kui ka pea kõik avamaastikul toituvad kimalaseliigid.

Nektariks nimetatakse taimsetest kudedest erituvat suhkruterikast vedelikku, mille üheks funktsiooniks peetakse üleliigsetest metabolismisaadustest vabanemise võimalust. Kõrvalnähtusena osutus nektar taimede jaoks ka tõhusaks tolmeldajate ligimeelitamise vahendiks. Lisaks suhkrutele sisalduvad nektaris lipiidid, mineraalained, aminohapped ja antioksüdandid. On arusaadav, et hästi väetatud taim on elujõulisem ja suudab toota rohkem ning kvaliteetsemat nektarit.

Suvirapsi katsepõllul selgitasime, kas erinev väetusviis võib põhjustada teatud taimede suuremat või, vastupidi, väiksemat atraktiivsust mesilastele. Uurisime mitmete lehekaudse imendumisega väetistega pritsitud taimede nektari- ja õietolmuproduktiooni ning võrdlesime neid tulemusi mesilaselaadsete putukate arvukusega taimede õitel. Eeldustele vastavalt leidsime, et väetamata aladel oli õisi vähem ning ka õite nektari ja õietolmu tootlikkus madalam. Erinevalt väetatud katselappidel õite arvukuses erinevusi ei olnud. Küll aga mõjutas erinev väetamine nii nektari kui õietolmu tootlikkust. Leheväetised Micro Rape ja New Rape ning boori ja magneesiumi lisandid koos kompleksväetisega OptiCrop tõstsid oluliselt rapsi õite nektariproduktiooni. Mangaani lisamine tõi kaasa nektariproduktiooni languse. Rapsi õietolmu tootlikkust tõstsid oluliselt leheväetised Micro Rape ja New Rape koos kompleksväetisega OptiCrop [Mänd jt, 2005b; Viik jt, 2005]. Vaatamata mikroväetiste kasutamisest tingitud erinevustele rapsi nektari- ja õietolmu produktioonis, ei mõjutanud see oluliselt mesilaste arvukust erinevatel katselappidel. Viimane korreleerus vaid õite arvuga. Tulemustest järeldasime, et mesilaselaadsed lähtuvad korjel õiealade tihedusest, eristamata kasvatustehnoloogiat muul viisil [Karise jt, 2004].

Samaaegselt tolmeldajate arvukusega erinevate leheväetistega väetatud katselappidel loendasime ka õietolmust toituvate suvirapsi põhikahjurite, hiilamardikate, arvukust. Erinevalt mesilaselaadsetest sõltus hiilamardikate arvukus ka-



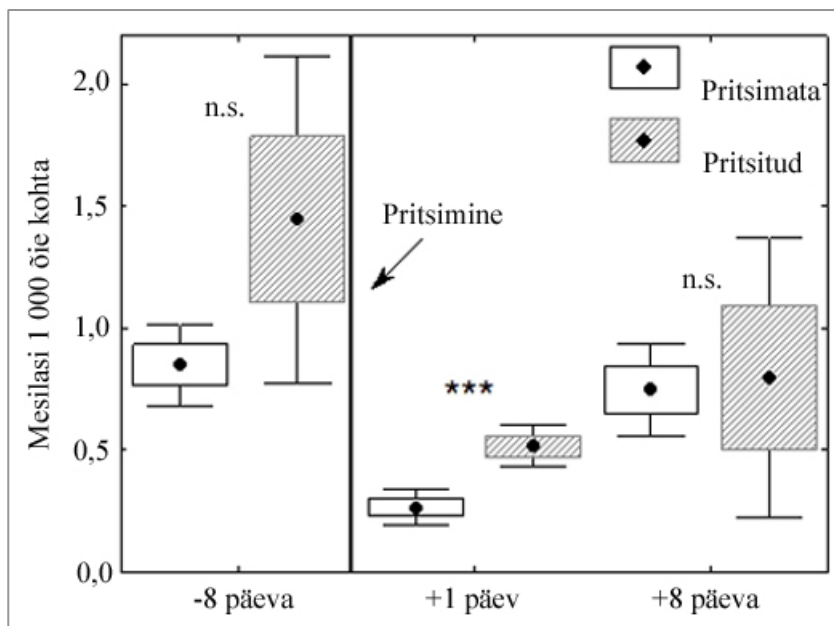
sutatud leheväetisest. Hiilamardika valmikuid oli oluliselt rohkem katselappidel, mida pritsiti vaske sisaldava väetisega Micro Cu ja madalaim väävlit sisaldava mikroväetisega Sulphur F3000. Väetamisest tingitud eelistusi saab kasutada püüniskultuuride väljatöötamiseks hiilamardikate tõrjeks. Antud meetod võimaldab vähendada rapsikahjurite tõrjeks kasutatavate putukamürkide hulka ja seeläbi kaitsta ka tolmeldajaid [Mänd jt, 2004a, 2006b].

## PUTUKAMÜRGID

Mesilaselaadsed putukad korjavad nektarit ja õietolmu umbes 75% põllukultuuridelt. Seejuures on neil mitmeid võimalusi kokku puutada põllumajanduspraktikas kasutatavate pestitsiididega. Otsese kontakti võimalused putukamürkidega peaksid mesilastel olema üsna väikesed, sest õitsvaid taimi üldjuhul pritsida ei tohi; või kui teatud juhtudel see siiski lubatud on, siis peavad naabruses asuvad mesitarud suletud olema ning pritsimine tuleb läbi viia kellaaegadel, mil mesilased eeldatavalt korjel ei ole. Need kriteeriumid on välja töötatud meemesilaste kohta, jättes tähelepanuta looduslikud mesilased. Siit ka probleem: kimalaste aktiivne korjeaeg on oluliselt pikem kui meemesilastel, seega jääksid reaalsed pritsimise võimalused väga piiratuks. Kaudseid kokkupuutevõimalusi on rohkem. Põldude sees ja ka põlluservades kasvavatel umbrohitudel toitu korjavad mesilased on ohustatud nii otsese pritsimise kui ka õite teel kogunevate pestitsiidijääkide tõttu [Thompson, Hunt, 1999].

Insektitsiidide mõju selgitamiseks tolmeldajate korjekäitumisele rajasime kaks suvirapsi katsepõldu, kus ühel juhul kasutati hiilamardikate tõrjeks insektitsiide ja teisel tõrjet ei tehtud. Antud uurimusest selgus, et mesilaselaadsed külastasid intensiivsemalt insektitsiidiga töödeldud põldu (joonis 2). Selline tulemus saadi eelkõige üks päev pärast põllu püretroidse putukamürgiga pritsimist. Antud tõrjevahend Fastac peaks olema mesilastele eemalepeetava toimega vähemalt kahe ööpäeva jooksul [Thompson, 2001]. Meie katsetulemus sellist mõju ei näidanud. Analüüsides õite arvu seost tolmeldajate arvukusega, leiti positiivne korrelatsioon just sel loenduskorral. Õitsemise alguses ja lõpus oli põldude õite arvu erinevus väiksem. Taas kord saime kinnituse, et mesilaselaadsed lähtuvad oma toitumisotsingutes ressursi rohkusest, eelistades õiterikkaid alasid. Nad pole ilmselt võimelised eristama insektitsiidiga töödeldud ja töötlemata alasid ning toitumisala valikut mõjutab eelkõige ressursi hulk [Karise jt, 2004; 2007b]. Seega võib toidutaima atraktiivsus ületada insektitsiidi repellentsuse ja deterrensuse, eriti juhtudel, kui muid toidutaimi mesilaste lennuraadiuses ei ole. Eriti ettevaatlik peab olema rapsi õitsemiseaegsete insektitsiidide kasutamisega. Arvestada tuleb, et mesilaselaadsed lendavad rapsile 3,5–4 km kauguselt, jättes hooletusse mitmed muud õitsvad kultuurid.

Eelneva katse tulemuste põhjal tuleb tõdeda, et mesilased ka realselt viivad tarru saastunud toitu. Pidev madal pestitsiidi sisaldus toidus põhjustab aga mitmete muutuste tekke nii putukate käitumises, tervislikus seisundis, pere seis-



Joonis 2.

Mesilaste arvukus suvirapsil enne ja pärast putukamürgi Fastac´iga pritsimist. Kolme tärniga on märgitud statistiliselt oluline erinevus, n.s. tähistab olulise erinevuse puudumist. Joonisel on esitatud keskmine mesilaste arvukus koos standardvigadega.

korras ja tööjaotuses. Võivad esineda muutused õppimis- ja orienteerumisvõimes. Meemesilaste korjet mõjutab suurel määral ka nende võime pesakaaslastele tasuvate korjealade kohta infot jagada. Paljud autorid on leidnud, et subletaalsed pestitsiididoosid segavad kõiki või osasid eelnimetatud käitumismalle ning kokkuvõttes langeb mesilaste meetotlikkus, võib esineda pere nõrgenemine orienteerumisega hätta jäänud ja kaduma läinud mesilaste arvelt [Thompson, 2001, 2003]. Väiksemate peredega ja erineva bioloogiaga kimalastele peaksid analoogsed muutused veelgi laastavamalt mõjuma.

Kimalasperedega läbi viidud katses selgitasime, kuidas nõrkade insektitsiididooside tagajärjel muutub töökimalaste korjekäitumine. Katseperesid toideti enne põllule viimist looduslikku päritolu (seega sageli ekslikult ohutuks peetava) putukatõrjevahendi Neem EC üliväikse doosiga segatud toiduga ja kontrollperesid puhta toiduga. Töötuse tulemusel muutusid saastunud toitu söönud korjekimalastel toitumiseelistused ja võrreldes kontrollperedega vähenes korjelendude ulatus. Meie tulemused näitasid, et intensiivse põllumajandustegevusega aladel, kus vahekaugused erinevate toiduresursside vahel on suured, võivad isegi väga väikesed muutused korjekimalaste käitumises mõjutada perede ellujäämist [Karise jt, 2006a; 2007a].

Üliväikesed pestitsiididoosid kasulike putukate toidus on salakavalad, kuna võivad jääda täiesti märkamatuks. Surmavate dooside puhul on kurva mängu juures hea just see, et kokkupuute tagajärjeks on surm. Massiline putukate suremus on kindlasti märgiks mingisugusest ohust, mida siis aktiivselt otsima hakatakse ning surnud isendid ei mõjuta enam allesjääjate elukäiku. Vaikne ja aegamisi toimiv perede väljasuremine seevastu ei püüa tähelepanu sageli enne, kui kahju võib juba pöördumatu olla. Subletaalsete pestitsiididooside mõjust kasulikele putukatele räägitakse teadusmaailmas järjest enam, kuid ikka veel ei ole piisavalt taustmaterjali, mille abil välja töötada tõhusamaid ja praktilisi kaitsemeetodeid. Praeguseks on selge, et kaugeltki ei piisa vaid surmava doosi määramisest.

Pestitsiididest ja muudest saasteallikatest (väetise jäägid, raskemetallid) põhjustatud väikesed muutused kimalaste käitumises võivad jääda silmale nähtamatuks. Pöörduva iseloomuga toksikoosinähud küll aga võiksid olla avastatavad füsioloogiliste näitajate kaudu. Vesi on igale organismile esmane hädavajalik aine. Selle puudus võib osutada letaalseks, seda just pisikese kehamassiga loomadel, kellel läbikuivamine toimub kiiremini. Vee kokkuhoidmiseks on putukatel välja kujunenud võime reguleerida gaasivahetuse käigus eralduva vee hulka. Veeкао kontroll toimub putukatel katkendliku hingamise kaudu. Kui putukas hingab pidevalt, see tähendab, et hingatsid ehk õhuavad on pidevalt avatud, kaotab ta koos kehast väljuva süsihappegaasiga pidevalt ka vett. Süsihappegaas on gaas, mis koguneb putuka trahheedesse kuni hingatsid avatakse. Samas liigub veeaur pideva difusiooni käigus läbi trahheeseinte mõlemas suunas ja selle kontsentratsioon ei tõuse. Seega väiksema arvu väljahingamiste korral väljutatakse sama koguse süsihappegaasi juures oluliselt vähem vett.

Putukate hingamissüsteemide uurimiseks vajalik aparatuur ja katsetoodika tuli kohapeal välja töötada. Perelise eluviisiga kimalaste ja sipelgate uuringud olid seotud suurte meetodiliste raskustega, kuna perest eraldatud isendid on tugevas stressis ja surevad mõne tunni jooksul. Varasemates putukafüsioloogia katsetes kasutati sageli nn jõhkraid meetodeid (eelkõige pea eemaldamist). Dekapiteerimisega lülitati välja putuka aju ning aju funktsioonidest tulenevad segavad faktorid nagu hormoonide töö ja äkilised liigutused.

Meie laboris töötati välja meetodika, mis võimaldas putukast väljuvaid gaase analüüsida teda vigastamata, isegi koos nukukookoniga. Eksperimentides kasutasime sipelgatele ja mesilastele kohandatud mikro-respiromeetrit. Paigutasime respiromeetri kambri nädalaks enne katset sipelgapessa või tarru, mis võimaldas putukatel seda omaks võtta. Selle tulemusena ei olnud katseloomad enam stressis [Kuusik jt, 2004; Martin jt, 2004]. Respiromeetrit saab kombineerida ka putuka lihastegevuse määramiseks. Oma tööga näitasime, et normaaltingimustes puudub kimalase südamerütmide ja kehaliigutuste vahel otsene seos. Süsihappegaas väljutatakse kimalase kehast aga tagakeha tugevate pumpavate liigutustega [Kuusik jt, 2004; Mänd jt, 2005a, 2006a].

Metoodika uudsuse ja ka hingamisrütmi vähese varasema uurituse tõttu alustasime oma katseseeriaid korjetööliste [Kuusik jt, 2002], kimalasevastsete ja -nukkudega [Mänd jt, 2005a, 2006a] ning hingamis- ja lihastöö muustrite analüüsimisega. Leidsime, et korrapärased tsüklilised süsihappegaasi väljutamised ilmnevad keskmises nuku arengustaadiumis, mil putuka kehakatted tugevamaks muutuvad. Valmikul esineb tsükliline hingamine juhul, kui ta on täiesti liikumatult puhkeseisundis, mis kimalaste puhul on saavutatav madala temperatuuri juures.

Madala kontsentratsiooniga pestitsiidilahuse mõju selgitamiseks kimalastele töötlesime neid insektitsiidiga Fastac 100 EC. Selgus, et kuivas keskkonnas vähenes kimalastel insektitsiidi mõjul oluliselt süsihappegaasi purskelise eraldumise sagedus. Samas aga niisketes tingimustes sellist erinevust töödeldud ja töötlemata isendite vahel me ei leidnud. Need tulemused näitavad, et kliimaatiliste tingimuste ja subletaalsete insektitsiididooside koosmõju võib viia putuka veetustumisele ja kaasa tuua korjetööliste hukkumise.

## LÕPETUSEKS

Põllumajandusaladel on pidevalt suurenenud inimtegevuse mõjud ja seetõttu on järsult kasvanud vajadus hinnata agrotsönooside seisundit. Meie uuringud on näidanud, et kimalaste koosluste seisund peegeldab keskkonna mitmekesisust ja kvaliteeti ning neid näitajaid võib kasutada bioindikatsioonis.

Agrokemikaalide jääkmõjud hakkavad alles nüüd tasapisi avalduma ning seetõttu on hädavajalik jätkata alustatud sellekohaste uurimistöödega. Meie töögrupil on kujunenud tihedad sidemed erinevate üle-Euroopaliste teadusprojektidega, mille sisuks on loodusliku mitmekesisuse säilitamine ja põllumajandusliku keskkonna seisundi hindamine ning parandamisvõimaluste otsimine.

## KIRJANDUS

- Carvell, C., Roy, D. B., Smart, S., Pywell, R. F., Preston, C. D., Goulson, D. (2006). Declines in forage availability for bumblebees at a national scale. *Biol. Conserv.*, 132, 481-489.
- Gabriel, D., Tschardtke, T. (2007). Insect pollinated plants benefit from organic farming. *Agricult. Ecosyst. Environ.*, 118, 43-48.
- Goulson, D., Hanley, M. E., Darvill, B., Ellis, J. S., Knight, M. E. (2005). Causes of rarity in bumblebees. *Biol. Conserv.*, 122, 1-8.
- Hiiemets, R., Mänd, M., Bender, A., Tamm, S. (2000). Attractiveness of different alfalfa flower colours for bumble bees. *Transactions of the Estonian Agricultural University. Proc. of Intern. Conf. Development of Friendly Plant Protection in the Baltic Region*. Tartu, Estonia, 209, 43-45.
- Karise, R., Mänd, M., Bender, A., Tamm, S. (2001). Kimalaste selektiivne õite valik: kas lutserni õite värvimorfide külastamine sõltub nende nektari sisaldusest? *EPMÜ teadustööde kogumik*, 213, 67-72.

- Karise, R., Mänd, M., Ivask, M., Koskor, E., Bender, A. (2006b). The effect of pollen amount and its caloric value in hybrid lucerne (*Medicago x varia*) on its attractiveness to bumble bees (*Bombus terrestris*). *Agronom. Res.*, 4, 211-216.
- Karise, R., Mänd, M., Ivask, M., Viik, E., Koskor, E. (2005). Kimalaste õietolmukämpude kalorsus ja seda mõjutavad tegurid. *EPMÜ teadustööde kogumik*, 220, 231-233.
- Karise, R., Mänd, M., Koskor, E., Bender, A. (2006a). The effect of Neem EC on the pollen forage of the bumble bee *Bombus terrestris* L. *Proc. of Intern. Conf. on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agrienvironment and Food Technology*. Volos, 367-372
- Karise, R., Mänd, M., Viik, E., Martin, A.-J., Lääniste, P. (2004). Flower visitors of spring oilseed rape in different cropping systems. *Latvian J. of Agronomy*, 7, 6-11.
- Karise, R., Viik, E., Mänd, M. (2007b). Impact of alpha-cypermethrin on honey bees foraging on spring oilseed rape *Brassica napus* flowers in field conditions. *Pest Managem. Sci.*, 63, 1085-1089.
- Karp, K., Mänd, M., Starast, M., Paal, T. (2004). Nectar production of *Rubus arcticus*. *Agronom. Res.*, 2, 1, 57-61.
- Kevan, P. G., Philips, T. P. (2001). The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. *Conserv. Ecol.*, 5, <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art8/>
- Koskor, E., Karise, R., Bender, A., Mänd, M. (2006a). Kimalasperede kasutamise tolmeldajatenä pöllumajandusmaastikes. *Agronomia* 2006, 220-223.
- Koskor, E., Mänd, M., Geherman, V., Martin, A.-J., Karise, R., Viiralt, V. (2006b). Diversity of bumble bees and their food resources on ecological and conventional farms. *Proc. of Intern. Conf. on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agrienvironment and Food Technology*. Volos, 496-499.
- Koskor, E., Mänd, M., Karise, R., Viik, E., Bender, A., Viiralt, R. (2005). Karukimalase (*Bombus terrestris* L.) hommikuse ja õhtuse õietolmukorje erinevused. *EPMÜ teadustööde kogumik*, 220, 234-236.
- Kuusik, A., Martin, A.-J., Mänd, M., Hiiesaar, K., Metspalu, L., Tartes, U. (2002). Interrelations of gas exchange cycles, body movements and heartbeats in the foragers of bumblebee *Bombus terrestris* at low temperatures. *Eur. J. Entomol.*, 99, 209-214.
- Kuusik, A., Martin, A.-J., Mänd, M., Metspalu, L., Tartes, U., Lind, A. (2004). Cyclic release of carbon dioxide accompanied by abdominal telescoping movements in forager ants of *Formica Polycetena* (Hymenoptera, Formicidae). *Physiol. Entomol.*, 29, 152-159.

- Lind, A., Laugis, M., Loodus, J., Martin, A., Martin, A.-J., Varul, T. (2006). Sipelgate tõrje mesilates. *Agronoomia* 2006, 245-248.
- Martin, A.-J., Kuusik, A., Mänd, M., Metspalu, L., Tartes, U. (2004). Respiratory patterns in nurses of the red wood ant *Formica polyctena* (Hymenoptera, Formicidae). *Insect. Soc.*, 51, 62-66.
- Mänd, M., Martin, A.-J. (2002). Foraging of pollen-collecting *Bombus terrestris* L. in a fragmented farmland. 6th International Bee Conference. Bees Without Frontiers. Book of Abstr. Cardiff, 1-5 July 2002, 5.
- Mänd, M., Geherman, V., Luik, A., Martin, A.-J., Mikk, M., Paimetova, V., Viiralt, R. (2001a). Bumble bee diversity on ecological and conventional dairy farms. *Acta Biol. Univ. Daugavpiliensis*, 1, 1, 21-25.
- Mänd, M., Karise, R., Viik, E., Metspalu, L., Lääniste, P., Luik, A. (2004a). The effect of microfertilisers on the number of pollen beetles on spring oilseed rape. *Latvian J. of Agronomy*, 7, 30-33.
- Mänd, M., Kuusik, A., Martin, A.-J., Williams, I. H., Luik, A., Karise, R., Metspalu, L., Hiiesaar, K. (2005a). Discontinuous gas exchange cycles and active ventilation in pupae of the bumblebee *Bombus terrestris*. *Apidologie*, 36, 561-570.
- Mänd, M., Kuusik, A., Martin, A.-J., Williams, I. H., Luik, A., Karise, R., Metspalu, L., Hiiesaar, K. (2006a). Regular periods of abdominal contractions recorded from larvae of the bumblebee, *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae). *Eur. J. Entomol.*, 103, 319-322.
- Mänd, M., Lummo, L., Vabrit, S., Karise, R. (2004b). Kimalaste selektiivne õite värvivalik suurel lõvilõual (*Antirrhinum majus* L.). EPMÜ teadustööde kogumik. *Agronoomia*, 219, 121-123.
- Mänd, M., Mänd, R., Williams, I. H. (2002a). Bumblebees in the agricultural landscape of Estonia. *Agricult. Ecosyst. Environ.*, 89, 69-76.
- Mänd, M., Martin, A.-J., Karise, R., Geherman, V., Viiralt, R. (2002b). Diversity of bumble bee diet on ecological and conventional farms. *Proc. of the Sci. Intern. Conf. "Plant Protection in the Baltic Region in the Context of integration to EU"*, September 26-27, 2002, Kaunas, Akademija, 71-73.
- Mänd, M., Metspalu, L., Luik, A. (2006b). The effect of microfertilizers on the number of pollen beetles on spring oilseed rape. *MASTER Intern. Symp. Integrated Pest Management in Oilseed Rape. 2-5. 04. 2006, Göttingen, Germany.*
- Mänd, M., Sepp, K., Truu, J. (2001b). Landscape structure and bumble bee communities. *Acta Horticult.*, 561, 159-163.
- Mänd, M., Viik, E., Karise, R., Krikuhhin, T., Koskor, E., Lääniste, P. (2005b). Lehekaudse väetamise mõju suvirapsi õietolmu produktsioonile. EPMÜ teadustööde kogumik, 220, 96-98.

- Saa-Otero, M. P., Diaz-Losada, E., Fernandez-Gomez, E. (2000). Analysis of fatty acids, proteins and ethereal extract in honeybee pollen. *Grana*, 39, 175-181.
- Sepp, K., Mikk, M., Mänd, M., Truu, J. (2004). Bumblebee communities as an indicator for landscape monitoring in the agri-environmental programme. *Landscape Urban Plan.*, 67, 173-183.
- Thompson, H. M. (2001). Assessing the exposure and toxicity of pesticides to bumblebees (*Bombus* sp.). *Apidologie*, 32, 305
- Thompson, H. M. (2003). Behavioural effects of pesticides in bees – their potential for use in risk assessment. *Ecotoxicology*, 12, 317-330.
- Thompson, H. M., Hunt, L. V. (1999). Extrapolating from honeybees to bumble bees in pesticide risk assessment. *Ecotoxicology*, 8, 147-166.
- Viik, E., Mänd, M., Rebane, A., Karise, R., Koskor, E., Lääniste, P. (2005). Lehekaudse väetamise mõju suvirapsi õite nektariproduksioonile. *EPMÜ teadustööde kogumik*, 220, 93-95.
- Walther-Hellwig, K., Frankl, R. (2000). Foraging habitats and foraging distances of bumblebees, *Bombus* ssp. (Hym., Apidae), in an agricultural landscape. *J. Appl. Entomol.*, 124, 299-306.
- Williams, I. H. (1996). Aspects of bee diversity and crop pollination in the European Union. Matheson, A., Buchmann, S. L., O'Toole, C., Westrich, C., Williams, I. H. (eds.). *Conservation of Bees*. Academic Press for IBRA and the Linnean Society, London, 63-80.

*Teaduspreemia sotsiaalteaduste alal  
uurimuste tsükli "Politiiliste institutsioonide mõjud poliitilisele  
kultuurile postkommunistlikes riikides" eest*



*Vello Pettai*



Sündinud 23.10.1968 New Jerseys, USA

1989 Middlebury Kolledž, vene filoloogia ja politoloogia

1993 teadusmagister, politoloogia, Columbia Ülikool

2004 filosoofiadoktor, politoloogia, Columbia Ülikool

1989 Raadio Vaba Euroopa, uurimispraktikant

1997 Vabariigi Presidendi nõunik, esindaja vähemusrahvuste ümarlaua juures

Alates 1997 Tartu Ülikoolis: 1997–2008 politoloogia osakonna lektor, teadur, võrdleva poliitika professor, 2008– riigiteaduste instituudi juhataja

Avaldanud 50 teaduspublikatsiooni.

## INSTITUTSIOONIDE MÕJUD POLIITILISELE ARENGULE TAASISEISESVUNUD BALTI RIIKIDES

Aastaga 2008 saab alguse aastapäevade tsükkel, mis tähistab kahe kümnendi möödumist Balti riikide taasiseseisvumisest. Sisuliselt võib öelda, et Eesti, Läti ja Leedu poliitiline areng on olnud edukas, kuna poliitiline demokraatia on nendes kolmes riigis kestnud kauem kui kunagi varem. Siiski, mil määral oleks võimalik analüüsida seda arengut süvitsi ja tuua välja mõningaid üksikasjalikumaid arengujooni nendes riikides?

Selles artiklis analüüsin Balti riikide poliitilist arengut kolme spetsiifilise valdkonna lõikes: (1) poliitilise klassi konsolideerumine, (2) seadusandjate rollinägemus ja (3) seadusandliku toimimise tasemed. Kuigi need valdkonnad ei moodusta terviklikku ja kõikehõlmavat poliitilise arengu indikaatorite komplekti, analüüsivad nad siiski poliitikute kui grupi organiseerumisviise noores demokraatias, nende kohanemist parlamentaarses süsteemis ning lõppkokkuvõttes nende tegutsemist grupina poliitilises otsustusprotsessis.

Samas võimaldavad Eesti, Läti ja Leedu testida teatud hüpoteese institutsionaalsete mõjude kohta poliitilistele protsessidele. Mil määral mõjutavad erinevad konstitutsionaalsed korraldused ja/või protseduurireeglid poliitikute tegutsemist ja poliitilisse arengusse panustamist? Balti riigid, erinedes märkimisväärselt oma institutsionaalsete konfiguratsioonide poolest, kujutavad endast olulist juhtumitekomplekti selle küsimuse lahendamiseks. Kas eelnevalt defineeritud erinevad poliitilise arengu määrad võivad olla seletatavad iga maa erinevate institutsioonide kaudu?

See artikkel analüüsib poliitilise klassi moodustumist, parlamentaarseid rolle ja seadusandlikku otsustamisprotsessi vastavas järjestuses ning lõpeb mõningate tähelepanekutega institutsioonide mõju osas nendele protsessidele.

## POLIITILISE KLASSI KONSOLIDEERUMINE

Ükskõik millises poliitilises süsteemis algab poliitika poliitikutest. Samas kujutavad poliitikud demokraatlikus riigis endast ka laia ühiskondlikku “klassi”, kuna võim on oma olemuselt hajutatud ning seega läheb tarvis tervet kogumit inimesi, et seda süsteemi toimimas hoida. See omakorda tähendab, et poliitilise klassi konsolideerumisest rääkimine eeldab tõestust selle kohta, et vastavasse gruppi kuuluvate inimeste hulgas oleksid kujunenud välja teatud koostöövormid ning ühtsus.

Selle artikli kontekstis defineerin ma “poliitilise klassi” kui ühiskonnakihi, mis on hõivatud riikliku tasandi valimisdemokraatiaga ehk lihtsustanuna kandidaadid riiklikusse esinduskogusse. Selline definitsioon on kasulik mitmete kontseptuaalsete ja empiiriliste põhjuste tõttu. Esmalt, termin “klass” on parem võrreldes terminiga “eliit”, kuna siinkohal on huvi keskpunktis teatud inimestekategooria sotsioloogiline konsolideerumine, mitte aga nende võimalik mõjuvõim või panus otsustamisprotsessi. Termin “eliit”, nagu seda on kasutanud Mosca, Pareto ning iseäranis neo-marksistlikud teoreetikud, keskendub liialt vastavate inimeste võimu omamise aspektile. Kuigi ka see tahk on ilmselgelt seotud poliitilise arenguga eetilise ja kaalutletud võimukasutuse kaudu, on selle artikli kontekstis eesmärgiks uurida üksnes püsiva riiklikus valimisdemokraatias tegeva inimgrupi esilekerkimist. Seda ennekõike sellepärast, et esindusdemokraatia töötab tegelikkuses just nende inimeste kaudu. Nad on osa masinavärgist – hammasrattad, kui nii võiks öelda, mis võimaldavad valimistel toimida ja anda tulemuseks esindusliku valitsuse. Kahtlemata on arvukalt teisi dimensioone, mis kindlustavad esindusliku valitsuse, kuid ükski demokraatia ei saa toimida ilma teatud hulga inimesteta, kes on valmis seda valimismängu mängima. Poliitilise arengu seisukohalt on nad keskne inimestegrupp.

Mis puudutab operatsionaliseerimist, siis poliitilise klassi konsolideerumist on võimalik mõõta kahe parameetri: kogemus ja sidusus kaudu. Siinkohal on väitaks, et mida kõrgem on kogemuse ja sidususe tase riigi parlamendivalimiste kandidaatide hulgas, seda enam konsolideerunud on poliitiline klass. Järgnevalt on välja toodud mõlema parameetri lühikirjeldus.

**POLIITILINE KOGEMUS** puudutab poliitilise klassi (parlamendivalimiste kandidaadid) valimis- ja seadusandlikku kogemust iga valimise ajal. Idee on selles, et poliitiline klass on seda enam konsolideerunud, mida enam on tema liikmetel parlamendisaadikuna töötamise kogemust, mida enam nad on üritanud saada taasvalituks parlamendisaadikuna või lihtsalt korduvalt valimistel osalenud. Lihtsalt öeldes, mida enam neil on kogemust valimispoliitilises mängus.

Poliitilist kogemust võib täpsemalt mõõta nelja indikaatori lõikes:

- tagasivalitud parlamendiliikmete määr (%): kui suur osa poliitilise klassi ladvikust, st nendest, keda on juba parlamenti valitud, valitakse oma kohale tagasi;
- tagasivalituks pürgivate parlamendiliikmete määr (%): kui palju parlamendiliikmeid püsib valimismängus pärast oma ametiaja lõppu ning ei loobu poliitikast;
- korduvkandidaatide määr (%) valimistest valimistesse: kui suur on “poliitilise klassi tuumik”, st need, kes kandideerivad järjestikustel valimistel;
- eelneva parlamendivalimiskogemusega kandidaatide määr (%): kui suur on valimiskogemuse kogumäär kandidaatide hulgas, kaasa arvatud eelneva ja varasemate valimiste kogemus.

POLIITILINE SIDUSUS mõõdab poliitilise klassi liikmete seotuse määra aja jooksul sama parteipoliitilise meeskonnaga. Kas liikmed panustavad järjepidevalt ühte poliitilisse voogu, või nad vahetavad parteisid, lähevad kaasa eraldunud parteiosadega, moodustavad uusi parteisid, muutuvad iseseisvateks kandidaatideks, vms? Mida enam poliitilise klassi liikmed püsivad selles mõttes sidusana, seda enam konsolideerunud on poliitiline klass.

Seda parameetrit saab mõõta, kui vaadata järgnevat:

- Parteivalik korduvkandidaatide hulgas: kas need kandidaadid, kes osalevad kahtedel järjestikustel valimistel, jäävad sama partei juurde või on nad vahetanud parteid?<sup>1</sup>
- Lojalsete korduvkandidaatide määr üksikpartei valimisnimekirjas: kas mõned parteid on rohkem sidusad kui teised, kuna nad on järjekindlalt suutnud hoida samasid inimesi enda eest kandideerimas? Ning vastupidi, kas mõned parteid on rõõvellikumad, täites oma ridasid ebaproportsionaalselt suure hulga korduvkandidaatidega teistest parteidest?
- Parteiliik, millega liituvad uued kandidaadid: kas esmakordsed kandidaadid liituvad olemasolevate parteidega või kaasatakse nad valimispoliitikasse uute parteide või lõhustumise tagajärjel tekkinud parteide poolt? Mida enam tõmbavad olemasolevad poliitilised parteid ligi esmakordseid kandidaate, seda sidusam on poliitiline klass. Ning vastupidi, kui uued kandidaadid kalduvad osalema valimistel ülemäärases hulgas uute või lõhustunud parteide kaudu, näitab see, et olemasolevate partei-

---

<sup>1</sup> Teoorias võib seda parameetrit välja arvutada ka parlamendiliikmete kohta (st parteivahetamine parlamendis), heites seeläbi veelgi fokuseerituma pilgu parteisidususele poliitilise klassi ladviku osas. Kuna aga Balti riikide parlamendid on väiksed ja parlamentide kodukorda on üha rangemaks muudetud, et ära hoida sellist parteivahetamist, on need arvud üldiselt madalad.

de suhtes võib puudu jääda usaldusest ning inimesed tõmmatakse poliitikasse üksnes uute moodustiste tekkides.<sup>2</sup>

- Partei valimisnimekirjas olevate kandidaatide staažikuse tase: mida staažikamad on partei valimisnimekirja liikmed, seda sidusam on poliitiline klass, kuna see näitab, et tegemist on kandidaatide jaoks teatud karjäärisüsteemiga või austusega parteiteenistuse vastu ning teistpidi hoiduvad parteid “üllatuskandidaatidest”, st sportlased, kaalukad äridoonorid või vastvärvatud riigiteenistujad, kes liituvad erakonnaga vaid pisut enne valimisi. Loomulikult on demokratiseeruvates riikides taoline staažikus sõltuvuses parteide tegutsemise kestvusest. Seega tuleb partei valimisnimekirja “keskmise staažikuse” spetsiifilist määra hinnata demokraatliku parteipoliitika ajalise kestvuse valguses.

Siinkohal tuleb märkida, et kahte eelnevalt mainitud indikaatorite gruppi võib, kuid ei pea, üksteisega seostama. Nimelt on poliitilise sidususe kõrged määrad tõenäoliselt vastavuses poliitilise kogemuse kõrge tasemega, kuna sidusus tugineb parteiteenistusele, mis samuti väljendab kogemust. Siiski ei pruugi poliitilise klassi lõikes kogemuse kõrged määrad kattuda sidususega, kuna paljud liikmed võivad tegeleda märkimisväärse parteivahetamisega, mis vähendab sidusust.

Tegelike empiiriliste andmete poole pilku heites on näha, et poliitilise kogemuse tase valimiskandidaatide seas näitab kolmes Balti riigis kasvutendentsi, mis on kõige ilmselgem Eesti puhul. Balti riikide parlamendiliikmete taasvalimise määrad on kõikunud valimistest valimiseni, kuid viimasteks valimisteks on see arv nendes riikides tõusnud keskmiselt 55,1%-ni, Eesti olles regiooni eesotsas 68,3%-ga. See näitaja on üldiselt võrreldav teiste postkommunistlike riikidega.<sup>3</sup> Kuid siiski, kui vaadata Lääne-Saksamaa Bundestagi taasvalimise määrasid 1945. aastale järgnenud aastatel, on näha, et demokraatlikule siirdele järgnenud samaks ajaliseks hetkeks, st 15 aastat hiljem, oli taasvalimise määr juba 70% [Best, 2003].

Taoline parlamendis ametikoha pidamise suhteliselt madal kestvus ei ole nii-öelda innukuse puudumise tagajärg. Keskmiselt 76,1% parlamendiliikmetest kõigi kolme Balti riigi lõikes osalevad oma mandaadi lõppemisele järgnevatel valimistel. See näitaja on olnud stabiilne kogu iseseisvusjärgse perioodi vältel.

Korduvkandidaadid esindavad neid kandidaate, kes osalesid kahtedel järjestikustel valimistel (olenemata parteikuuluvusest). Tabelis 1 on korduvkandidaa-

---

<sup>2</sup> See indikaator sõltub ilmselgelt sellest, kas taolisi uusi või lõhustunud parteisid üldse valimiseelselt tekib. Samuti näitab taoliste parteide tugevust nende valimistulemus. Siiski pole antud juhul huvi keskmises taoliste parteide poolt valijaskonna seas kogutud toetus, vaid toetus poliitilise klassi võimalike liikmete hulgas, st need inimesed, kes kaaluvad parlamenti kandideerimist.

<sup>3</sup> Poolat ja Tšehhit puudutavate võrdlusandmete jaoks alates 1990ndate keskpaigast vt [Shabad, Slomczynski, 2002].

tide määrad (%) esitatud kahel viisil. Esiteks, kandidaatide koguarvu suhtes esimestel valimistel ja teiseks, kandidaatide koguarvu suhtes teistel valimistel. Teisisõnu, esimene rida näitab kui suur osa poliitilisest klassist püsis koos või säilis ühtedest valimistest järgmisteni, teine rida aga vaatab, kui palju tuttavaid nägusid oli teistel valimistel. Esimesed andmed on kaalukamad, määramaks poliitilise klassi konsolideerumist, kuna nad mõõdavad “koospüsivust” võrreldes eelmiste valimistega, samas kui teised andmed annavad märku sellest, kui palju “taasesinevust” või tuttavaid nägusid oli valijate jaoks valimiste ajal.

Tabel 1  
Korduvkandidaadid järjestikustel parlamendivalimistel Balti riikides  
1992–2007

Riik	Aastad	Korduvkandidaatide arv	‘Koospüsivus’*	‘Taasesinevus’**
Eesti	92–95	274	43,6	21,8
	95–99	419	33,4	22,2
	99–03	403	21,4	41,8
	03–07	371	38,5	37,9
Läti	93–95	262	30,3	26,0
	95–98	302	30,0	27,9
	98–02	293	27,1	28,8
	02–06	293	28,8	28,6
Leedu	92–96	257	31,4	18,9
	96–00	366	26,9	28,8
	00–04	400	31,5	32,0

\* Korduvkandidaatide % esimese valimisaasta kandidaatide üldarvuga võrreldes

\*\* Korduvkandidaatide % teise valimisaasta kandidaatide üldarvuga võrreldes

Esimesed andmed näitavad mõnevõrra suuremaid määrasid Eesti puhul, mis tähendab seda, et Eesti poliitiline klass on olnud pisut stabiilsem kui Lätis ja Leedus. Langus, mida on näha, kui võrrelda aastaid 1999 ja 2003 (21,4%), tuleneb asjaolust, et aastal 1999 käisid parteid välja erakorraliselt pikad valimisnimekirjad (ühel juhul isegi 303 kandidaati 101 kohalisse parlamenti). See aga tähendab, et kui võrrelda seda nimekirja aastaga 2003 (kui valimisnimekirjad olid seaduse poolt piiratud 125 kandidaadiga), on vastav protsent paratamatult madalam. Aastaks 2007, mil nimekirjad olid taas piiratud 125 kandidaadiga, ilmneb jälle ligikaudu 40%-ne korduvuse määr. Lätis ja Leedus küündivad need arvud vaevalt 30%-ni, olenemata sellest, et kandidaatide absoluutarv on kõigis kolmes riigis ligikaudu sama (umbes 1100).

Poliitilist sidusust vaadates puudutab kõige huvipakkuvam indikaator korduvkandidaatide lojaalsust oma parteile taaskandideerimise ajal. Nende andmete täpne mõõtmine on aga väga komplitseeritud, arvestades asjaolu, et parteid ise muunduvad, nihkuvad valimistevahelisel ajal. Seetõttu on lojaalsuse klassifitseerimiseks vaja hoolega jälgida selliseid liikumisi, et klassifitseerida lojaalsust. Lihtsalt öeldes võib kandidaat oma käitumise mõttes olla kas lojaalne või mittelojaalne. Siiski on igas kategoorias oma alaosad, sõltuvalt sellest, kas lojaalsuse alla kuulub näiteks partei vahepealne ühinemine mõne teise parteiga või vahest hoopis valimisliidu lagunemine, mis kandidaadi parteil oli mõne teise parteiga eelmistel valimistel.<sup>4</sup> Samuti võib mittelojaalsus võtta teise olemasoleva parteiga, lõhustunud parteiga või uue parteiga liitumise või iseseisvaks kandidaadiks hakkamise (nt Eestis ja Leedus) kuju.

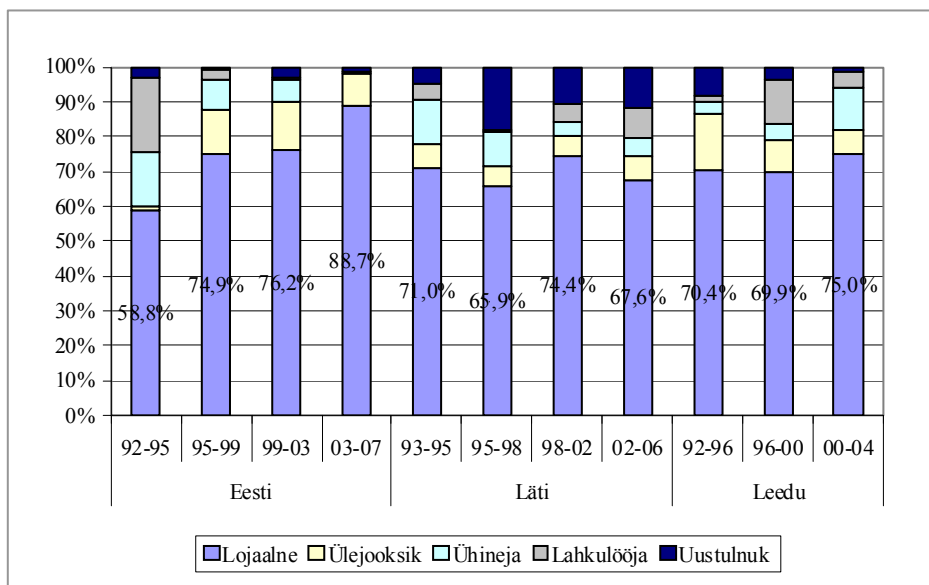
Lõppkokkuvõttes saab need võimalused kolme erinevasse mudelisse grupeerida, millest igaüks annab teatud määral erinevat infot poliitilise klassi konsolideerumise määra kohta. Alustades esmalt lihtsast lojaalsuse-mittelojaalsuse dihhotoomiast, on võimalik uurida, kas korduvkandidaadid on jäänud ustavaks oma poliitilisele grupeeringle, olenemata igasugustest organisatsioonilistest muutustest, mida see grupp võis läbi teha. Kuigi iga riik saab vastavalt sellele mudelile üldiselt suhteliselt kõrge tulemuse, on näha lahknevusi dünaamika osas, kus Eesti määrad algavad palju madalamalt tasemelt, kuid tõusevad ligi 90%-ni aastal 2007. Samas kasvab ka Leedus see arv viimaste valimiste ajal 75%-ni, kuid Lätis kõigub 65% ja 75% vahel. Selles osas võib öelda, et vaatamata märkimisväärsele valijaskonna volatiilsusele ja ebastabiilsusele Balti riikide parteisüsteemides alates 1991. aastast, on poliitilise klassi tuumik (st see osa, mis kandideerib järjestikustel valimistel) oma poliitilise kuuluvuse poolest võrdlemisi lojaalne (vt joonis 1).

Teine viis korduvkandidaatide grupeerimiseks vastab sellele, mida võiks nimetada "parteisüsteemi mudeliks". Selles mudelis on rõhk korduvkandidaatide määral (%) parteide valimisnimekirjades, kes esindavad üksikparteid või parteid, mis ei ole hiljuti liitunud ega valimisliidud. Siin on eelduseks asjaolu, et parteisüsteem on enam konsolideerunud, kui ta koosneb pigem ühtsetest üksikparteidest kui ebakindlatest valimisliitudest või hiljuti liitunud parteidest, mis võivad olla veel organisatsioonilises muutumises. Seega, mida suurem on üksikutesse parteidesse kuuluv korduvkandidaatide arv, seda sidusam on partei- ja poliitiline süsteem.

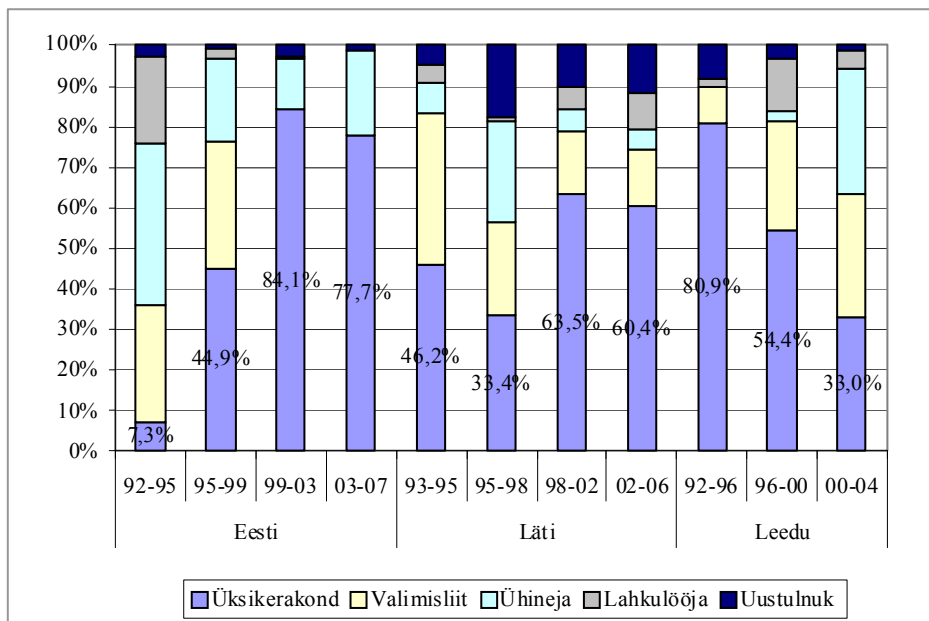
Selle indikaatori puhul erinevad kolm Balti riiki märkimisväärselt. Kui Eesti puhul on ikka veel näha suurenevat trendi, siis Leedu näitaja vastupidiselt väheneb iga valimisega ning Läti varieerub kuskil keskel. Need tulemused kin-

---

<sup>4</sup> Kõigis kolmes Balti riigis on valimisliidud olnud või on ikka veel lubatud. Sel juhul on parteidel lubatud välja tulla koondnimekirjadega ning nende hääleosa on sama. Aastal 1998 keelati sellised liidud Eestis ära. Lätis ja Leedus eksisteerisid nad edasi, kuigi neile langes tavaliselt osaks kõrgem valimiskünnis.



Joonis 1.  
Korduvkandidaatide erakondlik lojaalsus järjestikustel parlamendivalimistel Balti riikides.

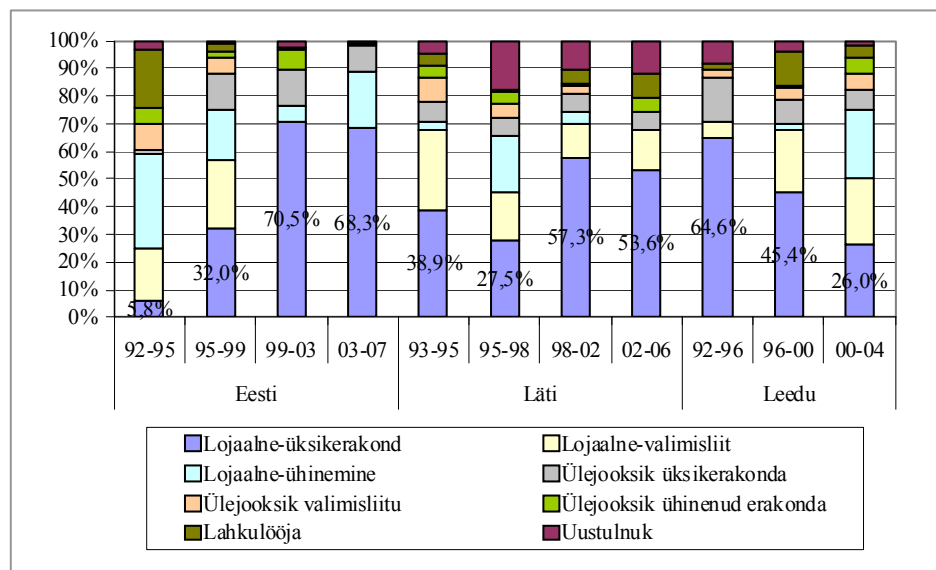


Joonis 2.  
Korduvkandidaatide kuulumine üksikerakondadesse järjestikustel parlamendivalimistel Balti riikides.

nitavad üldisi teadmisi parteide arengu kohta nendes kolmes riigis. Pärast teatud stabiilsusperioodi 1990ndate keskel hakkasid Leedu parteid vahemikus 1998–2004 mõranema ja ennast ümber seadistama. Lisaks parteivahetuste täpsele arvule ja nende valimistulemustele, näitavad need arvud ka rahutuste määra poliitilises klassis eneses.

Ning viimaks, kui kombineerida need kaks mudelit, et leida üksikparteidele lojaalsete korduvkandidaate hulka, saab tulemuseks joonise 3, mis jälgendab joonisel 2 nähtud trende. Leedu poliitiline klass on kõige vähem sidus, kuna 2004. aasta valimistel kandideeris üksnes 26% korduvkandidaatidest lojaalsete kandidaatidena üksikparteid.

Teine poliitilise sidususe mõõdik puudutab korduvkandideerimise taset poliitilistes parteides. Kas näiteks ideoloogia avaldab eristatavat mõju lojaalsuse ja eliidi konsolideerumise tasemele? Kas vahest on endised kommunistlikud parteid rohkem konsolideerunud, arvestades nende enam kinnistunud parteiorganisatsioone? Balti riikides ei paista olevat ideoloogiliste mõjude olulisi jooni või isegi lahknevust endiste kommunistlike ja mittekommunistlike parteide vahel. Üksnes Leedus poolakate vähemusrahvust esindava Poolakate Valimisaktiooni puhul on näha tugevat koospüsivuse määra (65,5%). Mõned Läti parteid (nagu näiteks Rahvapartei ning Roheliste ja Talumeeste Liit) püsivad 50% kandis.



Joonis 3. Korduvkandidaatide lojaalne kuulumine üksikerakondadesse järjestikustel parlamendivalimistel Balti riikides.



Kolmas poliitilise sidususe mõõdik puudutab valimisnimekirja tüüpi, millega uued kandidaadid liituvad. Seal, kus parteisüsteem püsib liitumiste, valimisliitude, lõhustumiste või uute parteide tagajärjel muutustes, võivad uued kandidaadid olla tõmmatud just seda tüüpi formatsioonide poole, kuna nad umbsaldavad olemasolevaid üksikparteid. Kus aga uued kandidaadid kalduvad liituma olemasolevate parteidega, võib seda võtta kui täiendavat märki poliitilise klassi suuremast konsolideerumisest.

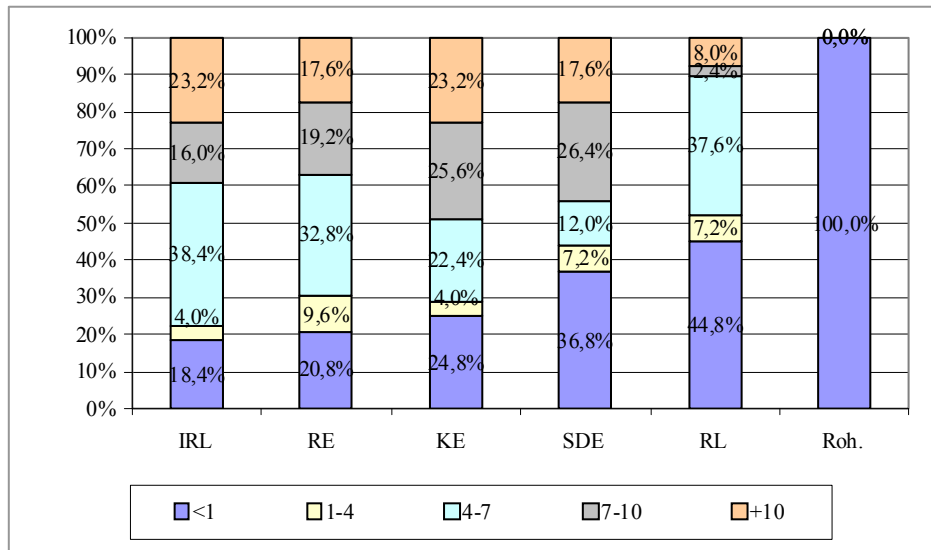
Joonisel 2 oli juba näha määra, mil uued ja lõhustumise tagajärjel tekkinud parteid on Lätis ja Leedus ligi tõmmanud korduvkandidaate. Uute kandidaatide seas oli see osakaal aga veel kõrgem. Näiteks Lätis liitus 1998. aasta valimiste ajal 17,9% korduvkandidaatidest uue parteiga, samas kui uutest kandidaatidest tegi seda tervelt 39%. Sellised ebaproportsionaalsed trendid uute parteide suunas esmakordsete kandidaatide hulgas näitavad poliitilise klassi madalamat sidususe taset.

Neljas ning viimane poliitilise sidususe indikaator puudutab valimisnimekirjas olevate kandidaatide liikmelisusega seotud staažikust. Kas kohad nimekirjas loovutatakse peamiselt partei pikaajalistele liikmetele või värbab partei uusi liikmeid kuulsate isikute seast selleks, et valijaskonna seas hääli võita? Kahjuks on ainult Eestis poliitiliste parteide liikmete nimekirjad avalikult kättesaadavad. Alates 2002. aastast peavad parteid Justiitsministeeriumile esitama liikmete uuendatud nimekirjad, kaasa arvatud iga isiku nimi, sünnikuupäev ja parteiga liitumise kuupäev. Need andmed võimaldavad kandidaatide ja nende parteiliikmelisuse vastastikust võrdlust. Joonisel 4 on näha, et 2007. aastal oli Keskerakonnal ning Isamaa ja Res Publica Liidul kõige kõrgem enam kui 10 aastat liikmeks olnud kandidaatide osakaal. Üldiselt oli staažikuse keskmine tase nendes nimekirjades vastavalt 6,7 ja 6,8 aastat. Reformierakonnal ja Sotsiaaldemokraatidel oli keskmiseks staažikuseks 5,9 aastat, samas kui Rahvaliid oli maas 3,7 aastaga. Viimane arv näitab selgelt, et Rahvaliidul oli palju kitsam kandidaatide baas. Samas kui tuua võrdlusesse sisse parteide valimisnimekirjad aastast 2003, kasvas keskmine riiklik staažikuse tase terve aasta võrra 3,8-lt 4,9-le aastale. Samuti tegi Keskerakond läbi märgatavama kasvu, tõustes tervelt kahe aasta võrra oma 2003. aasta tasemelt, milleks oli 4,7 aastat.<sup>5</sup> Uute parteide puhul, nagu näiteks Rohelised, on kõik kandidaadid uued, kuna partei loodi alles aastal 2006.

Sellest analüüsist esile kerkivad arengujooned näitavad, et poliitiline klass on Eestis mõnevõrra enam konsolideerunud kui ülejäänud kahes Balti riigis. Seda näitavad korduvkandidaatide kõrgemad määrad (poliitilise kogemuse kõrgemad määrad) ja kõrge lojaalsus üksikparteid (poliitilise sidususe kõrgemad määrad).

---

<sup>5</sup> 2003. aasta valimiste osas vt täiendavalt [Pettai, Kübarsepp, 2003].



Joonis 4.  
Kandidaatide parteiline staaž 2007. a Riigikogu valimistel.

#### PARLAMENTAARSED ROLLID

Poliitilisi eliite ning iseäranis parlamendisaadikuid puudutavates uuringutes on eksisteerinud pikaajaline lõhe, mis puudutab seda, kuidas poliitikud tajuvad oma esindusrolli demokraatias [Alpert, 1979; Wessels, 1999; Thomassen, Andeweg, 2004; Andeweg, Thomassen, 2005; Thomassen, Esaiasson, 2006]. Kas nende esmased kohustused on seotud rahvusliku huviga või peaksid nad täitma ühiskonnas eksisteerivate spetsiifiliste huvide või gruppide esindamise konkreetsemat funktsiooni? Esimene nendest rollidest rõhutab avaliku hüve põhimõtet, samas kui teine keskendub otseselt rahva teenimisele. Seega võib võtta nende rollide arengu määra poliitilises süsteemis ka üldise poliitilise arengu indikaatorina.

Kõige sagedamini mõõdetakse neid rolle, kasutades spetsiifilisi parlamendisaadikutele esitatud küsimustikke. Küsimused hindavad nende rollide nii suhtumuslikke kui ka käitumuslikke aspekte. See tähendab, et küsimused puudutavad ühelt poolt seda, millised on saadikute uskumused vastavate rollide osas, ning teiselt poolt seda, millised on nende konkreetsed tegemised parlamendisaadikutena.

Järgnevalt on toodud mõned näited:

SUHTUMINE\*

RAHVUSLIKULE HUVILE ORIENTEERITUD

Igasuguste valijate või huvigruppide personaalne abistamine muudab saadiku

liiga partikularistlikuks ning see raskendab riiklikult oluliste seaduste vastuvõtmist.

Parlamendi liikmed kulutavad liiga palju aega oma valijate huvide eest seisemiseks, jättes seeläbi hooletusse riiklikud huvid ja probleemid.

Parlamendi liikmed on valitud pigem riiklike huvide teenimiseks kui oma valijate probleemide lahendamiseks.

ÜKSIKVALIJALE VÕI HUVIGRUIPILE ORIENTEERITUD:

Valijate probleemide lahendamine on üks kõige tänuväärsemaid osasid saadikutööst.

See parlamendi liige, kes kannab aktiivselt hoolt oma valijate huvide eest, võib parandada oma väljavaateid saada uuesti valituks.

Mõned poliitikud arvavad, et abi pakkumine üksikvalijatele parandab nende väljavaateid valimistel.

\*Nõustumine/mitte nõustumine väitega

#### KÄITUMINE

Kui mitu korda kuus Te käite inimestega kohtumas oma ringkonnas?

Kui sageli keskmiselt kuu jooksul palub mõni Teie ringkonna reavalija sekku-  
da tema nimel mõne valitsusasutuse tegevusse, et lahendada tema probleeme?

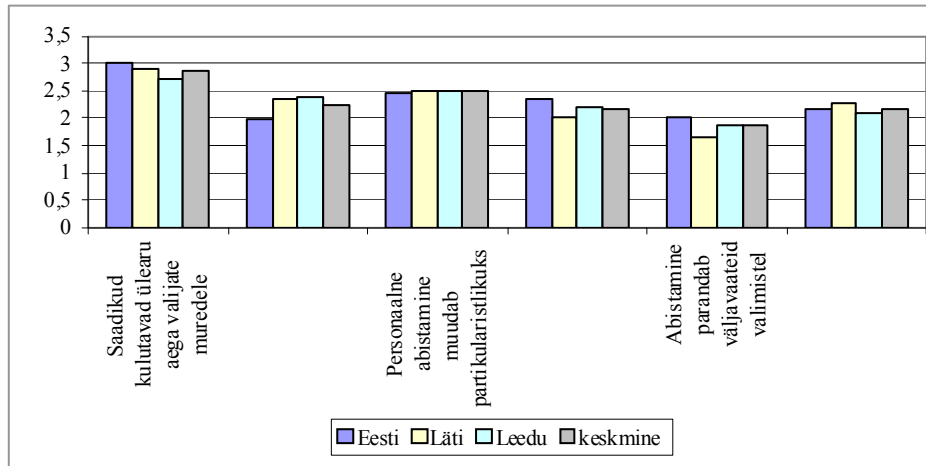
Kui sageli Te need palved tegelikult täidate?

Balti parlamendisaadikuid puudutavas uuringus, mille viis läbi artikli autor koos kaastöötajatega 2000. aastal [Pettai, 2005], kerkisid need lahkuminevad rollid üsna selgelt esile. Vastavad kolm küsimust igas huvideorientatsiooni blokis korreleerusid kõik omavahel statistiliselt olulisel määral. Lisaks, kui küsimus ühest blokidest panna paari küsimusega teistest blokkidest, oli nendevaheline suhe taas kord statistiliselt oluline ning õigesuunaline. (Näiteks saadik, kes leidis, et valijate probleemide lahendamine on üks kõige tänuväärsemaid osasid tema tööst, kippus sama kindlalt eitama väidet, et parlamendi liikmed on valitud pigem riiklike huvide teenimiseks kui oma valijate probleemide lahendamiseks.) Vastandina uustulnukatele võis rahvasaadikute seas, kes täitsid oma kolmandat ametiaega parlamendis, märgata huvitavat ehkki vaid kergelt nihet riiklikult orienteeritud huvide poole.

Balti riikide lõikes eksisteerib siiski üksnes piiratud variatsioone. Joonisel 5 on näha, et Balti riikide rahvasaadikud on üldiselt natuke enam kaldunud üksikute valijate huvide poole, kuna seda puudutavate küsimuste mediaanväärtused olid madalamad, mis näitab suuremat nõustumist vastavate väidetega. Samuti eksisteerib märke selle kohta, et parlamendiliikmed Lätis on mõnevõrra partikularistlikumad kui nende kolleegid teistes Balti riikides. Kuid üldiselt ei ole need erinevused märkimisväärsed.

Suhtumist ja käitumist kokku pannes on näha, et koondatud tasandil kipuvad need Balti riikide rahvasaadikud, kes uskusid tugevalt valijate teenimisse, ka tihedamini reisima oma valimispiirkonda, saama rohkem palveid valijate poolt

ja tõenäolisemalt reageerima nende palvetele (tabel 2). Samas, kui need andmed eraldada riikide kaupa, kaob enamus nendest seostest, mis viitab sellele, et riikide siseselt on seos rollide tajumise ja käitumise vahel ikka veel mitte veenev.



Joonis 5.  
Parlamendisaadikute nägemused oma rollist.

Tabel 2  
Seosed parlamendisaadikute rollinägemuse ning tegevuse vahel

Rollinägemus \ Tegevus	Ringkonna küllastamise sagedus	Abipalvete arv valijatel	Abipalvete täitmise sagedus
Saadikud kulutavad ülearu aega valijate muredele	0,190**	-0,082	-0,147*
Saadikud valitud riiklike huvide teenimiseks	-0,123	0,177**	-0,136*
Personaalne abistamine muudab partikularistlikuks	0,116	0,077	-0,186**
Valijate probleemide lahendamise tänuväärse-maid osi tööst	-0,130*	-0,202**	0,142*
Abistamine parandab välja vaateid valimistel	0,084	-0,11	-0,01
Abi pakkumine üksikvalijatele parandab välja vaateid valimistel	0,006	-0,155*	0,01

\*P < 0,05, \*\*P < 0,01; Allikas: Pettai (2005). Baltic Parliamentarians Survey 2000.

## SEADUSANDLIK TOIMIMINE

Valitud parlamendisaadikud, olles poliitilise klassi liikmed ning omades esinduslikku rolli, peavad lisaks veel panustama oma riigi poliitilisse arengusse seadusandliku töö ja suhete kaudu täidesaatva võimuharuga [Pettai, Madise, 2006]. Taolist seadusandlikku tegevust puudutavad uuringud postkommunistlikus Euroopas on tavaliselt rõhutanud kahte hõlmavat teemat. Ühelt poolt kirjeldati varajasi demokraatlikke parlamente kui ala-institutsionaliseeritud, kuna neil oli puudu selgelt defineeritud protseduurireeglitest, vajalikest tugistruktuuridest ning enamikel juhtudest ka parteipoliitilisest stabiilsusest [Remington, 1994; Olson, Norton, 1996; Agh, 1997, Olson, 1997; Ostrow, 2000; Kraatz, Steinsdorff, 2002; Kopecky, 2003]. Samas täheldasid uurijad, et need-samad nõrkused olid pigem omased täidesaatvale võimuharule, eriti kui täidesaatvad otsustusprotsessid olid jaotunud presidendi ja valitsuskabineti vahel [Blondel, Müller-Rommel, 2001; Evants, Evants, 2001; Goetz, 2001; Goetz, Wollman, 2001]. Paradoksaalseks tulemuseks oli see, et kuigi parlamendid ei olnud ilmtingimata oma tegevuses organiseerunud, võis neid ikkagi kirjeldada “tugevatena” (või “üle-parlamentariseerunutena”) sel määral, mil üksiksaadikutel olid suured võimalused mängida autonoomset rolli parlamendi tegevuses [Olson, 2002]. Loomulikult nähti seda tihti korratusena või isegi täidesaatva võimu usurpeerimisena [Agh, 1995]. Siiski oli see hilisemas retrospektiivis parlamentaarse tugevuse haripunkt.

Demokraatia konsolideerudes ja parlamentide stabiliseerudes selles regioonis suunasid uurijad oma võrdlusmomendi Lääne-Euroopa seadusandlikku ja parlamentaarset tegevust puudutavasse tohtusse kirjandushulka [Döring, 1995; Burns, 1999; Döring, Hallerberg, 2004]. See kirjandus on rõhutanud täidesaatva võimuharu kasvavat domineerimist poliitikate väljatöötamises ja seadusandlikus poliitikas, mõõdetuna üldise seadusandliku väljundi taseme, täidesaatva võimuharu poolt toetatud seadusandlike ettepanekute edu määra ja parlamendi mitte-seadusandliku tegevuse (nagu näiteks arupärimised) taseme kasvu kaudu. Ka nendes kategooriates on postkommunistlikud parlamendid hakanud näitama “küpsemise” märke [Mansfeldova jt, 2004].

Balti riike puudutavate andmete puhul on näha, et need riigid jagunevad kahte selgelt eristuvasse gruppi. Ühelt poolt näitavad Eesti ja Läti väga tavapäraselt arengujoont, kus valitsus domineerib seadusandlikus initsiatiivis, millele järgnevad üksiksaadikud ning siis kas parlamendifraktsioonid või -komisjonid (tabelid 3 ja 4). Tõepoolest, vastav vahekord on mõlemal juhul 1990ndate aastate jooksul isegi enam kinnistunud – valitsus algatas ligikaudu 60% kõigist seaduseelnõudest kummaski riigis. Eestis olid üksiksaadikud esimese iseseisvusjärgse parlamendi ajal aastatel 1992–1995 suhteliselt aktiivsed seaduseelnõude toetajad, osaledes kolmandiku esitatud seaduseelnõude ettevalmistamisel. See oli seotud eelmainitud “üle-parlamentariseerituse” nähtusega. Aja jooksul on siiski parteidistsipliin tugevnenud ja üksiksaadikute aktiivsust on ohjeldatud.

Tabel 3

Algatatud seaduseelnõud Eesti Riigikogus 1992–2003, N (%)

	7. Riigikogu (1992–1995)	8. Riigikogu (1995–1999)	9. Riigikogu (1999–2003)
Alaline komisjon	74 (10,0)	88 (8,7)	106 (9,5)
Üksiksaadik	245 (33,2)	218 (21,6)	229 (20,5)
Valitsus	345 (46,8)	513 (50,9)	646 (57,8)
Fraktsioon	52 (7,1)	189 (18,8)	137 (12,3)
Juhatus	21 (2,8)	0 (0,0)	0 (0,0)
Kokku	737 (100,0)	1008 (100,0)	1118 (100,0)

Allikas: Madise jt (2004).

Tabel 4

Algatatud seaduseelnõud Läti Seimis 1993–2002, N (%)

	5. Seim (1993–1995)	6. Seim (1995–1998)	7. Seim (1998–2002)
Alaline komisjon	170 (20,3)	243 (18,1)	198 (13,7)
Üksiksaadik	182 (21,7)	367 (27,4)	305 (21,2)
Valitsus	471 (56,1)	717 (53,5)	935 (64,8)
President	8 (1,0)	4 (0,3)	2 (0,1)
Muu	8 (1,0)	8 (0,6)	2 (0,1)
Kokku	839 (100,0)	1339 (100,0)	1442 (100,0)

Allikas: Saeimas likumprojektu reģistrs.

Samuti on Eestis ja Lätis komisjonid olnud seadusandliku initsiatiivi osas teisejärgulised tegutsejad. Lätis kahanes see roll 1990ndate aastate jooksul. Komisjonide peamiseks rolliks on olnud algatada kompromiss-seadusandlust, kui nendeni on jõudnud mitmed alternatiivsed ettepanekud ning teatud lepitamine on tarvilik. Lisaks on Lätis komisjonide eesmärgiks olnud tegelikkuses mõnikord vaid valitsuse või üksikute ministriumide poolt välja töötatud tekstid, mida nad eelistavad esitada komisjonide kaudu selleks, et vältida liiga põhjalikku uurimist või pikaldast kooskõlastusprotsessi valitsuses.

Leedu asub eraldi grupis, kuna sealne seadusandlik tegevus on osalt kujundatud valitsuse poolt, kuid samal, kui isegi mitte suuremal määral üksikute parlamendisaadikute poolt. Ühest küljest on see seadusandlikku algatust puudutavate reeglite tagajärg. Kuna Leedus ei saa parlamendikomisjonid ega -fraktsioonid esitada eelnõusid, on loomulik, et terve seadusandliku kogu poolne tegevus on koondunud saadikute kätte. Samas näitab asjaolu, et valitsusepoolsed

eelnõud moodustasid üksnes 40% eelnõude koguarvust viimase seadusandliku perioodi jooksul seda, et poliitikud ja poliitika on selgelt suunatud erinevaid teid pidi. Kuigi eksisteerib ka hübriidkategorია “president ja valitsus”, on need eelnõud tavaliselt rahvusvahelised lepingud, mis on esitatud ratifitseerimiseks.

Tabel 5  
Algatatud seaduseelnõud Leedu Seimis 1992–2004, N (%)

	8. Seim (1996–2000)	9. Seim (2000–2004)
President	24 (1,0)	44 (1,4)
President ja Valitsus	225 (9,6)	279 (8,9)
Valitsus	1067 (45,6)	1257 (40,0)
Üksiksaadik	1020 (43,6)	1557 (49,5)
Kodanikud	2 (0,1)	6 (0,2)
Kokku	2338 (100,0)	3143 (100,0)

Allikas: Seimo darbo rodiklių palyginimas, 1996–2000 ir 2000–2004 metų kadencijų.

Kolme riigi võrdlus pöördub tagasi homogeensema pildi poole, kui suunata tähelepanu seadusandluse edu määradele (tabelid 6–8). Kõigis kolmes riigis on valitsus üldiselt esirinnas, omades keskmiselt 76%-st tõenäosust oma eelnõude saamisel seadusteks. Eestis oli see protsent kõige kõrgem – ligi 86%. Lätis oli valitsuse positsioon ebakindlam, eriti 1990ndate alguses, mil vähem kui 50% valitsuse algatatud eelnõudest läks läbi. Nagu kõikide taoliste statistikate puhul, ei avalda koondarvud siiski juhtumeid, mil ebaõnnestunud eelnõud lihtsalt liideti teiste ettepanekutega või võeti menetlusest tagasi. Need proportsioonid varieeruvad riikide ning seadusandlike perioodide kaupa.

Teiseks edukaks seadusandlikuks tegutsejaks on parlamendikomisjonid, vaatamata madalale eelnõude arvule. Selles osas on ilme, et kui komisjon võtab ette teatud küsimuse seaduseks muutmise, on tal tavaliselt juba olemas vajalik poliitiline toetus ja kontroll, et see ettevõtmine lõpule viia. Kontrastina näitab teine kollektiivne toetaja – parlamendifraktsioonid – Eestis väga madalat edu määra. Nende eelnõud paistavad olevat peamiselt poliitiline reklaam või opositsiooni alternatiivid.

Üksiksaadikute eelnõud paistavad silma üllatavalt varieeruva edukuse tõenäosusega kõigis kolmes riigis. Lätis on see langenud ligi poole võrra, vaid 19%-le, samas kui Eestis on see tõusnud üle 40% taseme. Läti puhul paistab seletuseks olevat, et aja jooksul on üha vähem koalitsiooni kuuluvaid saadikuid poliitilisest pealiinist kõrvale kaldunud ning üksikeelnõusid esitanud. See on

Tabel 6

Seaduseelnõude läbimineku tõenäosus Eesti Riigikogus 1992–2003, N (%)

	7. Riigikogu (1992–1995)	8. Riigikogu (1995–1999)	9. Riigikogu (1999–2003)
Alaline komisjon	52 (70,3)	69 (78,4)	96 (90,6)
Üksiksaadik	79 (32,2)	91 (41,7)	94 (41,0)
Valitsus	285 (82,6)	435 (84,8)	555 (85,9)
Fraktsioon	8 (15,4)	60 (31,7)	41 (29,9)
Juhatus	18 (85,7)*	0 (0,0)	0 (0,0)
Kokku	442 (60,0)	655 (65,0)	786 (70,3)

Allikas: Madise jt (2004).

Tabel 7

Seaduseelnõude läbimineku tõenäosus Läti Seimis 1993–2002, N (%)

	5. Seim (1993–1995)	6. Seim (1995–1998)	7. Seim (1998–2002)
Alaline komisjon	106 (62,4)	160 (65,8)	148 (74,7)
Üksiksaadik	65 (35,7)	57 (15,5)	58 (19,0)
Valitsus	225 (47,8)	463 (64,6)	705 (75,4)
President	4 (50,0)	1 (25,0)	1 (50,0)
Muu	4 (50,0)	5 (62,5)	1 (50,0)
Kokku	404 (48,2)	686 (51,2)	913 (63,3)

Allikas: Saeimas likumprojektu reģistrs.

Tabel 8

Seaduseelnõude läbimineku tõenäosus Leedu Seimis 1992–2004, N (%)

	8. Seim (1996–2000)	9. Seim (2000–2004)
President	15 (62,5)	22 (50,0)
President ja Valitsus	204 (90,7)	270 (96,8)
Valitsus	908 (85,1)	1033 (82,2)
Üksiksaadik	558 (54,7)	570 (36,6)
Kodanikud	0 (0,0)	1 (16,7)
Kokku	1685 (72,1)	1896 (60,3)

Allikas: Seimo darbo rodiklių palyginimas, 1996–2000 ir 2000–2004 metų kadencijų.



jätnud vastava kategooria üha enam opositsioonile, kelle ettepanekud lükatakse koalitsiooni poolt reeglina tagasi. See toimus eriti 6. Seimi ajal, kui marginaalsed opositsiooniparteid, nagu näiteks "Läti Eest!" (juhtis Saksa-Läti päritoluga Joachim Siegerist), esitasid sageli eelnõusid üksnes selleks, et endale tähelepanu tõmmata. Sajast eelnõust, millest enamust toetasid viimatimainitud parteisse kuuluvad saadikud, sai ainult üks seaduseks. Eestis on olnud üksiksaadikute eelnõud kõrgema edu määraga osalt selle tõttu, et suhteliselt suurem osa koalitsiooni saadikutest on toetanud asjakohast seadusandlust ning opositsiooni ettepanekuid on sagedamini enamuse poolt omaks võetud.

Leedu parlamendisaadikute üllatav roll seadusandluse toetamisel kajastub üksnes osaliselt nende edu määras. Õigupoolest on see määr 8. ja 9. Seimi koosseise võrreldes üsna märgatavalt langenud, näidates seda, et üha enam üksiksaadikute eelnõusid on vahest vaid kergemeelsed ettepanekud. Üldiselt on valdav enamus üksiksaadikute ettepanekutest muudatuseelnõud, mille parlamendiliikmed koostavad omal käel või lobigruppide vahendusel. Saadikutele ei ole võimaldatud ulatuslikku personaalset toetavat meeskonda. Selle asemel peavad nad toetuma parlamendifraktsioonide või vastavate parlamendikomisjonide heaks töötavatele assistentidele. Kõigis kolmes parlamendis eksisteerivad ka õigusliku nõustamise bürood, abistamaks saadikuid tehniliste küsimuste lahendamisel. Seega lükatakse seadusandlikud ettepanekud harva tagasi üksnes juriidilis-tehnilistel põhjustel, pigem kipuvad nad läbi kukkuma poliitilistel põhjustel.

Kokkuvõttes näitab seadusandlik toimimine kui poliitilise arengu mõõdik Balti riikides trendi, mida on olnud märgata ka kahe teise indikaatori puhul, st konsolideerumise tase läheneb sellele, mida on märgata Läänes, kuigi teatud omadused püsivad. Üldiselt eksisteerib suurenev täidesaatva võimu domineerimine seadusandliku päevakorra määramisel, kuid üksiksaadikud Leedus on säilitanud tähtsa kiilu, olles valitsuse kõrval teiseks peamiseks eelnõude toetajaks, samas kui Lätis hoiab valitsus üllatavalt kõrget eelnõude edukuse taset, vaatamata peaaegu kroonilisele valitsuskabineti ebastabiilsusele. Eesti puhul on taas kord iseloomulikuks jooneks arengu kõige stabiilsem vorm.

## KOKKUVÕTE

Seletamaks mõningaid erinevusi Balti riikide poliitilises arengus, tasub pöörata pilk poliitiliste institutsioonide (nii konstitutsiooniliste kui protseduuriliste) rolli poole. On üldiselt teada, et kolm riiki erinevad oma konstitutsionaalse režiimi poolest: Eestis ja Lätis on põhiliselt parlamentaarsed režiimid, Leedu on aga pool-presidentaalne. Kui Eestis ja Lätis on valimissüsteemid, mis keskenduvad parteide kandidaatide nimekirjadele, siis Leedus on segasüsteem, mis hõlmab nii parteide valimisnimekirju kui ka ühemandaadilisi valimisringkondi. Ka parteiseadustikud on kõigis kolmes riigis erinevad. Lätis võib asutada partei kõigest 200 liikmega, samas kui Eestis on nõudeks 1000 liiget. Par-

teide rahastamine on samuti erinev, kuna Eesti pakub parteidele heldet avalikku rahastamist, Leedu vaid piiratud toetust ning Läti üldse mitte. Mil määral mõjutavad kõik need reeglid poliitilist arengut?

Vastavas kirjanduses ollakse seisukohal, et presidendivalimised ja ühemandaadilised valimisringkonnad aitavad kaasa poliitiliste parteide konsolideerumisele, kuna nad koondavad tähelepanu ühele "auhinnale" ning seega soodustavad parteidevahelist koostööd. Leedu pool-presidentaalne süsteem ja asjaolu, et pool Seimist on valitud ühemandaadiliste ringkondade kaudu, vihjaks justkui konsolideerunumale parteisüsteemile ja poliitilisele klassile. Siiski, nagu eelnevast oli näha, on Leedu poliitiline klass viimaste aastate jooksul pigem vähem ühtseks muutunud. Vastupidiselt on aga Eesti näidanud suuremat ühtsust nii selles osas, mis puudutab korduvkandidaatide lojaalsust, kui ka selles osas, mis puudutab üksikparteide esilekerkimist.

Selle edu taga olev saladus on kõige tõenäolisemalt seotud erinevustega parteisid puudutavas seadusandluses. Nii registreerimiseks vaja olev kõrge liikmete arv kui ka parteide lahke riigipoole rahastamine tähendab seda, et Balti riikide hulgas on Eesti hakanud kõige enam sarnanema kartellistunud parteisüsteemiga. Lähtuvalt selle kontseptsiooni taga olevatest peamistest autoritest [Katz, Mair, 1995; Van Biezen, 2005] on parteidel sellises süsteemis võimalik kujundada valimisseadustikku ja parteiregulatsioone, muutmaks süsteemi sisenemise uustulnukate jaoks raskeks. See seletaks mitte üksnes seda, miks Eestis on olnud suhteliselt vähe uusi parteisid, vaid ka seda, miks poliitilise klassi olemasolevad liikmed on üldiselt oma algsetele parteidele lojaalsed.

Nagu eelnevalt sai välja toodud, on kolme Balti riigi lõikes seadusandlike rollide osas vähem varieeruvust. Selle valguses on võimalik näha, kuidas enam konsolideerunud parteisüsteem tähendab, et seadusandjad võivad rohkem keskenduda parteitruudusele kui oma poliitilise baasi teenimisele (näiteks valijate huvidele aktiivse tähelepanu pööramise abil). Pealegi tähendavad tugevad parteid jõulisemat parteilist valitsust, eriti parlamentaarsetes süsteemides. Siit siis tulemus, et kõigis kolmes riigis on poliitika kujundamisel seadusandluslikus tegevuses jämeda otsa enda kätte võtnud just valitsus.

## KIRJANDUS

Agh, A. (1995). The experiences of the first democratic parliaments in East Central Europe. *Comm. Post-Comm. Studies*, 28, 2, 203-214.

Agh, A. (1997). Parliaments as policy-making bodies in East Central Europe: the case of Hungary. *Int. Pol. Sci. Rev.*, 18, 4, 417-432.

Alpert, E. J. (1979). A reconceptualization of representational role theory. *Legislat. Stud. Quart.*, 4, 587-603.

Andeweg, R. B., Thomassen, J. J. A. (2005). Modes of political representation: toward a new typology. *Legislat. Stud. Quart.*, 30, 4, 507-528.

- Best, H. (2003). Elite continuity and elite circulation after system disruption: the East German case in comparative perspective. Best, H., Edinger, M. (eds.). *Representative Elites in Post-Communist Settings*. Jena, 18-25.
- Blondel, J., Müller-Rommel, F. (eds.). (2001). *Cabinets in Eastern Europe*. London, Palgrave.
- Burns, T. R. (1999). The evolution of parliaments and societies in Europe challenges and prospects. *Eur. J. Soc. Theory*, 2, 2, 167-194.
- Döring, H. (ed.). (1995). *Parliaments and Majority Rule in Western Europe*. New York, St. Martin's Press.
- Döring, H., Hallerberg, M. (2004). *Patterns of parliamentary behavior: passage of legislation across Western Europe*. Aldershot, England, Ashgate.
- Evans, A., Evans, G. (2001). Improving government decision-making systems in Lithuania and Latvia. *J. Eur. Publ. Pol.*, 8, 6, 933-959.
- Goetz, K. H. (2001). Making sense of post-communist central administration: modernization, Europeanization or Latinization? *J. Eur. Publ. Pol.*, 8, 6, 1032-1051.
- Goetz, K. H., Wollman, H. (2001). Governmentalizing central executives in post-communist Europe: a four-country comparison. *J. Eur. Publ. Pol.*, 8, 6, 864-887.
- Katz, R. S., Mair, P. (1995). Changing models of party organization and party democracy: the emergence of the cartel party. *Party Politics*, 1, 1, 5-28.
- Kopecky, P. (2003). Structures of representation: the new parliaments of Central and Eastern Europe. White, S. K., Batt, J., Lewis, P. G. *Developments in Central and East European Politics 3*. London, Palgrave, 133-152.
- Kraatz, S., Steinsdorff, S. v. (eds.). (2002). *Parlamente und Systemtransformation im postsozialistischen Europa*. Opladen, Leske & Budrich.
- Madise, Ü., Runthal, T., Sauks, H. (2004). Õigusloome. Mõttus, A. (toim.). *Riigikogu VII, VIII, XI koosseis: Statistikat ja kommentaare*. Tallinn, Riigikogu Kantselei, Eesti Rahvusraamatukogu, 163-182.
- Mansfeldova, Z., Olson, D. M., Rakušanová, P. (eds.). (2004). *Central European Parliaments: First Decade of Democratic Experience and Future Prospects*. Prague, Institute of Sociology, Academy of Sciences.
- Olson, D. M. (2002). The centrality of post-communist parliaments of Central Europe in democratic system transition and consolidation. Kraatz, S., Steinsdorff, S. v. *Parlamente und Systemtransformation im postsozialistischen Europa*. Opladen, Leske & Budrich, 17-27.
- Olson, D. M. (1997). Paradoxes of institutional development: the new democratic parliaments of Central Europe. *Int. Pol. Sci. Rev.*, 18, 4, 401-416.

- Olson, D. M., Norton, P. (eds.). (1996). *The New Parliaments of Central and Eastern Europe*. London, Frank Cass.
- Ostrow, J. M. (2000). *Comparing Post-Soviet Legislatures: A Theory of Institutional Design and Political Conflict*. Columbus, Ohio State University Press.
- Pettai, V. (2005). Assessing institutional determinants of MP behavior: survey data from the Baltic States. *Czech Sociol. Rev.*, 41, 3, 461-486.
- Pettai, V., Kübarsepp, K. (2003). Erakondade nimekirjad: valimistoodete võrdlev analüüs. Toomla, R. *Riigikogu valimised 2003: kas muutuste lävel?* Tartu, Tartu Ülikooli kirjastus, 123-140.
- Pettai, V., Madise, Ü. (2006). The Baltic Parliaments: legislative performance from independence to EU accession. *J. Legisl. Stud.*, 12, 3-4, 291-310.
- Remington, T. (ed.). (1994). *Parliaments in Transition: The New Legislative Politics in the Former USSR and Eastern Europe*. Boulder, Westview.
- Shabad, G., Slomczynski, K. (2002). The emergence of career politicians in post-communist democracies: Poland and the Czech Republic. *Legislat. Stud. Quart.*, 27, 3, 333-358.
- Thomassen, J. J. A., Andeweg, R. B. (2004). Beyond collective representation: individual members of parliament and interest representation in the Netherlands. *J. Legisl. Stud.*, 10, 4, 47-69.
- Thomassen, J. J. A., Esaiasson, P. (2006). Role orientations of members of parliament. *Acta Politica*, 41, 2, 217-231.
- Van Biezen, I. (2005). On the theory and practice of party formation and adaptation in new democracies. *Eur. J. Pol. Res.*, 44, 2, 147-174.
- Wessels, B. (1999). Whom to represent? Role orientations of legislators in Europe. Schmitt, H., Thomassen, J. J. A. (eds.). *Political Representation and Legitimacy in the European Union*. Oxford, Oxford University Press, 209-234.

*Teaduspreemia humanitaarteaduste alal uurimuste tsükli  
“Ida mõtteloo humanistlikud baastekstid globaliseeruva  
tsivilisatsiooni kontekstis” eest*



*Linnart Mäll*

Sündinud 07.06.1938 Tallinnas

1956 Haapsalu I Keskkool

1962 Tartu Ülikool, ajalugu

1985 ajalookandidaat allikaõpetuse ja historiograafia alal, NSVL TA Orientalistika Instituut

1964–1965 stažöör NSVL TA Orientalistika Instituudis

Alates 1966 Tartu Ülikoolis aspirant, vanemõpetaja, insener, laborijuhataja, vanemteadur, orientalistikakeskuse juhataja, erakorraline vanemteadur

1990–1992 Eesti Kongressi ja Eesti Komitee liige

1991–1992 Põhiseaduse Assamblee liige

1991–1993 Esindamata Rahvaste Organisatsiooni esimees

1988 riiklik kirjanduspreemia Konfutsiuse “Vesteid ja vestlusi” tõlkimise ja kommenteerimise eest

2001 Valgetähe IV klassi teenetemärk

2006 Riigivapi IV klassi teenetemärk

2003 TÜ väike medal

1996 ja 2001 Esindamata Rahvaste Organisatsiooni medal

Avaldanud üle 120 teaduspublikatsiooni.

Aja kulgemisel ilmnevaid nihkeid ühiskonnas ehk ajalugu saab kirjeldada ja seletada mitmest vaatenurgast. Eelkõige oleneb nende valik sellest, milliseid nähtusi ja tendentse kirjeldaja või seletaja peab ajaloo suunda määravateks või isegi liikumapanevateks jõududeks. Nendeks on peetud näiteks muutuseid tootmis- ja vahendustegevuses ehk teisisõnu majanduselus või siis sündmuseid riikide sees ja vahel (näiteks diplomaatias või sõjatandritel) ehk teisiti öeldes poliitikas. Nendeks on peetud ka mütoloogiliste, religioossete, filosoofiliste, kunstiliste ja ideoloogiliste kujutluste teisenemisi, uuenemisi ja hääbumisi ehk muutuseid vaimuvallas ja veel mõndagi muud. Siinsete ridade kirjutaja peab viimase paari aastatuhande ajalookulu suurimateks mõjutajateks humanistlikke baastekste.

#### MILLAL KUJUNESID HUMANISTLIKUD BAASTEKSTID?

Hoolimata suurest mõjust ei ole humanistlikke baastekste palju. Neid loodi või need ilmusid või tekkisid või kujunesid (mitme sõna kasutamine eespool viitab tekstide tekkeprotsessi komplitseeritusele; edaspidi on kasutatud vaid üht: ‘kujunema’) Vana Maailma mitmes piirkonnas kindlal ajalooperioodil. Seda iseloomustab juba palju varem tekkima hakanud, kuid pikaks ajaks teadvusta-

mata jäänud uue ühiskondliku mõõtme selge väljajoonistumine, mida tollal tähistati erinevates kohtades erinevate sõnadega, kuid mida praegu võib kõige üldsõnalisemalt nimetada kultuuriks.

Ilmselt hakati samal ajal selgelt mõistma, et inimsugu on midagi rohkemat, kui vaid osa ümbritsevast loodusest, ja inimesiksus midagi enam, kui lihtsalt suguharu või hõimu või polise või riigi liige ja selle traditsioonide ning mütoloogiliste ja religioossete kujutluste kandja. Küllap ka siis hakati esmakordselt tundma isikliku olemasolu vaeva, mis kõige muu kõrval leidis väljenduse enesele ja teistele esitatud küsimustes: “Kuidas olla?”, “Milleks olla?”, “Mida teha?”, “Kuidas ennast parandada või muuta ehk kuidas teiseks või uueks saada?”. Need küsimused kõik eeldavad kohuse- ja vastutustunde teadvustamist.

Kuigi absoluutses ajaskaalas ei lange too periood ja järelikult ka humanistlike baastekstide kujunemine regiooniti mitte päris täpselt kokku, võib siiski mõningase üldistusena väita, et see juhtus ajavahemikus VI sajand e.m.a. kuni II sajand m.a.j., kusjuures mõni tekst on lõpliku kuju saanud veelgi hiljem.

Humanistlikke baastekste hakkasin uurima enne, kui selle nimetuse peale tulin. Nendeks loeksin ma praegu järgmisi: Hiina traditsioonist Konfutsiusele omistatava “Vested ja vestlused” (*Lunyu*), India traditsioonist Bhagavadgītā ja paljud Tipitakasse (põhiliselt Suttapitakasse) kuuluvad budistlikud tekstid ning Lähis-Ida traditsioonist Matteuse, Markuse ja Luuka evangeeliumid.

Loomulikult ei ole ülalesitatud loetelu lõplik. Loomulikult ei püüa ma neid ka reastada tähtsuse järgi ega väita, et varem kirja pandud tekstid oleksid mõjutanud hiljem kujunenuid. Otse vastupidi, ma arvan, et iga teksti kujunemine oli seotud selles regioonis valitseva kindla kultuurikontekstiga.

Kindla kultuurikonteksti alla paigutaksin ma ka kindla religioosse tausta, mille järgi võib suuremal või vähemal määral aimata humanistlikes baastekstides. Enamgi veel, suures osas just tänu sellele taustale on nende tekstide põhjal tekkinud erinevaid religioosseid, filosoofilisi ja eetilisi õpetusi, milles nii mõnigi kord humanistlikud ideed kipuvad varju jääma. Veelgi enam, ka nende tekstide hilisemat teaduslikku uurimist on religioossed traditsioonid ja eriti traditsioonide mõjul tekkinud kommentaarid ja seletused olulisel määral mõjutanud.

Kahtlemata on selline lähenemine andnud hiilgavaid tulemusi ja seda eelkõige tänu suurepärasele tõlgetele, mille kaudu need tekstid mõjutavad praegugi inimkonna elu. Kuid alati on võimalus valida ka teisi teid ja kasutada muid meetodeid. Näiteks neid, mis on andnud võimaluse nimetada neid tekste humanistlikeks baastekstideks.

## MIS ON HUMANISTLIK BAASTEKST?

Järgnevalt püüan lühidalt selgitada, mida see mõiste tähendab. Sõna BAASTEKST viitab muidugi tekstile, mis on olnud aluseks uutele tekstidele, seega on

tegemist tekstiga, mis aja kulgedes on toiminud tekstigeneraatorina. Tõelisel baastekstil on võime tekitada määramatu aja vältel ükskõik kui suurel hulgal uusi tekste ja need ei pea sugugi olema fikseeritud vaid kirjalikult, nad võivad ning enamikul juhul esinevadki ka suulise kõne ja arutluse kujul või isegi mõttelise tegevusena (järelmõtlemine, mõttemõlgutus, mõtlus, meditatsioon).

Humanistlikul baastekstil on eriline suunitlus, mida väljendab sõna HUMANISTLIK. Eesti keeles on sellel võõrsõnal põhiliselt kaks vastet: INIMLIK ja INIMESELIK ehk INIMPÄRANE, mõlema tähendusskaala on aga, nagu teada, küllaltki lai ja hajuv. Sellepärast olgu täpsustavalt öeldud, et HUMANISTLIK BAASTEKST on niisugune baastekst, mida iseloomustab ühelt poolt inimese kui niisuguse (teisiseõnu, kui liigi ja kui üksikisiku) ülendamine olemasolu kesksiks ja määravaks nähtuseks, teiselt poolt aga inimestevahelises suhtluses niisuguste inimlike omaduste rõhutamine nagu väarikus, sõbralikkus, inimar-mastus, kaastunne, vägivallatus, vastutustunne, kohusetundlikkus ja aupaklik-kus.

#### HUMANISTLIKE BAASTEKSTIDE ÜHISJOONED

Kuigi iga humanistlik baastekst on kujunenud oma kindla kultuuri kontekstis, mille mõju on avaldunud selle sisus ja vormis nii suures ulatuses, et esmapilgul võib tunduda raske, kui mitte üldse võimatu neid ühise nimetaja alla viia, on sarnasusi ja ühiseid jooni selleks siiski piisavalt ning need puudutavad nii tekstide kujunemisprotsessi ja ülesehitust (A), nendes esitatud õpetusi (B) kui ka nende vahetut ja kaudset mõju (C). Esitame järgnevalt olulisemad:

A1. Humanistlikud baastekstid kujunesid küllaltki arenenud kultuurikeskkonnas, mida iseloomustab kirja ja üldaktsepteeritud ning mõnel juhul isegi ainuvalitseva religioosse ja mütoloogilise mõttemaailma olemasolu, aga ka püüd ühel või teisel viisil kinnistada ühiskondlikku hierarhiat. Samaaegselt on täheldatav ka tendents olemasolevat ümber mõtestada ning uusi ideid esitada.

A2. Nendel tekstidel on nominaalsed autorid, kellele viitavad needsamad tekstid ja nende põhjal kujunenud traditsioon. Nominaalsed autorid ise ei ole traditsiooni esmakuulutajad, vaid nende õpilased või õpilaste õpilased või veelgi kaugemad isikud. Ilmselgelt kuulusid õpetuse traditsiooni evangelistid Markus, Matteus ja Luukas, samuti Ānanda, kes budismi I suurkogul olevat ette kandnud Buddha jutlusi, millest lõpuks kujunes Suttapitaka. Bhagavadgītā autorlus on omistatud kogu Mahābhārata legendaarsele autorile Vjāsale, kuid loo enda jutustajaks on sama legendaarne Sandžaja. Samuti on üsna kindel, et *Lunyu*'d ei kirjutanud Konfutsius ise, vaid see on koostatud tema õpilaste märkmete põhjal.

A3. Need tekstid esitavad kindlat õpetust. See õpetus on pandud kindla õpetaja suhu, kellel on selle kuulutamiseks kindel missioon. Tekstides on suuremal või vähemal määral kirjeldatud ka õpetaja elusündmuseid, kuid ükski neist ei esita õpetaja täielikku elulugu.



A4. Kuigi õpetajad pidid päritolu ja haridustaseme tõttu kindlasti kirjaoskajad olema, kuulutasid nad oma õpetusi suuliselt, nii et need fikseeriti kirjalikult hiljem kas vahetute õpilaste või õpetusetraditsiooni edasikandjate poolt. Et ka pärast seda jätkus tekstide redigeerimisprotsess, siis said need lõplikult viimistletud (kanoonilise) kuju veelgi hiljem.

A5. Sellest hoolimata on kõigis humanistlikes baastekstides täheldatav kindel autoripärasus, mis puudutab nii kirjeldusi kui ka õpetuse esitamiskiisi. See ja mitmed teised humanistlike baastekstide iseärasused on ikka ja jälle tekitanud arvamusi, et õpetuse tegelikud kuulutajad on need, keda peetakse nominaalseks autoriteks või siis hoopis tundmatud isikud ja õpetaja on kas täiesti väljamõeldud või üldistatud kirjanduslik kuju.

A6. Õpetajat kirjeldatakse kui ühel või teisel moel ebatavalist isikut, kellele on omistatud erakordseid, üleloomulikke ja otse jumalikke omadusi.

A7. Ometi on humanistlikes baastekstides toonitatud ka õpetajate inimlikke jooni ja isegi nõrkusi. Kõik nad on hetketi kurvad, kui neid ei mõisteta ja tihti kahtlevad nad oma missiooni otstarbekuses. Nad ise ei pea end sugugi ainulaadseks ja teistest inimestest kõrgemaks, vaid arvavad ja otse ootavad, et teised neid järgiksid ja nendesugusteks saaksid. See puudutab eriti nende suhteid õpilastega, kellest nii mõnigi (näiteks Juudas ja Devadatta) oli veendunud, et on tasemelt õpetajast niivõrd üle, mis annab talle õiguse isegi reeta.

B1. Õpetus, mida üks või teine humanistlik baastekst esitab, on vormilt, sisult ja terminoloogiliselt seotud kindla kultuurikeskkonnaga, mille raames see kujunes. Õpetajate endi väidete kohaselt ei ole nende õpetused päris originaalsed, vaid neid on ühel või teisel viisil varemgi kuulutatud.

B2. Ometi oli kõigi humanistlike baastekstide sõnumi uudsus tegelikult sõna otseses mõttes revolutsiooniline ja mitte üksnes sellepärast, et õpetused, mida nendes kuulutatakse, olid senistest kardinaalselt erinevad, vaid osaliselt ka tänu sellele, et pinnas nende tekkimiseks oli küps. Tuleb meeles pidada, et humanistlike baastekstide kujunemise ajal oli kõrvuti samades paikades ka teisi õpetajaid ning nende õpetuste vahel võib leida sarnaseid jooni. Kõige muu kõrval selgub sellest, et ei ole vaja hakata seletama humanistlike baastekstide kujunemist välismõjude kaudu (näiteks, et Jeesus käis Indias õppimas või et ta sai oma õpetuse Jumal-Isalt). Konfutsius räägib sügava lugupidamisega Guan Zhongist. Noor Siddhārtha Gautama õppis oma aja mitme väljapaistva õpetaja juures.

B3. Nagu juba eespool öeldud, on nende õpetuste määravaimaks küljeks humanism – inimeselikkus ja inimsus. Humanistlike õpetuste põhieesmärgiks on näidata inimesele tema olemasolu mõtet ja seda, mis on tema võimalused ja ülesanded mitte üksnes füüsilises maailmas, vaid ka antud hetkel ja antud kohas valitsevas ühiskonna- ja kultuurisituatsioonis; teha inimesele selgeks, et tema kui inimsoo liige ja konkreetne isiksus (kuid mitte kui EGO) on maailmas

midagi erakordset, mille tõttu ta saab ja isegi peab täie vastutustundega toimima.

B4. Inimese kui inimsoo liikme erakordsus avaldub selles, et jumalaid ning teisi üleloomulikke olendeid ja nähtuseid ei paigutata enam ühemõtteliselt inimesest kõrgemale, vaid neid hinnatakse mitmes mõttes temaga võrdseks ja mõnel puhul isegi madalamaks. Jumal võib võtta inimese kuju, esineda inimese kujul ja inimene võib saada jumalaks. Bhagavadgītā Krišna on inimene, st ta on inimesest sündinud ja inimeseks kasvatatud. Ometi väidab ta, et on ka Jumal, kusjuures mitte lihtsalt jumal, vaid kõrgeim jumalate Jumal, kogu oleva looja, kes viibib küll maailmas, aga jääb tegelikult sellest välja. Buddha kuulutas, et ainult inimene on võimeline jõudma teadvuse kõrgeimasse seisundisse – nirvaanasse ning et jumalad seda ei suuda. Jeesus ise ei väida, et on Jumala poeg. Ta ütleb, et on Inimese Poeg (*ho hyios tou anthrōpou*), kuigi ta teod on samaväärsed Jumala tegudega.

B5. Inimese kui inimesiksuse erakordsus avaldub eelkõige selle toonitamises, et õpetust teostama on kutsutud tema kui konkreetne isik.

B6. See tähendab ka, et inimesel kui indiviidil on võimalus end parandada, end muuta, end teiseks teha. Inimene ei ole määratud jääma samaks ehk endiseks, vaid temal on voli teha valik endiseks jäämise ja uueks saamise vahel ning samuti uueks saamise erinevate võimaluste ja vahendite ehk teede vahel.

B7. Kõigis humanistlikes baastekstides on rõhk asetatud tee ehk inimese uuenemise protsessi kirjeldamisele. Tee põhjendamine on eeldanud ka algsituatsiooni analüüsi, millest inimesel paratamatult tuleb lähtuda, ning selle enam-vähem täpset formuleerimist, kuhu inimene jõuab. Juba oma esimeses jutluses räägib Buddha kannatusest ja vajadusest sellest vabaneda. Suttapitakas on vastandatud sansaara ja nirvaana, mis vastavad tee alg- ja lõpptasemetele. Kuid nii nagu budismis on üldse tavaks kasutada oluliste nähtuste kirjeldamisel erinevaid termineid, nimetatakse ka neid kahte taset mitmel erineval moel. Budistlike baastekstide tee on muidugi 'Õilis Kaheksaosaline Tee'. Konfutsiuse puhul võime teatud mõõndustega pidada algtasemeks 'lihtinimese' (*xiaoren*) taset. Teeks on enesearendamine õppimise, kommete, rituaalide ja etiketi järgimise ning teiste samasuguste vahendite abil, mille abil saadakse 'õilsaks' (*junzi*). Jeesuse õpetus, nagu see on esitatud evangeeliumides, on samuti tavalise inimese tee Jumalariiki või, nagu ta ütleb: "Saada oma taevasse Isa lasteks."

B8. Uueks saada võib põhimõtteliselt igaüks ning see ei sõltu inimese päritolust või kohast ühiskonnahierarhias, vaid eelkõige sellest, kuidas võetakse omaks Õpetus ehk teiste sõnadega – uus kultuuriparadigma.

B9. See tähendab, et inimene on humanistlike baastekstide seisukohalt kultuurikeskne: ta mitte üksnes ei sõltu kultuuri hetkeseisust ja ei ole ainult kultuuri taastootja, vaid temal on ka võime tuua ja luua kultuuri täiesti uusi nähtusi ning isegi täiesti uut kultuuritervikut, mida humanistlike baastekstide kuulu-

tajad ise on täiesti ühemõtteliselt teinud. Kultuuri mõiste kujunes muidugi Euroopa kultuurikeskkonnas ja selle tähendus on pidevalt muutunud. Kõige üldisemalt öeldes võib kultuuri defineerida kui kõike seda, mis on loodud inimese poolt ja mis vastandub loodusele. Humanistlikes baastekstides esineb termineid, mille tähendus sellega osaliselt kattub. Üks olulisemaid termineid *Lunyu*'s on *wen*, mis eelkõige tähendab kirjakultuuri ja mille paljud Euroopa ja Ameerika sinoloogid ongi tõlkinud 'kultuuriks'. Ma pean sellist tõlkevastet asjakohaseks, kuigi kultuuri täieliku tähenduse hõlmamiseks peame lisama ka teisi Konfutsiuse termineid, nagu kombat (*li*), muusika (*yue*), haridus (*jiao*), õppimine (*xue*) – võib isegi öelda, et kogu *Lunyu* positiivse mõisteteteraviku. Lähim mõiste kultuurile Bhagavadgītās ja Suttapitakas on *dhamma* (*dharm*), mis rõhutab inimese vaimseid ja ühiskondlikke väärtusi ning mis on samuti vastandatud loodusele. Buddha vastandas *buddhadharma* (budistliku kultuuri) tolleaajani valitsenud brahmanistlikule *dharm*'le ning see vastandamine andis teada täiesti uue kultuuri tekkimisest. Nagu me teame, loodi Indias tänu sellest vastandusest võrsunud pingele pika ajalooperioodi vältel suurel hulgal kultuuriväärtusi, mis on rikastanud mitte üksnes india, vaid kogu maailma kultuuri. Jeesuse ajal ei olnud Lähis-Idas sarnast mõistet, aga Jeesus nimetas seda uut kultuuri, millele ta ise aluse pani Jumalariigiks (*hē basileia tu theou*) või taevariigiks (*hē basileia tōn ouranōn*), vastandades seda tavalisele riigile ehk kuningriigile (*basileia*).

B10. Sealjuures tuleb aga inimesel mõista, et kultuuri looja ei ole tema ise, sest loomisprotsess vaid toimub läbi tema ehk kultuur ise toimib läbi tema. Inimesel tuleb aru saada, et EGO, kes mõtleb enda arvates oma mõtteid ja teeb oma tegusid, ei ole tegelikult üldse olemas, nii et sellest tuleb kas üldse vabaneda või siis vähemalt tuleb see allutada millelegi, mida antud kultuuris peetakse suuremaks või kõrgemaks. Buddha lahendus on lihtne: *anātmani* ehk isetuse õpetus välistab EGO igasuguse olemasolu. Konfutsius õpetas isetut rakendumist kultuuri (*wen*) järjepidevuse teenistusse. Nagu on öeldud *Lunyu*'s: "Õpetaja kiskus end lahti neljast / tal ei olnud unistusi / tal ei olnud eelistusi / tal ei olnud kangekaelsust / tal ei olnud isekust." Krišna kutsub korduvalt Ardžunat isekusest vabanema. EGO kaob isiku samastudes Brahma või Krišnaga. Jeesus ütleb samamoodi: "Kui keegi tahab käia minu järel, siis ta unustagu oma mina ja võtku oma rist ja järgnegu mulle."

B11. EGO tekkimise põhjuseks on indiviidi enesekaitsepüüd, mis tuleneb asjaolust, et inimene põlvneb loodusest ehk teisiti öeldes loomamaailmast. Humanistlikud baastekstid aktsepteerivad seda tõsiasja suuremal või vähemal määral ja annavad samas ometi mõista, et inimese elu raskuspunkt peaks asuma hoopis mujal, kultuuritasemel, mis tähendab ka seda, et looduspärane loomus tuleb asendada kultuuriloomusega.

B12. Sellest järeldeb, et suhted, mille aluseks on füüsiline põlvnemine (teisiti öeldes: geneetiline informatsioon), ei tohi olla nii olulised kui kultuuriliselt determineeritud sidemed (teisisõnu: kultuuriinformatsioon).

B13. Sellest omakorda tuleneb, et kultuuriinformatsiooni edastamine on olulisem kui geneetilise informatsiooni levitamine. Õpetaja-õpilase suhet on kõikides humanistlikes baastekstides hinnatud olulisemaks kui vanemate ja laste ning sugulussuhet. Õppimist ja õpetuse edasikandmist peetakse väärtuslikumaks kui soo jätkamist ja füüsiliste laste eest hoolitsemist.

B14. Kõige selle juures on aga humanistlikes baastekstides rõhutatud, et inimesel tuleb jääda inimlikuks, mis tähendab, et ta peab suhtuma inimestesse kaastundlikult ja armastusega. On tähelepanuväärne, et Konfutsius seostab humanismi (*ren*) mõiste armastusega (*ai*). Budistlikes tekstides esinevad terminid *mettā* (*maitrī*) ja *karunā* – ‘sõbralikkus’ ja ‘kaastunne’ – põhimõtteliselt samas tähenduses. Nii budism kui ka Bhagavadgītā kasutavad sõna vägivaldsusetus (*ahinsā*), mis tänu Mahātmā Gāndhīle sai väga kuulsaks möödunud sajandil.

Armastuse mõistel on samuti oluline koht evangeeliumides, kus seda antakse edasi kreeka vastega *agapē*. On selge, et eelkõige just mõistete ‘armastus’, ‘kaastunne’, ‘sõbralikkus’ olemasolu lubab meil paigutada siin käsitletavad tekstid ‘humanistlike baastekstide’ ühise nimetaja alla.

B15. Kaastunne ja armastus on mõisted, millel on palju tähendusi ning neid saab ja võib tõlgendada üsna suvaliselt. Et saada aru nende tõepoolest inimlikust tähendusest ning neid sellisena tunda ja rakendada, on vaja mõistust. Mõistus, teadvus, mõistmine, arusaamine (teisiti öeldes: intellektuaalsus) – need on humanistlikes baastekstides ühed olulisemad mõisted ja intellektuaalsete võimete arendamine on inimese uueks saamise (ehk teadvuse kõrgema seisundini jõudmise ehk meelearandamise) protsessis üheks peamiseks abinõuks ning loomulikult ka eesmärgiks. Buddha rõhutas ilmselgelt intellektuaalsete omaduste tähtsust. Terminid, nagu teadmine, tarkus ja mõistmine, on selle tunnistuseks budistlikes pühakirjades. Samad terminid esinevad ka Bhagavadgītās. *Zhi*, mida kasutab Konfutsius, tähistab samuti kõrgintellektuaalsust.

Evangeeliumidega on asjad veidi keerulisemad, eriti kuna mitmed kristlikud sektid on tuntud mõistuse taunimise poolest. (Selliseid jooni võib kohata ka višnuismis, mille üheks pühakirjaks on Bhagavadgītā, ja isegi mõnedes budistlikes sektides.) Tegelikult kujutatakse Jeesust evangeeliumides targa mehena, kes peab edukalt vaidlusi preestritega.

B16. Kõike kokku võttes – uueks inimeseks saamise ehk inimesestumise protsess tähendab tegelikult kultuuriinimeseks saamist. Ideaaliks ei ole aga mitte ühekülgne (spetsialiseeritud) kultuuristumine, vaid totaalne kultuurist läbiimbumine ehk absoluutne kultuuristumine, mis humanistlike baastekstide seisukohalt tähendab, et looduslik-loomalikust ehk brutaaalsest inimolendist on saanud üliinimene, pühak, õnnis, õilis, täiuslik, buddha, bodhisattva, jumalapoeg, jumal, jne – nimetus sõltub konkreetse kultuuritraditsiooni sõnavara omapärast.

C1. Humanistlike baastekstide dialoog taustkultuurikeskkonnaga algas juba nende kujunemise esimesel etapil, ajal, mil õpetajad ise esitasid oma õpetusi kas jutlustena või ühele või teisele konkreetsele inimesele suunatud juhtnõu-ridena. Nende mõju oli alguses üsna tagasihoidlik ja avaldus eelkõige õpilaste suhteliselt väiksearvulises ringis. Kuid nende kardinaalne erinevus valitsevast või üldaktsepteeritud ideoloogiast tekitas paratamatult konflikte, mis nii mõni-gi kord tõid kaasa karme repressioone, millest kõige äärmuslikum oli Jeesuse ristilöömine. Kuid ka teised õpetajad pidid suuremal või vähemal määral kannatama kas valitsejate või valitseva ideoloogia esindajate surve all.

C2. Aja kulgedes nende mõju tasapisi suurenes ja otse plahvatuslikku mõju võib täheldada pärast kanooniliste tekstide väljakujunemist.

C3. Kuigi humanistlikes baastekstides ei ole seda taotlust otseselt märgata, kujunes nende põhjal religioosseid, filosoofilisi ja muid õpetusi, aga ka ins-titutsioone (kirikuid, mungaordusid, kloostreid jm), mis tihtipeale püüdsid ene-sele omistada tekstide interpreteerimise ainuõigust. Juhul, kui niisugustel insti-tutsioonidel õnnestus tõusta ühiskonnas määravale positsioonile, on nende poolt aktsepteeritud tõlgendustes otsustavalt vähendatud Õpetuse humanist-likku põhisisu ja selle arvel suurendatud kas teksti kujunemisajal või antud tõlgenduse tekkehetkel valitsenud taustsüsteemi osatähtsust.

C4. Samal ajal ei tohi alahinnata nende institutsioonide osatähtsust nii huma-nistlike baastekstide kui ka humanistlike ideede levitamisel, tänu millele nende mõju on nüüdseks tõepoolest globaalne.

C5. Kokkuvõttes võib öelda, et kuigi ajaloo käigus on humanismi sildi all kuu-lutatud ka otse inimvaenulikke ja egokultust propageerivaid õpetusi – neist viimane on marksismist välja kasvanud leninistlik-maoistlik kommunistlik ideoloogia – on humanistlike baastekstide vahetu ja vahendatud mõju siiski olnud määrav selles, et tõeline humanism avaldab inimühiskonna arengule üha suuremat mõju.

Lõpuks tahaksin toonitada, et humanistlike baastekste ei tohi samastada insti-tutsioonidega, kus need tekstid võivad esineda pühakirja funktsioonis. Ajalugu pakub meile palju hirmsaid näiteid nende institutsioonide katsetest jõuga oma ideoloogiat levitada. Ometi on tänu samadele institutsioonidele humanistlikud baastekstid ajaloo kulus saanud tõeliselt humaniseerivat mõju avaldada ja seda otse üleilmse ulatuses. Tooksin vaid mõned näited.

Kui 17. sajandi lõpul tõlgiti *Lunyu* ladina keelde, siis avaldas see järgneva sajandi vältel peaaegu ilmutuslikku mõju Euroopa valgustusajastu esindajatele. Ei ole liialdus väita, et see positiivne mõju kestab tänaseni.

Bhagavadgītā ilmumine Euroopas 18. sajandi lõpul oli samamoodi suursünd-mus ja see kehtib ka budistlike baastekstide kohta. Neis sisalduvaid ideid tut-vustasid ja propageerisid sellised suured mõtlejad nagu Friedrich von Schlegel

ja Arthur Schopenhauer Euroopas ning Walt Whitman ja Henry David Thoreau Põhja-Ameerikas.

Isiklik kogemus lubab mul öelda, et humanistlikud baastekstid, millel oli tollal otse dissidentlik tähendus, mõjutasid märkimisväärselt kommunistliku süsteemi lagunemise protsessi Nõukogude Liidus. Kogu maailmas on nad ühe mõjurina kaasa aidanud koloniaalsüsteemi lagunemisele, rääkimata vägivalduse ja rahumeelsete lahenduste järjest suurenevast levikust.

Kuid viimastel aastatel maailmas aset leidnud sündmused osutavad hoopis teistsugustele arengutele. Sellepärast tuleks minu arvates praegu levitada humanistlike baastekstide ideid ja näidata, et need ideed on universaalsed, omased kogu inimsoole, mitte ainult osale sellest. Võib-olla aitab see kaasa inimkonna säilimisele.

Nüüd olgu esitatud näide ühest konkreetsest humanistlikust baastekstist, selleks on

#### DHAMMACAKKAPPAVATTANA

“Dhammacakkappavattana” (DCP) on ilmselt budismi esimene tekst üldse. Selle eestikeelseks tõlkevasteks sobib “Seadmuseratta käimapanemine”. Kuuludes suurema humanistliku baasteksti “Suttapitaka” koosseisu, ei saa sellest leida kõiki humanistlikele baastekstidele iseloomulikke tunnuseid. Siiski enamik neist on olemas ja nimelt: A 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; B 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Järgnevalt on esitatud DCP eestikeelne tõlge.

##### Seadmuseratta käimapanemine

Nõnda olen ma kuulnud: Ükskord jäi Bhagavat peatuma Vārānasī Sārānāthi Hirveparki. Seal kõneles ta viiele mungale: “Mungad, erakrändur ei tohiks anduda kahele äärmusele! Missugusele kahele? Sellele, mis on nautivalt naudingumõnudele andumine, nii tühisele, matslikule, pööbellikule, vääritule ja mõttetule, ning tollele, mis on enesepiinamine, nii kannatusrikkale, vääritule ja mõttetule.

Mungad, Tathāgata eemaldus nendest äärmustest ja hakkas mõistma kesktee, seda teed, mis annab nägemise ja annab teadmise ning viib rahusse, tarkusesse, virgumisesse ja nirvaanasse.

Ja mis, mungad, on too kesktee, mida Tathāgata mõistis, tee, mis annab silma ja annab teadmise ning viib rahusse, tarkusesse, virgumisesse ja nirvaanasse?

See on õilis kaheksaosaline tee, ning täpsemalt: õige vaade, õige kavatsus, õige jutt, õige tegu, õige eluviis, õige püüdlus, õige järelemõtlemine ja õige kesken-dumine. See, mungad, ongi kesktee, mida Tathāgata mõistis. See annab silma ja annab teadmise ning viib rahusse, tarkusesse, virgumisesse ja nirvaanasse.

See aga, mungad, on õilis tõde kannatusest. Sündimine on ju kannatusrikas, vananemine on ju kannatusrikas, haigus on ju kannatusrikas, suremine on ju kannatusrikas, samuti on kannatusrikkad mure, kurbus, kannatus, masendus ja ärevus. Kokkupuude ebaseeldivaga valmistab kannatusi ja eemalolek meeldi-

vast valmistab kannatusi. Kannatus on ka siis, kui ei saada seda, mida ihaldatakse. Lühidalt: viis isiksuse koostisosa valmistavad kannatusi.

See aga, mungad, on õilis tõde kannatuse põhjustajast. Selleks on janu uuestisündimise järele, millega kõikjal ja alati käivad koos naudinguid otsivad himu ja kirg, ning täpsemalt lõbujanu, elujanu ja surmajanu.

See aga, mungad, on õilis tõde kannatuse lakkamisest. Selleks on tolle janu jäägitu ja kiretu kadumine, tolle hülgamine ja mahajätmise, tollest vabanemine ja uuesti mitte ihkamine.

See aga, mungad, on õilis tõde kannatuse lakkamisele viivast teest. Selleks on õilis kaheksaosaline tee, ja nimelt: õige vaade, õige kavatsus, õige jutt, õige tegu, õige eluviis, õige püüdlus, õige järelemõtlemine, õige keskendumine.

“See on õilis tõde kannatusest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Tunda on vaja just seda õilsat tõde kannatusest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Ma tunnen seda õilsat tõde kannatusest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“See on õilis tõde kannatuse põhjustajast,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Üle on vaja saada just sellest õilsast tõest, kannatuse põhjustajast,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Ma olen saanud üle sellest õilsast tõest, kannatuse põhjustajast,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“See on õilis tõde kannatuse lakkamisest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Omaks on vaja võtta just see õilis tõde kannatuse lakkamisest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Ma olen omaks võtnud selle õilsa tõe kannatuse lakkamisest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“See on õilis tõde kannatuse lakkamisele viivast teest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Kujustada on vaja just seda õilsat tõde kannatuse lakkamisele viivast teest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

“Ma olen kujustanud selle õilsa tõe kannatuse lakkamisele viivast teest,” nõnda mõeldes, mungad, sain ma silma, sain teadmise, sain mõistmise, sain tarkuse ja sain valguse näha varem tundmatuid seadmusi.

Niikaua, mungad, kuni mu tõelusepärane teadmine ja nägemine ei olnud nende Nelja Õilsa Tõe abil kolmes järgus ja kaheteistkümnel moel täielikult puhastunud, ei kuulutanud ma, et olen selles jumalaid, kuradeid ja Brahmasid sisaldavas maailmas jõudnud erakute, vaimulike, olevuste, jumalate ja inimeste seas täiusliku ülima virgumiseni.

Kuid nüüd, mungad, kui mu tõelusepärane teadmine ja nägemine on nende Nelja Õilsa Tõe abil kolmes järgus ja kaheteistkümnel moel täielikult puhastunud, kuulutan ma, et olen selles jumalaid, kuradeid ja Brahmasid sisaldavas maailmas jõudnud erakute, vaimulike, olevuste, jumalate ja inimeste seas täiusliku ülima virgumiseni.

Teadmine ja nägemine on minus, mu vabanenud meel on kõigutamatu. See on minu viimne sünd, uut ei tule enam!”

Nõnda lausus Bhagavat. Viis munku olid rahul ja tundsid rõõmu Bhagavati jutluse üle.

Selle jutluse ajal ilmus auväärsele Kaundinjal täiuslik ja puhas Seadmusesilm: kui miski on tekkinud, siis sellel on kalduvus lakata.

Kui Bhagavat oli Seadmuseratta nõnda käima pannud, siis hõikasisid maajumalad: “Selle ülima Seadmuseratta pani Bhagavat käima Vārānasī Sārṇāthi Hirvepargis, ja seda ei suuda maailmas käima panna ükski erak, vaimulik, jumal, kurat, Brahma või keegi muu.”

Kuulnud maajumalate hõiget, hõikasisid Nelja Suure Valitseja jumalad: “Selle ülima Seadmuseratta pani Bhagavat käima Vārānasī Sārṇāthi Hirvepargis, ja seda ei suuda maailmas käima panna ükski erak, vaimulik, jumal, kurat, Brahma või keegi muu.”

Kuulnud Nelja Suure Valitseja jumala hõiget, hõikasisid Kolmkümmend Kolm jumalat, Jāma jumalad, Rahuloluvalla jumalad, Võluväenautijad jumalad, Teiste Loodut Haldavad jumalad ja Brahmaihuga jumalad: “Selle ülima Seadmuseratta pani Bhagavat käima Vārānasī Sārṇāthi Hirvepargis, ja seda ei suuda maailmas käima panna ükski erak, vaimulik, jumal, kurat, Brahma või keegi muu.”

Niimoodi kanduski hõige samal hetkel, samal silmapilgul ja samal viivul Brahma maailma. Ning kogu kümnetuhandeline ilmavald rappus, värises ja vappus ning mõõtmatu vägev hiilgus, mis ületas jumalate jumaliku sära, täitis maailma.

Siis lausus Bhagavat nõnda: “Kaundinja on tõepoolest taibanud. Kaundinja on tõepoolest taibanud.”

Niiviisi saigi auväärne Kaundinja nimeks Taipaja Kaundinja.

DCP tegevus toimub Hirvepargis, mis asub praegugi (ja õnneks ikka koos hirvedega) Vārānasī ehk Benaresi põhjapoolses eeslinnas Sārṇāthis. Tookord oli selle koha nimetuseks sanskriti keeles Rīṣipātana ja paali keeles Isipātana. Buddha ehk Bhagavat ehk Tathāgata pidas seal oma esimese jutluse viiele talle juba varem tuntud kerjasmungale. Buddha jutt oli üsna lühike. Kuid see oli



täiesti uus jutt, mis pani aluse täiesti uuele kultuurile, budistlikule kultuurile, mis vastandus üsna selgepiirilisel vanemale ja valitsevale brahmanistlikule kultuurile.

Et uuele kultuurile saab alust panna eelkõige mõtteviisi muutes, siis vaatleme suutra neid aspekte, mis iseloomustavad seda uut mõtteviisi. (Ma ei hakka siin seletama tõlkes esinenud termineid. Ammendavaid seletusi nendele saab leida “Ida mõtteloo leksikonist”, alajaotusest “Trükis ilmunud töid 2003–2007”.)

1. ÄÄRMUSTE EHK VASTANDITE ÜLETAMINE. Juba esimeses lauses väidab Buddha, et tuleb vältida kaht äärmust. Kohe selgub ka, et nendeks on ühelt poolt naudingutega küllastatud eluviis ja teiselt poolt enesepiinamine, askees. Väljapääsuks ehk nende ületamiseks on see, mida Buddha nimetab keskteks. See mõttekäik on Buddha enese hilisemates jutlustes ja budismi pärastises arengus viinud üsna sirgjoonelisel ideeni, mille kohaselt isegi eksistentsiaalsete vastandmõistete (‘olemine’ ja ‘olematus’) ning matemaatiliste vastand-sümbolite (+ ja –) vahel on midagi, mis annab võimaluse nende ületamiseks. Selle “millegi” nimetusena on säilinud ‘keskmine’, kuid hiljem tekkis ka teisi termineid ja aja jooksul kujunes põhiliseks tähiseks ‘tühjus’, mille vahetul mõjul loodi matemaatikas nulli sümbol. Tühjus ei tähenda mitte absoluutset puudumist või olematust (sel juhul oleks ju tegemist ühe äärmuse toonitamise), vaid, piltlikult öeldes, lõpmatuid võimalusi tühjaks nimetatatu täitmiseks tähendustega.

2. DÜNAAMILISE MÕTLEMISTÜÜBI ESILETÕSTMINE. DCP samastab kesktee õilsa kaheksaosalise teega. Tee lüsioloogilises (vabanemisõpetlikus) tähenduses on isiksuse dünaamiline muutumisprotsess ühelt pinnalt ehk algtasemelt teisele pinnale ehk lõpptasemele (nende vahele võib mahtuda ka vahepealseid tase-meid). Algtaset iseloomustab DCPs emotsionaalne hinnang, mida tähistatakse paalikeelse terminiga *dukkha*. Olen selle tõlkinud sõnaga ‘kannatus’, järgides siinkohal selle sõna Euroopa keeltesse tõlkimise traditsiooni. Kahjuks ei peegelda see originaaltermini mahtu täies ulatuses. Seepärast soovitaksin lugejal selle kõrvale mõelda veel niisuguseid lähedase tähendusvarjundiga sõnu nagu näiteks ‘vaev’, ‘piin’, ‘mure’, ‘rusutus’. Pealegi on muudes tekstides kasutusel ka sõnad, mida saab otseselt tõlkida nende vastetega. See aga viitab järgmisele:

3. NÄHTUSE VÕI OBJEKTI ERINEVATE ASPEKTIDE TOONITAMINE. Võib arvata, et DCPst on saanud alguse tendents mitte piirduda mingi objekti või nähtuse kirjeldamisel ühe sõnaga, vaid kasutada selleks ka sünonüüme või isegi erinevaid sõnu ja termineid. See tendents avaldub siin ka lõpptaseme kirjeldamisel, mille nimetamiseks kasutatakse mitut sõna – ‘rahu’, ‘tarkus’, ‘virgumine’, ‘vaibumine’ (‘nirvaana’). Sõnal *buddha* on samuti palju sünonüüme. DCPs on neist kasutusel *tathāgata* ja *bhagavat*.

4. VAATLEMISOSKUSE VAJALIKKUSE RÕHUTAMINE. DCP esimese tõe esitamisel viidatakse otseselt inimseisunditele, mida saab näha (või tajuda, või tunda)

vahetult kas iseeneses või teistes. Siit on lähtunud suhtumine, mida on toonitatud paljudes suutrades: mitte mingit väidet ei tohi võtta omaks palja usu põhjal. Kuid vaatlemisel saadud andmete õige kasutamine oleneb mõtlemistüübist, mille erinevaid aspekte võiks nimetada kas eristavaks või uurivaks mõtlemiseks. Kokkuvõtlikult peaks see olema:

5. ANALÜÜTILINE MÕTLEMINE. DCP tervikuna on ilusaks näiteks selle domineerimisest. Analüütiline mõtlemine on muidugi seotud ka loogilise mõtlemisega ning budismi ajalugu näitab hiilgavalt seda, kuidas on võimalik tarvitada suurepäraseid loogilisi süsteeme ja skeeme, näiteks tetralemmat.

6. MÜTOLOOGILISE MÕTLEMISE TAANDAMINE TEISEJÄRGULISEKS. DCPs näidatakse koht kätte mõtteviisile, mis ilmselt domineeris inimkultuuride algtaasemetel. Seda on tihti nimetatud ka mütopoeetiliseks mõtlemiseks. Indias oli I aastatuhande keskpaigaks e.m.a. välja kujunenud keerukas mütolooiline hierarhiline süsteem. Sellele viitab DCP lõpuosa, kuid teeb seda väga omapäraselt. Nimelt pannakse kogu jumalate hierarhia madalamatest kõrgeimateni ülistama seda, mis juhtus Hirvepargis. Samal ajal toonitatakse, et ükski mütolooiline persoon ei ole suutnud varem seda teha ega suuda praegugi, vaid neil jääb üle ainult vaimustuda sellest, millega Buddha hakkama sai. Mõtle-mise tasandil tähendab see, et mütolooogia osatähtsust ei eitata, kuid see alluta-takse muudele mõtlemistüüpidele.

Niisugune suhtumine mütolooilisse mõtlemisse jäi budismi hiljemgi iseloomustama ja seda mitte üksnes Indias, vaid ka teistes maades, kuhu see levis. Kirjutatud on, et suured budismi misjonärid allutasid siin ja seal kohalikke jumalusi, vaime ja tonte ning panid need budismi ideaale teenima. Teiste sõnades, nendele mütolooilistele persoonidele näidati nende koht kätte selle asemel, et hakata mõttetult võitlema mütolooilise mõtteviisi kui niisuguse vastu. Ka budismis eneses, eriti aga mahajaanas ja vadžrajaanas kujunes erinevaid mütolooiasüsteeme, kuna ilmnes, et mütolooilised kujundid võivad kujundlikus mõtlemises saada mõjusaks abivahendiks teadvuse teisendamisel.

7. INIMOLEMISE VÄÄRTUSE TOONITAMINE. Buddha, kes sai hakkama sellega, millega ükski mütolooiline persoon hakkama ei saanud, oli inimene. Ta oli inimeseks sündinud, kogenud mõlemat äärmust, ületanud need kesktee abil ja tema teadvus oli jõudnud mõistmise kõrgeima tasemeni, mille ta nimetas 'virgumiseks' (*bodhi*). Otse loomulik, et seejärel hakkas ta ka iseennast nime-tama sõnaga 'virgunu' (*buddha*). Sama loomulik on, et ta hakkas oma kogemust teistele inimestele edasi andma ehk õpetama. DCP lõpeb inimese nime-tamisega ja iseloomustamisega, kes esimesena mõistis, et Buddha on esitanud uue dharma. Selleks oli Kaundinja. Kuid see nimetamise hetk ei olnud lihtsalt nimetamine. See hetk tähistas budistliku koguduse ehk sangha sündi. Järelikult on selles mahult üsna väikeses suutras räägitud budismi kolme kõige tähtsama institutsiooni tekkimisest. Need on Buddha, Dharma ja Sangha. Neid kolme kokku tähistatakse sõnaga Kolmikkalliskivi (*triratna*).

8. ÕILSUSE RÕHUTAMINE. Sõnaga 'õilis' (sansk. *ārya*, paali *ariya*) tähistati budismieelsel ajastul indoeuroopa keeli kõnelevaid hõime – aarjalasi, kes II aastatuhandel ja I aastatuhande algul e.m.a. lainetena Põhja-Indiasse tungisid ja selle allutasid. Ka Buddha kasutab seda sõna, kuid mitte päritolule viitavas tähenduses. Temale on see oluliseks terminiks, millega tähistada kõrgetele ideaalidele vastavat inimest või nähtust. DCPs on õilsaks nimetatud kaheksaosalist teed ja nelja tõde, õilsuseta (*anariya*) on aga kahe äärmuse poole püüdlemine. Viimase terminiga on paralleelselt kasutatud veel kaht, 'matslik' (*gamma*) ja 'lihtinimeselik' (*puthujjanika*), mis samuti ei tähenda, nagu iseloomustaksid need just külast või lihtrahva seast pärit inimeste loomujooni. Ometi viitavad need sõnad inimestele, kelles on ülekaalus mõtlemistüüp, millest tuleb täielikult lahti saada.

9. VABANEMINE OMAKASUPÜÜDLIKUST JA PRAGMAATILISEST MÕTLEMISEST. Nimetagem seda mõtlemist, millest on vaja lahti saada, kõigepealt omakasupüüdlikuks mõtlemiseks. Budismi seisukohalt on sellest vabanemine vajalik eeltingimus teadvuse kõrgeimate seisunditeni jõudmiseks. Niisugust mõtlemist rakendatakse põhiliselt materiaalse, seisusliku, seisundilise või muu hüve püüdlisel iseenesele, kuid üsna tihti tehakse seda mingi grupi (perekonna, hõimu, küla, linna, riigi jne) kasu nimel, mis puhul võib seda nimetada ka pragmaatiliseks mõtlemiseks.

10. Juba budismi eelsel ajajärgul oldi Indias üldiselt arvamusel, et vaid vähestel õnnestub praeguse elu jooksul ihaldatud hüvesid leida. Kuna usuti ümbersündidesse, siis oli järeldus kerge tulema: on vaja elada vooruslikult, et leida need hüved tulevases elus. Ma ei hakka siin süvenema ümbersündide teooriate iseärasustesse ja erinevustesse, üldiselt aga usuti, et ümber sünnib kas hing (*jīva*) või muutumatu minaprintsiip, mida tähistati sõnaga 'ise' (*ātman*).

DCPs väidab Buddha, et kannatuse põhjuseks on iha ümbersündide järele. Loomulikult on selle aluseks omakasupüüdlük mõtlemine. Buddha järeldus on veel loomulikum: See on minu viimne sünn, uut ei tule enam. See on aga analüütiline mõtlemine.

Hilisema budismi eri voolude ja koolkondade suhtumine ümbersündidesse ei ole ühene. Hinge budism ei tunnusta ja 'ise' on selle tekstides kasutusel vaid kui tavaline asesõna. Ilusalt seletatakse ümbersünde paalikeelses raamatus "Milinda küsimused": ümbersünnid on olemas, neid saab aga võrrelda tule edasiandmisega ühelt lambilt teisele või luuletuse õpetamisega õpilasele. Mõlemal juhul ei lähe edasi midagi substantsiaalset, läheb aga impulss, ning teise näite puhul on selge, et selleks on kultuuriimpulss, kui kasutada tänapäevast sõnapruuki.

#### MIDA TÄHENDAB GLOBALISEERUV TSIVILISATSIOON?

Seda mõistet kasutatakse viimasel ajal üsna sageli. Paraku ei ole seda veel suudetud üldaktsepteeritavalt defineerida. Ka mina ei proovi seda siin praegu

teha. Viitan vaid mõnele teaduses järjest süvenevale suundumusele, millel see võiks rajaneda. 1. Ühe või teise kultuuri tekstide analüüsimisel kasutatakse üha rohkem võrdlusmaterjali teistest kultuuridest. 2. Sarnaste joonte leidmisel püütakse leida mingi ühisnimetaja. 3. Üha enam kaob mõistetel OMA – VÕÖRAS põhinev kultuuriline vastandamine, mille tulemuseks on teiste kultuuride objektiivne hindamine ja nende väärtuste ülevõtmine. 4. See toob kaasa mõistmise, et kultuuride paljusus on maailmas vajalik.

Järelkult globaliseerumine ei tarvitse tähendada unifikatsioonitendentside tugevnemist, kuigi paraku toimib ka see tendents. Vastupidi, võimalus saada osa kogu maailma kultuuripärandist, ja seda isegi oma emakeeles, avab tee maailma tõelise mitmekesisuse mõistmisele ning selle säilitamisele, hoidmisele ja arendamisele.

#### TRÜKIS ILMUNUD TÖID 2003–2007

Mäll, L. (2003). Aishaniya de hanxue, yinduxue yu zangxue: lishi ji xiankuang. Hanxue yanjiu tongxun = [Chinese, Indian and Tibetan studies in Estonia: history and current state. Newsletter for Research in Chinese Studies]. Taipei, 22, 3, 27-34. (in Chinese).

Mäll, L. (2003). On the conception of the humanistic base texts. Forschungen zur Anthropologie und Religionsgeschichte, 36, 137-153.

Mäll, L. (2003). Nulli ja lõpmatuse kohal. Teine tr. Tartu, 391 lk. (Eesti mõtte-lugu; 21).

Mäll, L. (2003). Studies in the Astasahasrika Prajñaparamita and Other Essays. Tartu, 237 lk. (Studia Orientalia Tartuensia, Series Nova; 1).

Mäll, L. (2004). Seadmuseratta käimapanemine. Lühikesed lugemised. Dhammapada / eessõna ja kommenteeritud tõlge paali keelest. Tartu, 263 lk. (Budismi pühad raamatud; 1).

Mäll, L. (2005). Teemantsuutra. Südasuutra. Ühetähesuutra / kommenteeritud tõlge sanskriti ja tiibeti keelest. Tartu, 205 lk. (Budismi pühad raamatud; 2).

Mäll, L. (2005). Dhammapada / kommenteeritud tõlge paali keelest. Kolmas täiend. ja parand. vlj. Tartu, 102 lk.

Mäll, L. (2005). Studies in the Astasahasrika Prajñaparamita and Other Essays. Delhi, 238 lk.

Mäll, L. (2005). Worship of written scriptures as a basis for the development of Mahayana. Intern. Conf. "Mahayana Buddhism: History and Culture". Abstracts. New Delhi, 26-27.

Mäll, L. (2006). Nukrad armastuslaulud / Tsangjang Gjatso, VI dalai-laama; kommenteeritud tõlge tiibeti keelest. Tartu, 110 lk.

Mäll, L. (2006). Rights of peoples: what has been done and what has to be done. The Rights of Peoples: Ideals and Reality. Tartu, 9-19.

Mäll, L., Läänemets, M., Toome, T. (2006). *Ida mõtteloo leksikon. Lõuna-, Ida- ja Sise-Aasia*. Tartu, 352 lk. (Studia Orientalia Tartuensia, Series Nova; 2).

Mäll, L. (2007). Dharmacakrapravartana from the point of view of semiotics. Teaching on India in Central and Eastern Europe. Contributions to the 1st Central & Eastern European Indological Conf. Warsaw, 195-199.

Mäll, L. (2007). Perspectives of Buddhism in the European Union and especially in Estonia. Buddhism and the 21st Century. Intern. Conf. Bodhgaya, February 4-6, 2007. New Delhi, 47-49.

Mäll, L. (2007). Thus began new Dharma. The Significance of Base Texts for the Religious Identity. Münster, 181-185. (Forschungen zur Anthropologie und Religionsgeschichte; 40).