

EESTI VABARIIGI TEADUSPREEMIAD

2012

TALLINN, 2012

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 kätteandmisel 24.02.2012 tehtud fotosid



Laureaatide diplomid ja medalid üleandmise ootel
2012. aastal Tartu Ülikooli aulas ...

SISUKORD

<i>Richard Villems</i>	
Saatesõna	6
<i>Ülo Lumiste</i>	
teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest	8
<i>Heidi-Ingrid Maaroo</i>	
teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest	16
<i>Jaan Janno</i>	
teaduspreemia täppisteaduste alal uurimistöö “Pöördülesanded mittehomogeensete materjalide ja keskkondade omaduste määramiseks” eest	40
<i>Mart Loog</i>	
teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal uurimuste tsükli “Rakkude pooldumist reguleerivad fosforüleerimislülid” eest	60
<i>Kai Kisand</i>	
teaduspreemia arstiteaduse alal uurimuste tsükli “Kandidoosi uued tekkemehhanismid” eest	74

<i>Ülo Mander ja Kalle Kirsimäe</i>	
teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal uurimuste tsükli “Ökotehnoloogia maastike aineringe reguleerimisel” eest	88
<i>Jaan Liira</i>	
teaduspreemia põllumajandusteaduste alal uurimuste tsükli “Elurikkuse ja selle funktsioonide seosed ruumiprotsessidega kaasaegses põllumajandusmaastikus” eest	102
<i>Erki Berg</i>	
teaduspreemia sotsiaalteaduste alal uurimuste tsükli “Identiteedid, konfliktne enesemääratlemine ja <i>de facto</i> riigid” eest ..	118
<i>Mart Kalm</i>	
teaduspreemia humanitaarteaduste alal uurimuste seeria “Võim ja arhitektuur. Eesti Vabariigi esindusarhitektuur 1919–1940” eest	134
Vabariigi teaduspreemiate komisjoni koosseis	147

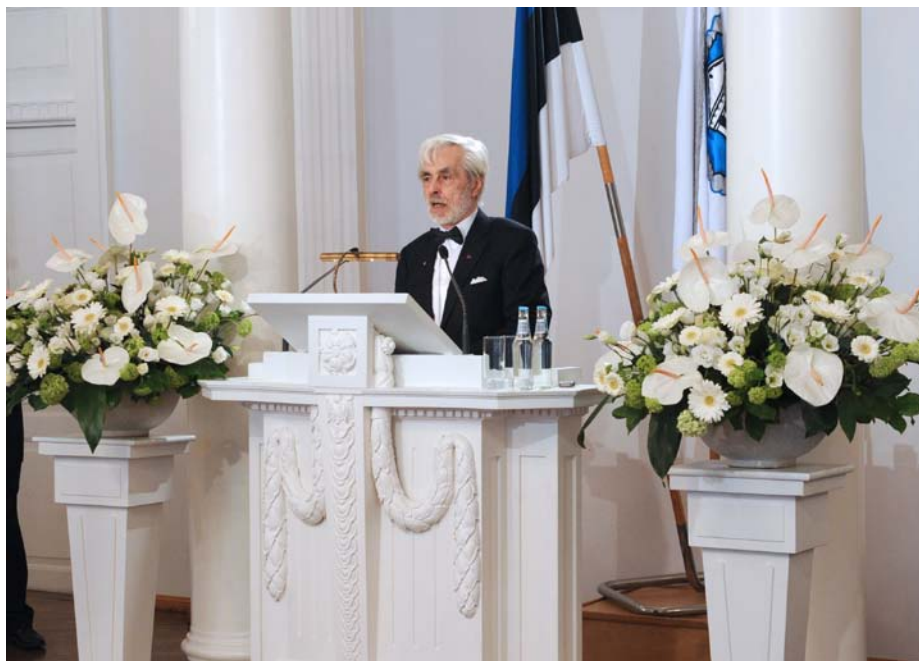
SAATESÕNA

Richard Villems

Vabariigi teaduspreemiad – laureaatide valik alates kandidaatide esitamisest kuni valitsuse otsuseni ja preemiade piduliku kättemise, on teadus- ja arendustegevuse korralduse seadusega loodud traditsioon. Olemata sealjuures rutiin, või kui, siis vahest korraldusliku külje poolest. Siiski oli selleaastases tseremoonias midagi uut – see toimus Tartu Ülikooli aulas, mitte Akadeemia saalis Tallinnas. Küll esmajoones logistilistel põhjustel, kuid korraldusliku rutiini tekkis kena vaheldus.

Saatesõnades viimaste aastate teaduspreemiade kogumikele olen vaadelnud mõnd meie teaduse arengu hindamiseks kasutatavat parameetrit veidi pikemas ajalõikes kui neli viimast aastat, mille alusel sõelutakse esitatute hulgast välja erialaste teaduspreemiade laureaate (www.akadeemia.ee; teaduspreemiad). Esmajoones põhjusel, et sedalaadi hinnangud ongi sisukad vaid pikemate aegridade analüüsimisel. Tulevikuga on keerulisem. Mõned hinnangulised näitajad on küll pikaajaliselt ette ennustatavad, kuid kord juba teadvustatuna, on pigem muutuva tegelikkuse passiivseks fooniks. Nii näiteks on kena teada, et ühe teadlaspõlvkonna jooksul (siin 30 aastat) on viidatavus artiklitele aadressiga “Eesti” (pluss möödunud kajastavad akronüümid) kasvanud enam kui kümnekordselt koguarvus ja sealjuures ennaktempo viidete arvuna ühe artikli kohta.

Tõstes esile teadlaskonna eliiti nii elutöö mõõtmes kui ka päris viimase perioodi saavutuste alusel, on teaduspreemiad teaduse väärtustamise hästi nähtavaks osaks. Seda just Eesti teadusruumis. Kord juba tulevikust rääkides, on seoses sellega sobiv põgusalt peatuda muudatustel, mis kohe-kohe hakkavad realiseeruma läbi uuenenud TAKSi. Kas ja kuidas aitab see kaasa Eesti teaduse kvaliteedi tõusule?



Richard Villems 24. veebruaril 2012 Tartu Ülikooli aulas.

Seaduses tehtud muudatustel on oluline potentsiaal jõuliselt toetada kvaliteedi tõusu. Koguni läbi niisuguse, osalt isegi vastuolulise sisuga muudatuse, mis kaotas ära nõuded nn 'siisikeste' osas. Seda veendumuses, et seadusega loodud hindamiskogu ja selle poolt rakendatav ekspertsüsteem, vabanenuna bibliomeetrilise formalismi primitiivsuse ulatunud lävenditest, võimaldab taotluste märksa sisulisemat hindamist. Teiseks on oluline personaaltoetuste põhjalik reformimine, et sellest tõepoolest tekiks ühtlasi ka järjepidevalt toimiv teadusliku iseseisvumise garant.

Tee on avatud. Kas uuendatud TAKS saab neid muudatusi garanteerida? Kindlasti mitte. Ja ei saagi seda teha – see on kitsas mõttes otsustuskogude (siin peamiselt ETAG hindamisnõukogu) ja laias plaanis kogu teadlaskonna kätes, mille eliiti kuuluvad, kui nii võib öelda, 'definitsiooni kohaselt' ka 2012. aasta Eesti Vabariigi teaduspreemia laureaadid.

Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest



Ülo Lumiste

Sündinud 30.06.1929 Vändras

- 1947 Vändra Keskkool
- 1952 Tartu Ülikool, matemaatika eriala
- 1958 füüsika-matemaatikakandidaat, Moskva Ülikool
- 1968 füüsika-matemaatikadoktor, Kaasani Ülikool
- 1969 professori kutse
- 1993 Eesti Teaduste Akadeemia liige

Tartu Ülikoolis alates 1960. aastast: dotsent, professor, algebra ja geomeetria kateedri juhataja, aastatel 1974–1980 matemaatikateaduskonna dekaan. Alates 1995. aastast Tartu Ülikooli emeriitprofessor.

- 1982 Eesti NSV teeneline teadlane
- 1982 Riiklik preemia
- 1996 Tallinna Ülikooli audoktor
- 1999 Eesti Vabariigi Valgetähe III klassi teenetemärk
- 1999 Eesti Vabariigi teaduspreemia
- 2003 Eesti Matemaatika Seltsi auliige

Juhendanud 17 väitekirja.

Avaldanud üle 260 teaduspublikatsiooni, sh mitmed peatükid matemaatika-alastes käsiraamatutes (ilmunud teaduskirjastuste Elsevier, Kluwer jt väljaannetena), õpikud ning monograafiad (neist viimane alles 2009 Springeri kirjastuse väljaandena).

Olen sündinud 30. juunil 1929. aastal Vändra alevi keskel rätsepmeistri Johann Pärmani tütre Milla ja sõjaväeteenistusest tulnud postiteenija Gori Lundeni pojana. Isa töö viis noore pere algul Nõmmele ja siis Tamsallu, kus isa sai postkontori ülema abiks. Kooliteed alustasin 1936. aastal Tamsalus juba eestistatud perenimega Lumiste.

Alanud II maailmasõja keerises kaotasin isa 1941. aastal. Ema siirdus kohe oma vanematekoju Vändrasse, kus ma lõpetasin 1947. aastal keskkooli.

Vändral on tähtis koht Eesti kultuuriloos. Siin sündis ja alustas oma kirjamehe tegevust Eesti hümnisõnade autor Johann Voldemar Jannsen, siin sündis ka tema tütar Lydia Koidula. Vändra lähedal Kurgjal elas oma elu lõpul Carl Robert Jakobson, kes on sinna ka maetud, püstitatud on mälestussammas.

Vändras töötas kooliõpetajana Anton Jürgenstein, kellele on püstitatud mälestussammas koolimaja ees. Siin veetis oma viimased eluaastad ka helilooja Mihkel Lüdig (maetud kiriku kõrvale), kes oli ka minu õpetaja keskkoolis. Okupatsioonivõimude vahetus tõi Vändrasse mitmeid silmapaistvaid mehi, kellest osa töötas ka õpetajana. Matemaatikaõpetajaks oli mul Eino Pillikse, kes oli õppinud TPIs ja olnud Saksa okupatsiooni ajal raadioreporter, sellal *Landessender Reval, Turgel und Dorpat* koosseisus. Tema tegi mulle selgeks, et matemaatikas võib jõuda uute tõdedeni ka puhta mõtlemise teel, ilma 'punaseid tarkusi' kasutamata. Pärast gümnaasiumi kuldmedaliga lõpetamist ei tekkinud mul kahtlustki, mida minna ülikooli edasi õppima. Jäi vaid sõita Vändra-Tallinn ja Tallinn-Tartu rongidega kohale ja anda 1947. a sisse vajalikud paberid. Ülikooli lõpetasin matemaatikuna *cum laude* 1952. aastal.

Ülikoolis oli matemaatikutel vedanud. Kui paljudel teistel erialadel olid mitmed õppejõud neil ärevatel aegadel emigreerunud, siis matemaatika õppejõud olid kõik kohale jäänud. Meile lugesid oma aineid vanad õppejõud, professorid Hermann Jaakson, Jaan Sarv ja Gerhard Rägo. Neile lisandus Tartu ülikooli lõpetanud, lühiajaliselt TPIs töötanud ja seejärel tagalatee läbi teinud dotsent Gunnar Kangro, hilisem professor ja matemaatika juhtfiguur Eestis. Neist kõige lähedasemaks sai mulle geomeetriaprofessor Jaan Sarv (1877–1951), kes korraldas meile erialaseminari ja juhendas minu auhinnatööd. Diplomitöö tuli mul aga teha G. Kangro juures (Sarv oli siis juba lahkunud) ja sellest sai minu esimene publikatsioon.

G. Kangro võttis mind pärast lõpetamist tööle oma kateedrisse ja nägi minus nähtavasti J. Sarve üht võimalikku järeltulijat. Esimene võimalus selleks läks paraku luhta. Sarve surma-aastal sai ülikooli rektoriks St. Peterburgist tulnud eesti päritoluga Fjodor Klement. Tema kutsus üht ärajäänud geomeetria kursust siia lugema oma sealse kolleegi A. D. Aleksandrovi, hilisema geomeetria klassiku. Viimasel tuli aga loengud katkestada, sest ta määrati tollase Leningradi ülikooli rektoriks. Mulle jäi ülesanne toimetada Aleksandrovi kätte tema loengute masinakirjaline konspekt ja arutada tema juures edasiõppimise võimalusi. Minu Leningradi sõit jäi aga tulemusteta, sest uus rektoriamet ei võimaldanud tal võtta uusi õpilasi.

Selle asemel suunati mind 1953. a Moskva ülikooli, kus tegin ära kandidaadieksamid ja olin 1956. a üheaastases aspirantuuris. Sealne eakas diferentsiaalgeomeetria professor Sergei Finikov oli noorena Pariisis kuulanud È. Cartani loenguid ja tõi hiljem Cartani arvutuse üle ka Moskvasse, pannes koos oma õpilaste – G. Laptevi, A. Vassiljevi jt – aluse sealsele uuele geomeetria koolkonnale. Ka minust sai selle koolkonna liige. Kaitsesin 1958 Moskvast sellekohase kandidaativäitekirja, kümme aastat hiljem Kaasani ülikoolis doktoriväitekirja. 1969. aastal edutati mind professoriks ning Tartu ülikooli algebra ja geomeetria kateedri juhatajaks. (Saingi J. Sarve järeltulijaks!)

Vahepeal olin koostanud eestikeelse diferentsiaalgeomeetria õpiku (1963, täiendatud väljaanne 1987). Kaasautorluses oma õpilase Arivaga avaldasin 1973 mahuka õpiku “Analüütiline geomeetria”. Nende õpikute ja ülikooli rotaprintil avaldatud õppevahenditega andsin olulise panuse eestikeelse kõrge-ma matemaatika alase terminoloogia kujunemisse.

Oma õppejõu ja teadlase põhitöö kõrval olen rohkesti tähelepanu pööranud ka matemaatika ajaloole, peamiselt Eestis. Looduseuurijate Seltsi teadusajaloo komisjoni esimehena algatasin 1968. aastal sarja “Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist”, mille esimeses köites ilmus minu esimene uurimus matemaatikast Eestis XVI ja XVII sajandil. Eesti oli tollal Rootsi riigi osa. Tartus (Dorpat) ja Tallinnas (Revalis) asutati gümnaasiumid, vastavalt aastatel 1630 ja 1631. Esimene neist muudeti 1632. aastal ülikooliks Rootsi kuninga Gustavus II Adolphuse dekreediga pärast kuninga surma lahingus Nürnbergi all (ülikool sai nimeks *Academia Gustaviana*). Nende uute õppeasutuste juures asutati trükikojad, mis olid esimesed Eestis. Uurisin esimesi matemaatika alal trükitud raamatuid ja võrdlesin neid läänemaades avaldatud silmapaistvate tööde-ga. Tähelepanu on pööratud professor S. Dimbergi kuulutusele loengukavas õppeaasta 1698/99 kohta, milles ta teatas, et õpetab “die Newtonische Grund-sätze der höheren Mathematik” (mida on tsiteerinud H. I. C. Backmeister, 1764).

Kui 1981. aastal, seoses Tartu ülikooli eelseisva 350 aasta juubelig, saadeti ajaloolane Helmut Piirimäe Rootsi uurima arhiive, avaldasin temaga koos artikli, milles selgitasime, et Tartu *Academia Gustavo-Carolina* professor Sven Dimberg on nähtavasti esimene maailmas, kes tutvustas oma Tartus peetud loengutes Newtoni teooriat. (See avastus on nüüd ilmunud juba vene, ing-lise ja rootsi keeles.)

Mitmed uurimused on seotud Lobatševskiga. Viimase õpetaja Kaasanis, Mar-tin Bartels, tuli hiljem teatavasti professoriks Tartusse ja avaldas siin oma esimesed teadustööd. Tema sinne õpilane K. E. Senff avaldas 1831 siin oma auhinnatöö, milles kasutas Bartelsi loengumaterjale. Neist selgub, et Bartels oli juba 1830. aastal, kõveraid uurides, kasutanud liikuvat ortonormaalset ree-perit ja tuletanud valemid, mis on ekvivalentsed Frenet-Serret valemitega ja on nendest 17 aastat varasemad. Ma avaldasin selle avastuse 1983. aastal, see-järele tutvustas seda K. Reich oma saksakeelses doktoritöös.

Teisel Tartu professoril Ferdinand Mindingil on oluline osa Lobatševski geo-meetria interpreteerimisel. Veel Berliinis olles avaldas ta artikli trigonomeet-riast negatiivse konstantse kõverusega pinnal. Itaalia geomeeter E Beltrami avastas kokkulangevuse Lobatševski trigonomeetriaga ja nii selguski, et uus geomeetria ühtib lokaalselt negatiivse konstantse kõverusega pinna sise-geomeetriaga. Minding oli sellal (aastast 1847) juba Tartu professor. Minu huvi tema elu ja loominguga vastu realiseerus kaasautoritega kirjutatud mono-graafias “Ferdinand Minding 1806–1885” (1970), milles valdav osa on minu

kirjutatud: I. Biograafia (peatükid 1–4); II. Tööd pinnateooria alal (peatükk 6); III. Tema ideede areng (peatükk 7); IV. Variatsioonarvutus (peatükk 10).

Bartelsi ja Mindingi tegevus muutis Tartu diferentsiaalgeomeetria omaaegseks keskuseks. Riist pärit Mindingi õpilane Karl Peterson avaldas siin esmakordselt 1853 oma kandidaaditöös pinnateooria põhiteoreemi.

Olen uurinud ka matemaatika ajalugu Tartu ülikoolis XIX sajandil, kui pärast Põhjasõda oli Eesti tsariaegse Vene impeeriumi koosseisus. Spetsiaalselt geomeetria ajaloole on pühendatud artikkel, milles annan ka uut informatsiooni Th. Clauseni tegevusest.

Koostöös Rootsis töötava eestlasest matemaatiku Jaak Peetrega andsime välja Tartu ülikooli omaaegse õppejõu, hiljem USAsse siirdunud Edgar Krahn ingliskeelse juubelikogumiku “Edgar Krahn 18941961” (1994); hiljem on seda käsitletud ka mitmes minu eestikeelses artiklis. Olen andnud ka üldise ülevaate matemaatika arengust Eestis pärast 1919. aastat.

Lisaks olen teinud kaastööd mitmele entsüklopeediale: venekeelne “Математическая энциклопедия” (hiljemõlgitud inglise keelde), “Eesti Entsüklopeedia”, eestikeelne “Teaduse Biograafiline Leksikon”.

Aastatel 1962–1989 olin TÜ algebra ja geomeetria kateedri juhataja, minu juhendamisel on kaitstud 17 väitekirja. Olin ka matemaatikateaduskonna dekaan aastatel 1974–1980. Algatasin Eesti Matemaatika Seltsi taasasutamise ja olin 1987–1994 selle esimene president.

Autasustamise vääriliseks on tunnistatud eeskätt minu geomeetria alased teadusuuringud. Need on kõik loetletud minu biobibliograafias, kus on antud ka nende eestikeelsed sisuülevaated. Neid kõiki ei ole mõtet siin korrata. Selle asemel võiks lugeja tutvuda biobibliograafia sisuülevaadete osaga.

Lisaksin siinkohal, et minu uuringute viimasteks kokkuvõteteks on monograafiad “Semiparallel Submanifolds in Space Forms” (Springer, New York, 2009) ja “Foundations of Geometry, based on betweenness and flag-movements” (*Estonian Mathematical Society*, Tartu, 2009). Esimese mõiste tõi sisse belgia noor matemaatik J. Deprez, ise seda lähemalt uurimata. Mul õnnestus luua semiparalleelsete alammuutkondade teooria alused ja esitada seda oma monograafias. Kujunes viljakas koostöö belgia matemaatikute L. Verstraelen’i ja F. Dillen’iga ning minu publikatsioonide keeleks sai nüüd vene keele asemel inglise keel. Samal ajal iseseisvus Eesti uuesti ja piirid läksid lahti – seniste erandlike sõitude asemel muutus regulaarseks osavõtt väliskonverentsidest.

Olles lõpetanud esimesena mainitud monograafia, võtsin käsile teise, milles käsitlesin USA ja eesti matemaatikute O. Vebleni, J. Sarve, J. Nuudi ja A. Tudebergi (Humala) kujundatud vahelsusaksiomaatikat. Viimane iseloomustab vahekorda “üks punkt on kahe teise punkti vahel”. Mul õnnestus uue aksiomaatika abil defineerida sirge ja tasandi mõisted ja tuletada vajalikud teoree-

mid (D. Hilbertil on need mõisted veel põhimõisted). Uueks mõisteks sai *flag* ('lipp') (punkti, sellest lähtuva poolsirge ja viimasega külgneva pooltasandi ühend). Kongruentsus on siin kaht 'lippu' ühte viiva punktihulga vahelsust säilitav üksühene vastavus.

Need kaks monograafiat on nähtavasti põhjustanud minu lülitamise 2009. aastal nimistusse "Leading Scientists in the World".

KIRJANDUS

Biobibliograafia : Ülo Lumiste, Tartu Ülikooli emeriitprofessor, Eesti Teaduste Akadeemia akadeemik. Tartu, 2010, 58 lk.

Lumiste, Ü. 1964. Geomeetria alused. Tartu Riiklik Ülikool, Tartu, 160 lk.

Lumiste, Ü. 1964. On models of betweenness. Proc. Acad. Sc. Estonian SSR. Phys. Math. Techn., 3, 200-209 (Russian).

Lumiste, Ü. 1966. Connections in homogeneous fibre bundles. Mat. Sbornik, 69, 3, 419-454 (Russian; English transl.: Amer. Math. Soc. Transl. 1970, 2, 92, 231-274).

Lumiste, Ü. 1971. Connection theory in bundle spaces. Itogi Nauki. Algebra. Topologiya. Geometriya. VINITI, Moskva, 123-168 (Russian; English transl.: J. Soviet Math. 1973, 1, 363-390).

Lumiste, Ü. 1973. Projective connections in the canonical bundles of manifolds of planes. Mat. Sbornik, 91, 2, 211-233 (Russian; complemented English transl.: Math. USSR Sbornik (USA), 1973, 20, 2, 223-248).

Lumiste, Ü. 1975. Differential geometry of submanifolds. Itogi nauki. Algebra. Topologiya. Geometriya, vol. 13. VINITI, Moskva, 273-340 (Russian; English transl.: J. Sov. Math., 1977, 7, 654-694).

Evtushik, L., Lumiste, Ü., Ostianu, N., Shirokov, A. 1979. Differential geometric structures on manifolds. Itogi Nauki i Tekhniki. Problemy Geometrii, vol 9. VINITI, Moskva, 5-246 (Russian; English transl.: J. Sov. Math., 1980, 4, 1573-1710).

Lumiste, Ü. 1982. Connections in associated fibre bundles and gauge models. Colloquia Mathematica Societatis Janos Bolyai, vol. 31. North-Holland Publ. Co., Amsterdam-Oxford-New York, 393-411.

Lumiste, Ü. 1985. Structures of differential geometry and gauge theories. Itogi Nauki i Tekhniki. Problemy Geometrii, vol 17. VINITI, Moskva, 153-171 (Russian; English transl.: J. Sov. Math., 1987, 37, 1254-1268).

Abramov, V., Lumiste, Ü. 1986. Superspace with underlying Banach bundle of connections and supersymmetry of the effective action. Izv. Vysh. Uch. Zav. Matem., 1, 3-12 (Russian; English transl.: J. Sov. Math., 1986, 30, 1, 1-13)

- Lumiste, Ü. 1990. Semi-symmetric submanifold as the second order envelope of symmetric submanifolds. *Proc. Estonian Acad. Sci. Phys. Math.*, 39, 1, 1-8.
- Lumiste, Ü. 1991. On submanifolds with parallel higher order fundamental form in Euclidean spaces. *Lect. Notes in Math.*, N 1481. Springer Verlag, Berlin, 126-137.
- Lumiste, Ü. 1995. Symmetric orbits of orthogonal Veronese actions and their second order envelopes. *Results of Math.*, 27, 284-301.
- Lumiste, Ü. 1996. Symmetric orbits of orthogonal Plücker action and triviality of their second order envelopes. *Annals of Global Analysis and Geometry*, 14, 237-256.
- Lumiste, Ü. 1997. Semiparallel time-like surfaces in Lorentzian space-time forms. *Differential Geom. Appl.*, 7, 59-74.
- Lumiste, Ü. 2000. (Chapter 7) Submanifolds with parallel fundamental form. *Handbook on Differential Geometry* (eds. F. Dillen, L. Verstraelen). Elsevier Science B. V., Amsterdam, 779-864.
- Lumiste, Ü. 2009. *Semiparallel Submanifolds in Space Forms*. Springer, New York, 306 pp.
- Lumiste, Ü. 2009. *Foundations of Geometry: Based on Betweenness and Flag-Movements*. Estonian Math. Soc., Tartu, 100 pp.



Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest



Heidi-Ingrid Maaros

Sündinud 12.09.1942 Võru linnas

- 1960 Saaremaa Ühisgümnaasium
- 1966 Tartu Ülikooli arstiteaduskond
- 1971 meditsiinikandidaat, Tartu Ülikool
- 1991 meditsiinidoktor, Tartu ülikool

1966–1967 Märjamaa Haigla röntgenkabineti juhataja; 1967–1968 Erika Haigla gastroenteroloog; 1968–1971 TÜ aspirantuur; 1971–1973 Tartu Rajooni ja 1973–1975 Tartu Vabariikliku Kliinilise Haigla gastroenteroloog. Tartu Ülikoolis: 1975–1989 arstiteaduskonna sisehaiguste kateedri assistent, dotsent; vanemteadur gastroenteroloogia erialal; arstiteaduskonna polikliiniku ja peremeditsiini õppetooli korraline professor, polikliiniku juhataja. Alates 2009 Tartu Ülikooli emeriitprofessor, juhtivteadur. Samaaegselt 1995–2000 arstiteaduskonna prodekaan residentuuri alal; 2000–2009 Ülikooli Perearstikeskuse perearst.

- 1994 Eesti riigi teaduspreemia *Helicobacter pylori* epidemioloogiliste uuringute eest
- 1994 EENA Aasta Naise tiitel
- 1995 auhind parima ettekande eest, gastroenteroloogia maailmakongress Los Angeles, USA
- 2001 Punase Risti III järgu teenetemärk
- 2011 Tartu Ülikooli suur medal

Teaduslike publikatsioonide üldarv üle 300. Juhendanud 10 doktoriväitekirja.

Preemia laureaadi sõnavõtt 24.veebruaril 2012

Teaduspreemiate tänaste laureaatide nimel soovin avaldada sügavat tänu Eesti Vabariigi valitsusele meile osutatud suure tunnustuse eest! Oleme siin täna esindatud üksikisikutena, aga teadustöö sünnib paljude teadlaste ja erialade koostöös. Tunnustus väärtustab meie ülikoole ja instituute. Me kõik oleme tänulikud oma õpetajatele, oma kaastöötajatele Eestis ja mujal maailmas. Teadustöö nõuab pühendumist ning aega. Oleme siiralt tänulikud oma perekondadele võimaluse eest olla teadlane.

On sümboolne, et sel aastal antakse teaduspreemiad üle sajanditevanuses Tartu Ülikooli aulas. Selles aulas on aastasade jooksul tunnustatud paljuid õpetlasi ja teadlasi. Meie infotehnoloogia ajastu erineb arusaadavalt märkimisväärselt varasemast ning uurimistöö, mida on võimalik teha tänapäeval, tunduks neile sajanditetagustele teadlastele ulmelisena.

Meil on nanotehnoloogia, genoomika, nukleaaruuritud jm, meil on võimalik koguda hulgaliselt andmeid, luua suuri andmebaase, leida seoseid lugematu arvu tunnuste vahel väga kõrge tehnilise tasemega aparaatidega. Meil on võimalik liigutada infot ühest maailma otsast teise ühe arvutiklahvi klõpsuga. Isegi artikleid tundub, et kirjutab valmis arvuti, tarvitseb vaid leida vastav programm ja vajutada sõnade esimesi tähti. Tegelikult aga just sellistes tehniliste vahenditega varustatud tingimustes tuleb ilmsiks, et, tsiteerides Jaak Vilo kõnet siin aulas paar päeva tagasi, tarkvara inimese ajus on kõige väärtuslikum. Just teadlane, inimene peab masinatele andma õiged eesmärgid, leidma seostest paikapidavad, tõlgendama arukalt tulemusi. Teadlane saab aru, kui on tulemused nii uudsed, et on vaja paradigmat (mõtteraamist) muuta. Tõelised teadussaavutused tekivad just teaduse seniseid piire ja enda ego ületades, seda võin kinnitada isikliku kogemusega. Peame ikka ja alati panustama inimestesse, teadlastesse. Soovin kõikidele praegustele ja tulevastele teadlastele loovust, võimet olla avatud uutele teooriatele ja mõistma muutuste võimalikkust.

Peaaegu Eesti riigi teaduspreemiat väga suureks tunnustuseks elu jooksul tehtud teadus- ja arendustööle. Selle tunnustusega ei väärtustatud mitte ainult mind isiklikult, vaid kõiki neid inimesi, kes on minuga koos töötanud, lahendanud probleeme, millega oleme tegelenud, minu ülikoolis – Tartu Ülikoolis, kus olen õppinud ja töötanud üle 50 aasta. Naisteadlase ja naisprofessorina tunnen ka seda, et meie ühiskond on järele jõudmas meie põhjanaabritele naiste väärtustamises akadeemilise teaduse ja hariduse tippudena. Olen selle üle uhke ja siiralt tänulik.

KODU JA KOOL

Inimese kujunemisele avaldavad mõju nii temasse kodeeritud geneetiline informatsioon kui ka ümbrus. Arvan, et olen oma vanematelt pärinud uuendusmeelsuse, edasipüüdlikkuse ja positiivse suhtumise ümbritsevasse. Minu ema Evy Maria Kirss (Rattur) oli oma pere paljudest lastest noorim ja pärast Saaremaa Ühisgümnaasiumi lõpetamist läks õppima proviisoriks Tartu Ülikooli, mille lõpetas proviisori kutsega 1936. a. Minu isa Gustav Rattur astus pärast Kuressaare Riigikooli lõpetamist Tallinna Tehnikumi (Tallinna Tehnikaülikooli eelkäija), mille lõpetas arhitektina 1928. a. Nende mõlema lapsepõlv ja kooliaeg möödus Saaremaal, muudest keskustest kaugel. Eesti Vabariik oli just sündinud. Mõlemad teenisid enne ülikooli astumist raha, et ülikooli ajal hakkama saada. See oli päris tavaline, sest vanematel polnud võimalik lapsi palju aidata. Küllap oli neisse sünniga antud edasipürgimise tahe, õpihimu ja püsivus kõigist raskustest hoolimata saada ülikooliharidus. Minu õde Maie Ly Rattur (Haavel) sündis siis, kui ema õppis ülikoolis. Pärast ülikooli asusid vanemad tööle Võru linna ja seal sündis sinu sõja ajal mina. Sõja jalust rändasime tagasi Saaremaale, kuhu ka jäime, sest isa sai 1944. a õnnetult surma. Ema töötas Kuressaares proviisorina ja kasvas ükssinda kaht last. Minu elu mõju-

tasid tublid eesti naised – ema, tädid, õde ja sõbrannade emad. Ka sõbrannade perekondades oli sõda võtnud neilt isad. Emade lahendada oli kõik, isegi kõige keerulisemad tehnilised probleemid. Ma nägin ja teadsin, et naised saavad kõigegega hakkama. Ema pidas õppimist ja eriti keelte omandamist väga oluliseks. Väga varakult sain teada ka akadeemilistest väärtustest. Ema käest kuulsin Eesti Vabariigi aegsest üliõpilaselust ja Tartu Ülikool oli mul templi staatuses juba varajases lapsepõlves. Kui mina läksin esimesse klassi, astus minu õde Tartu Ülikooli arstiteaduskonda. See ilmselt otsustas ka minu edasise saatuse – elasin õega mõttes läbi 6 aastat üliõpilasaega. Arsti ametiga sain teha lähemalt tutvust õe ja õemehe Ants Haaveli juures juba keskkooliklassides, kui mind võeti kaasa haiglasse operatsioonisaali, protseduuridele ja palatitesse suhtlema patsientidega. Olin lapsena ja ka kooliajal palju apteegis – kuulsin, mida inimesed proviisorile kaebasid, kuidas ta neid nõustas ning ravimeid andis. Minu ema hindas arsti elukutset väga, ta ise pidi sageli patsiente aitama, sest tol ajal oli arste vähe. Seepärast polnud mul raskusi elukutse valikuga. Kodust sain kaasa teadmise, et väärtustada tuleb haridust, hakkama tuleb saada ise ja lootma peab ikka kõige rohkem iseendale, inimestes tuleb alati leida positiivset ja püüda neid mõista. Samas oli ka teadmine, et eesmärgid peavad olema kõrged, mõelda tuleb suurelt, ei tohi olla allaheitlik, vaid ikka saab leida lahenduse ka kõige raskemates olukordades.

ARSTITEADUSKOND

Väga oluline minu arstiks kujunemisel oli ülikooli 4. kursuse, kui alustasime õppetööd Toomel sisehaiguste kliinikus. Sisehaiguste kateedrit juhatas Saaremaalt pärit ja ka seal tunnustatud Kuno Kõrge. Toome sisehaiguste kliinik oli koolkonda loov, kus töötasid väga erudeeritud arstid, head õppejõud, võimekad teadlased. Toomel töötasid sel ajal doktorid Jüri Gross, Nils Sachris, Heino Hanson, Sigrid Aru, dotsendid Ülo Lepp, Sulev Maramaa jt. Üliõpilastele pakuti võimalust olla subordinaatoriks kellegi arsti juures ja tegeleda patsientidega. Minu juhendajaks oli tol ajal veel assistent Vello Salupere. Dr Saluperel oli 8 patsiendiga palat, minu ülesandeks oli tegeleda palati patsientidega, vormistada haiguslugusid, teha iga päev palatis visiiti ja kord nädalas ette kanda patsientide seisust dr Saluperale ja professor Kõrgele. See oli tõeline vastutus, mille käigus õppisin palju protseduure, mind usaldati ja ma sain põhjaliku ravitöö kogemuse juba üliõpilasena.

Lisaks sellele alustasin teadustööga ÜTÜ ringis, juhendajaks Vello Salupere ja teemaks krooniline gastriit. Abistasin patsientide uurimisel, analüüsisin diabeedihaigete haiguslugude andmeid. Selle uurimistöö tulemustest ilmus minu esimene artikkel “Gastrointestinaalsed tüsistused diabeedi korral” ajakirjas Nõukogude Eesti Tervishoid. Sisehaiguste ring oli suure liikmeskonnaga, teadustöö oli üliõpilaste hulgas mainekas. Ringi aastapäevad olid meeleolukad, Kuno Kõrge oli alati kohal ja hoidis ringi koos toredate lauludega. Ringil olid ka traditsioonilised matkad, külastati vilistlasi erinevates Eesti paikades ja seal

tutvuti kohalike arstide tööga ja ümbrusega. Toome haigla periood kujundas minu arusaamised tööst arstina, mind õpetati nägema inimest kui tervikut ja kliiniliste probleemidega kokkupuude tekitas huvi patsientidega seotud teadustöö vastu. Ülikooli lõpetades olid mul valikud tehtud – soovisin küll töötada arstina, aga samal ajal huvitas mind uurimistöö. Nii paljud patsientidega seotud probleemid tundusid olevat veel lahendamata.

ASPIRANTUUR

Pärast ülikooli lõpetamist suunati mind tööle Märjamaa haiglasse, aga üsna pea vabanesin sealt abiellumise tõttu Jaak Maarosiga, kes töötas Tartus. Tartu rajooni peaarst dr Simeon Ellervee ja dr Maido Sikk võtsid mind tööle Erika Haiglasse, mis profileeriti ümber nakkushaiguste haiglast gastroenteroloogia haiglaks. See oli esimene Eesti gastroenteroloogia haigla. Ülikooli ajal saadud kogemus patsientidega ning hea Toome haigla kool tagas kindlustunde. Sel aja ei olnud erialaõpet residentuuris, lõpetajad saadeti tööle ilma arsti diplomita. Diplomi saime alles aasta pärast lõpetamist. Erika haiglas töötamine oli tõeliseks erialakooliks. Minul ja kolleegidel Aleksander Tammetil, Meeli Mihklisaarel, Virve Siilivasel, Rein Keevallikul, Asta Koldel, Agu Tammel, Virve Siirakul ja Mari Jauramil oli võimalus arendada uusi uurimismeetodeid, ise otsustada mitmeid korralduslikke küsimusi, ravida keerulisi patsiente.

Me kõik suhtusime oma töösse loominguiliselt ja rõõmuga, saime piisavalt rakendada uuendusi. Meid abistas Vello Salupere, kes igal nädala visiteeris haiglat ning kellega arutasime keerulisemaid haigusjuhte. 1968. a astusin aspirantuuri, juhendajaks Kaljo Villako. Teadusuuringusse hõlmasime Erika Haigla patsiendid, võtsime kasutusele mitmeid uusi imendumisteste ja peensoole biopsia. Suutsime kogu haigla personali innustada uuendusi sisse viima. Kolm aastat kogusin proove, töötlesin ja analüüsisin neid arstiteaduskonna kesklaboris Veski tänaval. Aspirantuuri lõpuks oli väitekiri valmis. Ka abi-kaasa Jaak Maarosi väitekiri valmis samaks kaitsmise päevaks, 19. nov. 1971. Nii said meist pärast Tartu Ülikooli otsuse kinnitamist Moskva Kõrgemas Atestatsioonikomisjonis (VAK) meditsiiniteaduste kandidaadid. Järgneval viiel aastal mõjutas oluliselt minu kujunemist juhendaja Kaljo Villako, kes arendas teaduslikku mõtlemist, diskussioonioskust, maailmavaadet ja rahvusvahelist suhtlemiskultuuri. Akadeemilise maailma avas mulle minu perekond, eelkõige Tartu Ülikooli akadeemiline sekretär Irene Maaros, kes koos lähedaste sõpradega Eesti Naisüliõpilaste Seltsist esindas Eesti akadeemilist eliiti.

KLIINILISE TEADUSTÖÖ ILU JA VALU

Pärast aspirantuuri asusin tööle gastroenteroloogina. Paari aasta pärast kutsus Kuno Kõrge mind sisehaiguste kateedri assistendiks, kellel oli täita kolm akadeemilise meditsiini ülesannet – olla õppejõud ja tegeleda üliõpilastega, olla

raviarst patsientidele ja tegeleda teadustööga. See töö võimaldas mul tegeleda erinevate haigustega patsientidega ning välistas kujunemise väga kitsaks spetsialistiks. Nautisin õppetööd üliõpilastega ning tööd patsientidega. Mulle meeldis juhendada üliõpilaste teadustööd ja minu edukaim üliõpilane kahe auhinnatud teadustööga oli Külliki Suurmaa, tunnustatud gastroenteroloog.

Teadustöös on mul olnud kõige olulisemal kohal patsiendid – terved isikud epidemioloogilistes uuringutes või mingite krooniliste haigustega, eelkõige mao- ja kaksteistsõrmiksoole haigustega patsiendid. Nii olin ma ka teadusuuringutes arsti rollis. Kuna kohtusime samade patsientidega korduvalt vähemalt iga 5 aasta tagant seisundi dünaamiliseks jälgimiseks või ravitulemuste hindamiseks, siis oli sageli vaja lahendada ka uuringusse mittepuutuvaid terviseprobleeme. Seetõttu ongi kliiniliste teadusuuringute tegemine ühest küljest raske, aga samas ka huvitav. Neis uuringutes saab patsienti käsitleda tervikuna, samas aga uuringute objektiivsuse tagamiseks on tähtis kontsentreeruda kindlale eesmärgile ning ka organile. Kuigi alustasime patsientide uuringutega ajastul, mil puudusid informeeritud nõusoleku vormid ja eetikakomisjonid, olid uuringud alati patsientide huvisid arvestavad. Patsiendid olid uuringutest huvitatud ning neile anti ka tagasisidet.

MAGU JA PEENSOOL – TÄNAPÄEVAL UUESTI AVASTATUD

Minu eesmärgiks oli leida, kuidas maos toimuvad muutused arenevad, mis on muutuste tekitaja, kuidas limaskestas toimuvad muutused mõjutavad organi funktsiooni ja millised on erinevate seedetraktiorganite funktsioonide omavahelised seosed. Magu ja peensool on inimese tervise tagamisel tegelikult olulisemad, kui sageli adutakse. Toimub ju eluks vajalike toitainete piisav seedimine ning imendumine just nende organite intaktse funktsiooni puhul. Lisaks on magu ja peensool tähtsad endokriinorganid, mille düsfunktsiooni korral kannatab ka teiste seedetrakti elundite, nagu pankreas, sapipõis ja jämesool, funktsioon. Normaalsest mao talitlusest ja vaba soolhappe produktsioonist oleneb ka soolestiku mikrofloora koosseis, mille muutused omakorda mõjutavad toitainete seedimist ja imendumist. Organsüsteemid on omavahel nii tihedalt seotud, et mitmed maohaigused mõjutavad kogu organismi talitlust.

Alustasin uurimistööd peensoole imendumisfunktsiooni ja limaskesta morfoloogiliste muutuste kindlakstegemisega kroonilise atroofilise gastriidi ja peptilise haavandiga haigetel. Seda polnud varem nii põhjalikult uuritud ja pole ka senini tehtud. Peensoole limaskesta morfoloogiaga tegelesin ise, alates limaskestatükkide võtmisest, hindamisest luupmikroskoobis, tükkide sisestamisest parafiini, lõikamisest mikrotoomiga, värvimisest hematoksüliini ja eosiiniga, lõpetades limaskesta hattude hindamise ja morfomeetriaga. Ka mao limaskesta muutuste hindamine oli minu enda ülesanne, sest olin seda õppinud koos patoloogi Raik-Hiio Mikelsaarega ja Vello Saluperega. Igapäevases praktikas vaatasime ise ka söögitoru ja jämesoole limaskesta ning maksabiopsial saadud maksakudet. Selline morfoloogia tundmine kuulus gastro-

enteroloogi kvalifikatsiooni. Olen seedetrakti morfoloogiliste uuringutega tegelema üle 40 aasta. Keerulisematel juhtudel abistas mind Kaljo Põldvere, kellega koos diagnoosisime ühe haruldase haigusjuhu Whipple tõve muutustega maksakoes ja jämesoole limaskestas.

Leidsin oma patsientidel, et kroonilise atroofilise gastriidi korral mao vaba soolhappe sekretsioon oli puudulik ja neil patsientidel esines steatorröa. Avaldasime oma tulemused Moskvas ilmuvas ajakirjas Klinitšeskaja Meditsina 1972 (vene keeles). Tol ajal ei osanud me oma tulemusi seostada sellise väga levinud häirega nagu osteoporoos, osteoporoosi diagnostika meetodid olid puudulikud. Viimaste aastate kõmuliste uudiste kohaselt esineb, pikka aega ja suurtes doosides mao soolhappe sekretsiooni pärssivaid ravimeid kasutanud patsientidel sagedamini osteoporoosilisi luumurde. Steatorröa on tunnuseks, et neil patsientidel võib olla luu formeerumiseks vajalike koostisosade kaltsiumi ja rasvas lahustuvate ainete imendumine takistatud. Üllatusena näen, et minu tollaegne leid on uuesti päevakorras.

Minu teadustööga aprobeeritud meetodeid, nagu steatorröa määramist van de Kameri meetodil ja d-ksüloosi testi peensoole imendumisfunktsiooni uurimiseks, kasutatakse kliinilises praktikas meie haiglates ja ka mujal maailmas veel tänaseni. Nüüd küll pääsetakse peensoolele ligi uute uurimismeetoditega, nagu peensoole endoskoopia, kapselendoskoopia, mitmed immuunmeetodid ja radioaktiivsed isotoobid, kuid peensoole haigused on uuesti aktuaalsed ning neid diagnoositakse sagedamini. Kui tegime hulgaliselt peensoole biopsiat, siis leidsime mõnel oma patsiendil imendumishäiretega ja peensoole limaskesta atroofiaga kulgeva tsöliaakia. Minu esimese doktorandi Oivi Uibo uurimisteema oli tsöliaakia lastel ning ta on seda teemat edukalt edasi arendanud.

Tänapäeval on tsöliaakia diagnoosimist parandanud tundlikumad testid, nagu koe transglutaminaasi antikehade määramine. Tänu diagnostika paranemisele ei peeta tsöliaakiat enam haruldaseks haiguseks. Epidemioloogilised uuringud kogu maailmas osutavad tsöliaakia sagedasele esinemisele rahvastikus. Nii on 2010. a epidemioloogiliste uuringute kokkuvõttes nimetatud tsöliaakia sageduseks üks haigusjuht 100–300 indiviidi kohta. Kuigi Eestis tsöliaakiat diagnoositakse harvemini, peaks sellele haigusele alati mõtlema, eriti kui patsientidel esineb toitainete imendumishäiretega seotud probleeme, nagu osteoporoos, kasvuhäired jne. Ring on saanud täis – 40 aastat pärast minu esimest põhjalikumaid uurimistöid on mao ja peensoole funktsiooni ja morfoloogia seosed muutunud uuesti aktuaalseks.

KROONILISE GASTRIIDI UURINGUD JUHATASID TEE HELICOBACTER PYLORI JUURDE

1970ndatel aastatel toimusid Soomes professor Max Siurala ja Eestis professor Kaljo Villako juhtimisel rahvastiku epidemioloogilised uuringud, millega selgitati välja gastriidi esinemissagedus, dünaamika aastate jooksul ning gastriidi erinevate vormide seos maovähiga. 1972. a liitusin Kaljo Villako juhita-

va gastriidi epidemioloogiat ja hüpolaktaasiat uuriva rühmaga (foto 1). Krooniline gastriit oli tol ajal maailmas vähepopulaarne uurimisteema vähesel kliinilisel väljundi tõttu. Eestis arenes edukalt autoimmuunse gastriidi uurimine ning Vello Salupere ja Raivo Uibo olid selle teema korüfeed, tuntud nii Nõukogude Liidus kui ka rahvusvaheliselt. Autoimmuunse gastriit oli aga vaid osa suurest gastriidi probleemist. Soomes alustati kroonilise gastriidi epidemioloogia uuringutega ja ettepanek võrrelda kroonilise gastriidi esinemist kahes geneetiliselt lähedases populatsioonis sobis ka Kaljo Villakole. Uuring Soomes ja Eestis toimus samadel põhimõtetel: teha juhusliku valikuga elanike hulgas kindlaks gastriidi esinemissagedus ja hiljem jälgida samas uuringurühmas gastriidi dünaamikat iga 5 aasta järel. Seega oli uuring juba algselt planeeritud aastakümneteks.



Foto 1.

Eesti-Soome koostöö Eesti töögrupp 2001. a Siurala sümpoosiumil Tallinnas. Vasakult: Margot Peetsalu, Ann Tamm, Heidi-Ingrid Maaros, Toomas Sillakivi, Kaljo Villako, Helgi Kolk, Raivo Uibo, Margus Lember, Tamara Vorobjova, Ants Peetsalu, Marje Oona, Agu Tamm.

Uurimismetoodikad, gastroskoopia (foto 2) ja mao limaskestast proovitükkide võtmine ning hindamise kriteeriumid standardiseeriti ja kooskõlastati. Toimusid vastastikused treeningud mao limaskestast muutuste hindamise ühtsete kriteeriumide saavutamiseks. Koostöö soome teadlastega avas meile akna tõelisse teadusmaailma.



Foto 2.

Heidi-Ingrid Maaroos (paremal) koos endoskoopiaõe Helgi Tammuriga tegemas gastroskoopiat Saaremaa rahvastiku uuringul 1994. a.

Igal aastal toimusid ühised koosolekud kord Soomes, kord Eestis. Tihedas koostöös avaldasime ühispublikatsioone, mis said laialdase rahvusvahelise leviku. Hoolimata Eesti ja Soome tolleaegsest suurest erinevusest nii majanduses kui ka tervishoius ja teaduses, suutsime oma teadustöö üles ehitada samadel meetodilistel printsiipidel ning teha uuringud sama kvaliteediga. Koostöö oli sisuline – analüüsiti, võrreldi ja publitseeriti teadustöö tulemusi. Selgus, et gastriit oli nii Soome kui ka Eesti populatsioonis sage nähtus ning areneb aastatega kergematelt raskemate vormide suunas. Need uurimistööd olid maailmas unikaalsed, andes suure panuse edasisteks maohaiguste uuringuteks ning olulise väljundi ka kliinilisse meditsiini. Nimelt oli gastriidi põhjus kuni 1982. a selgusetu. Paljud hüpoteesid ei võimaldanud mõista, miks gastriit on sage, miks ta edasi areneb ning miks ta alati eelneb teistele sagedastele maohaigustele, nagu peptiline haavand ja maovähk. Murrang gastriidi mõistmises toimus siis, kui Barry Marshall ja Robin Warren 1982. a Perth'is Austraalias avastasid gastriiti tekitava bakterit, mida hiljem hakati nimetama *Helicobacter pylori*'ks (2005 Nobeli preemia). Professorid Max Siurala ja Kaljo Villako olid gastriidi teemaga tegeledes väga ettenägelikud! *Helicobacter pylori* avastaja Barry Marshall ütleb oma memuaarides, et ta luges Eestis ja Soomes tehtud gastriidi uuringuid ning need julgustasid teda jätkama oma uurimistööd leidmaks gastriidi tekitaja.

Barry Marshall ja Robin Warren publitseerisid informatsiooni *Campylobacter pyloridise* (hiljem nimetati *Helicobacter pylori*) kohta 1982. a ja tõestasid, et see on gastriidi tekitaja. Mõni aeg hiljem ilmus teade, et on loodud Euroopa *Helicobacter pylori* uurimisrühm. Üsna pea pärast seda esimest artiklit hakkas ilmuma hulgaliselt artikleid, uurimisrühmad püüdsid kiiresti saada esimesena jälg maha. Kui varem gastriidi vastu kliinilises ja ravi kontekstis tunti vähem huvi ning see oli peamiselt teadlaste uuringuobjektiks, siis pärast *Helicobacter pylori* avastamist algas uus ajastu kõikide maohaiguste käsitluses. Kuna aga gastriit oli paljudele uutele uurijatele tundmatu haigusseisund, oli meil suurte kogemustega gastriidiuurijatena eelised liituda selle uurimissuunaga. Gastriidi arengu jälgimine tõestas, et ka autoimmuunne gastriit ja parietaalrakkude anti-kehade teke saab alguse *Helicobacter pylori* poolt tekitatud muutustest. Seega on gastriidi teke ja areng terviklik dünaamiline protsess.

Aastal 1986 olin Helsingi Ülikooli haiglas patoloog professor Pentti Sippos laboris, kus uuriti kõiki mao limaskestast preparaate *Helicobacter pylori* kindlakstegemiseks. Kuigi nad otseselt ei avanud selle uuringu tähtsust oma edasistes plaanides, õhutas see siiski alustama ka Eestis vastavate uuringutega. Värvisin esimesed peptilise haavandiga patsiendi mao limaskestast preparaadid Tartus Toome haigla laboris Warthin-Starry meetodil 1986. a. Imehästi olid näha hõbetatud bakterid mao limaskestast limakihis. See oli läbimurre uude ajastusse – diagnoosisime esmakordselt Eestis mikroskoobi all *Helicobacter pylori* kolonisatsiooni mao limaskestas. Seejärel värvisime kõik gastroskoopial mao limaskestast võetud proovitükid Giemsa meetodil (sobib samuti hästi helikobakterite identifitseerimiseks) ja nii kogunes kiiresti materjal *Helicobacter pylori* esinemise kohta peptilise haavandi haigetel ja düspepsiaga haigetel (foto 3).

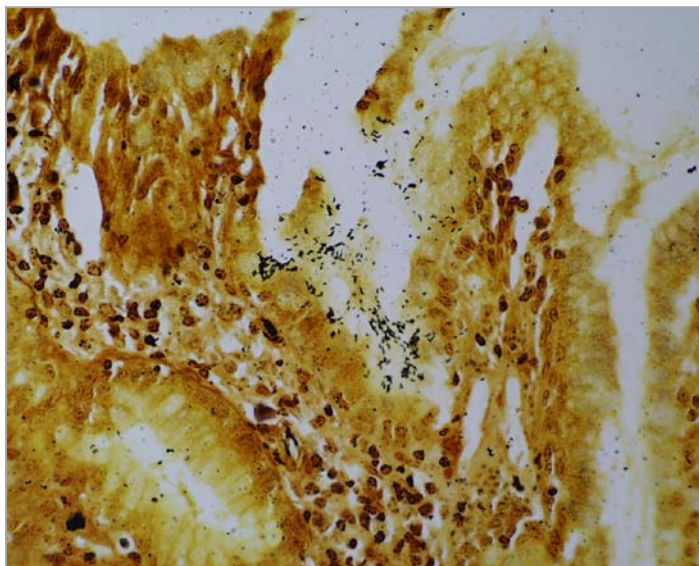


Foto 3.
Helicobacter pylori kolonisatsioon mao limaskestas (värvitud Warthin-Starry meetodil).

Leidsime 92% kaksteistsõrmiksoole haavandi ja 98% maohaavandi patsientide mao limaskestas helicobakteri kolonisatsiooni. Avaldasin kaks esimest artiklit ajakirjas Nõukogude Eesti Tervishoid 1987. a. Koos Tamara Vorobjovaga arendasime edasi uue uurimisteema ideid. Immunoloogia labor Raivo Uibo juhtimisel hakkas määrama helicobakteri antikehi. Metoodika selleks saime Lundist professor Torkel Wadströmi laborist, mida külastasin koos Marika Mikelsaarega, õppides metoodikat Ingrid Nilssoni juhendamisel. Hiljem toetas professor Wadström ka immunoblot meetodi kasutuselevõtmist ning Tartu Ülikooli labor arendas metoodikaid edasi. Helicobakteri teema oli immunoloogia laboris prioriteetne, Tamara Vorobjova eestvedamisel tehti Eestis rahvastikupõhiseid uuringuid helicobakteri seropositiivsuse määramiseks täiskasvanuil ja lastel, uuriti tsütotoksilisi antikehi ja tehti helicobakteri immunohistokeemilisi uuringuid. Immunoloogia labori osa selle teema arendamisel oli ülisuur. Avaldasime artikleid rahvusvahelistes teadusajakirjades. Gastroenteroloogide toetus eesotsas Vello Saluperega oli olemas, kuid esines ka mõningat skepsist uuel põhimõttel tehtava ravi suhtes. Uut ravisuunda toetasid ja osalesid ka teadusuuringutes Rein Keevallik, Külliki Suurmaa, Ingrid Kull, Katrin Labotkin ja Rein Tammur. Nad jälgisid ka patsientide haiguse kulgu ja paranemist. Peptilise haavandi ja kroonilise gastriidi tõendus põhise ravi laialdasemat kasutamist Eestis takistas kahjuks veel kümneteks aastateks gastroenteroloogide 'leige' suhtumine uude ravisse. Arvan, et tänaseks on kõik kahtlused *Helicobacter pylori* rolli kohta kroonilise gastriidi ja peptilise haavandi tekkes seljataga, möödunud on ju 30 aastat helicobakteri avastamisest.

HELICOBACTER PYLORI TARTU UURIMISRÜHMA KUJUNEMINE NING TEADUSTÖÖ

Lisaks immunoloogidele Raivo Uibole ja Tamara Vorobjovale liitus uue uurimissuunaga kohe Marika Mikelsaar oma uurimisrühmaga. Meil oli ühine doktorant Krista Lõivukene. Tegime kindlaks *Helicobacter pylori* erinevate tüvede omadused, Helena Andreson määras bakteri tüvede geene ja leidis tsütotoksiliste tüvede seose erinevate maohaigustega. Peremeditsiini doktorant Helgi Kolk valis patsiente, uuris kliinilisi haigustunnuseid arvutil põhineva Gladys küsimustikuga ja tegi neile helicobakteri määramiseks hingamisteste. Võrdlesime erinevaid *Helicobacter pylori* avastamise meetodeid, uurisime ka mao mikroökoloogiat. Koostöö mikrobioloogidega oli hindamatu tähtsusega, sest maohaiguste erinevad kliinilised vormid sõltuvad *Helicobacter pylori* tüvede omadustest. Grupiga liitus lastekliinik ja laste gastroenteroloog Tiina Rägo, kes koos peremeditsiini doktorandi Marje Oonaga jälgisid helicobakteri infektsiooni kliinilisi nähte ning dünaamikat järgneva kümne aasta jooksul.

Osalesime *Helicobacter pylori* infektsiooni ravi projektis lastel, millega tõestati, et traditsiooniline kolmikravi on vajalik ja efektiivne ka laste ravimisel. *Helicobacter pylori* uuringud muutusid oluliseks kirurgidele, sest peptilise haavandi kirurgiline ravi oli asendumas helicobakterile toimiva kolmikraviga. Kirurgide uurimistöödest, eesotsas Ants ja Margot Peetsaluga, pärinevad and-

med *Helicobacter pylori* seosest mao perforatsiooni ja mao verejooksudega. Bakteri kolonisatsiooni uuriti ka vagotoomiga patsientidel. Selgus, et peptilise haavandi tüsistuse korral ei ole lihtne infektsioonist jagu saada, mitmed kompleksraviskeemid ei toiminud ning uurijad järeldasid, et tegemist võib olla eri tüüpi *Helicobacter pylori* tüvedega. Seda tõestas ka Helena Andreson bakteri geenide määramisega. Hiljem liitus uuringusuunaga nahahaiguste kliinik. Helgi Silm ja Marje Oona juhendasid ühiselt doktorant Kristi Abramit, kes kaitses väitekirja 2011. a, *Helicobacter pylori* uuringutega tegeles ka Oleg Kurtenkov kolleegidega Tallinnas. *Helicobacter pylori* alane uurimistöö Eestis ja ka mujal on näide selle kohta, kuidas integreerida erinevate erialade vahelisi uurimistöid ning see tõestab, et teadusuuringutel puuduvad kindlad erialalised piirid. Uurimistöö käigus on välja kujunenud Tartu Ülikooli uurimisrühm. On märkimisväärne, et helikobakteriga seotud teemadel on aastatel 1991–2012 Eesti teadlastel kaitstud 18 meditsiiniteaduste doktori väitekirja. Minu juhendatud doktorantidest kaitsesid väitekirja mao ja peensoolehaiguste teemal Oivi Uiho, Marje Oona, Helgi Kolk ja Krista Lõivukene. *Helicobacter pylori* 20 aasta uurimistöö olen kokku võtnud kogumikus “20 aastat *Helicobacter pylori* uuringuid Eestis”.

RAHVUSVAHELISED KAASTEELISED

Pikaaegne efektiivne koostöö Soome gastroenteroloogidega algas 1972. aastal ja jätkub tänaseni. Tänu helikobakterile lisandus ka palju uusi koostööpartnereid kogu Euroopas. Alguse sai see 1989. a, kui mul õnnestus esimese helikobakteriga tegeleva teadlasena nn Nõukogude blokist pääseda Ulmi *Helicobacter pylori* Euroopa töörühma konverentsile. Tutvusin seal maailma selle ala tippudega eesotsas bakteri avastaja Barry Marshalliga, kellega oleme olnud pikka aega head kolleegid (foto 4).

Meie uurimisrühmal olnud sõbralik ja toetav koostöö paljude maailma riikide teadlastega, nagu professorid Francis Mègraud, David Graham, Peter Malfertheiner, Hilpi Rautelin, Tamara Matysiak-Budnik, Timo Kosunen, Torkel Wadström, Colm O’Morain, Robert Genta, Pentti Sipponen, Tony Axon, Dan Danielson, Lars Engstrand jt. Osalesime Euroopa Liidu uuringuprojektis Eurohepygast koos 32 riigiga, oleme Põhja-Balti Helikobakter *pylori* uurimisrühma liikmed ning korraldanud Eestis kaks rahvusvahelist helikobakteri konverentsi. Meie uurimisrühma liikmed on teinud ettekandeid peaaegu kõikidel iga-aastastel Euroopa helikobakteri töörühma konverentsidel, tänavu toimub 25. konverents.

HELICOBACTER PYLORI TEKITATUD KROONILISE GASTRIIDI ARENG MAOVÄHINI

Kaljo Villako andis mulle üle kogu epidemioloogiliste uuringute materjali, et saaksin seda retrospektiivselt uurida *Helicobacter pylori* suhtes. Tänu sellele saime tagantjärele väga autentselt kogutud materjali põhjal tuvastada gastriidi



Foto 4.
Paremalt Heidi Annuk, Marika Mikelsaar, Heidi-Ingrid Maaroo, Barry Marshall ja Tamara Vorobjova Kopenhaagenis 2005.

põhjuse Nii uurisime randomiseeritud populatsiooniuringutega 1972. a Kambjas (154 isikut valimis) ja 1979. a Saaremaal (227 isikut valimis) kogutud proovitükke. Keskmiselt esines Kambja uuringurühmas *Helicobacter pylori* positiivset kroonilist gastriiti 78% ja Kuressaares 73% uuritustest. Saaremaa uuringut korraldati 1984, 1989 ja 1994. a. Meie gastriidiuuringute boonus oli patsientide pikaajaline jälgimine, mistõttu nägime gastriidi arengut ajas ning võisime tõdeda, et infektsiooni pikaajasel kestmisel kahjustub mao limaskestast näärmeline ehitus, sellega väheneb mao limaskestast funktsioonivõime (väheneb vaba soolhappe sekretsioon koos mao endokriinfunktsiooni häirega).

Sellise arengu lõppfaasiks oli ligi 1/3 patsientidest mao limaskestast atroofia, intestinaalne metaplaasia ja düsplaasia. Samasuguseid muutusi koos *Helicobacter CagA* antikehadega leidsime koos Tamara Vorobjovaga maovähiga patsientidel. *CagA* antikehad iseloomustavad tsütotoksiliste tüvede olemasolu. Eestis on rahvastikupõhist *Helicobacter pylori* seropositiivsust hinnanud Tamara Vorobjova ja Raivo Uibo 1991. a kõigil Karksi-Nuia asula täiskasvanud elanikel (1461 isikut) ja Lõuna-Eesti lastel 1993–1996. Selgus, et *Helicobacter pylori* seropositiivsust esines täiskasvanutel erinevates vanusegruppides 84–94% ja 9–15 aastastel koolilastel 56%, seejuures *CagA* seropositiivsust oli täiskasvanuil 63–70% ja koolilastel 46%. Need uuringud

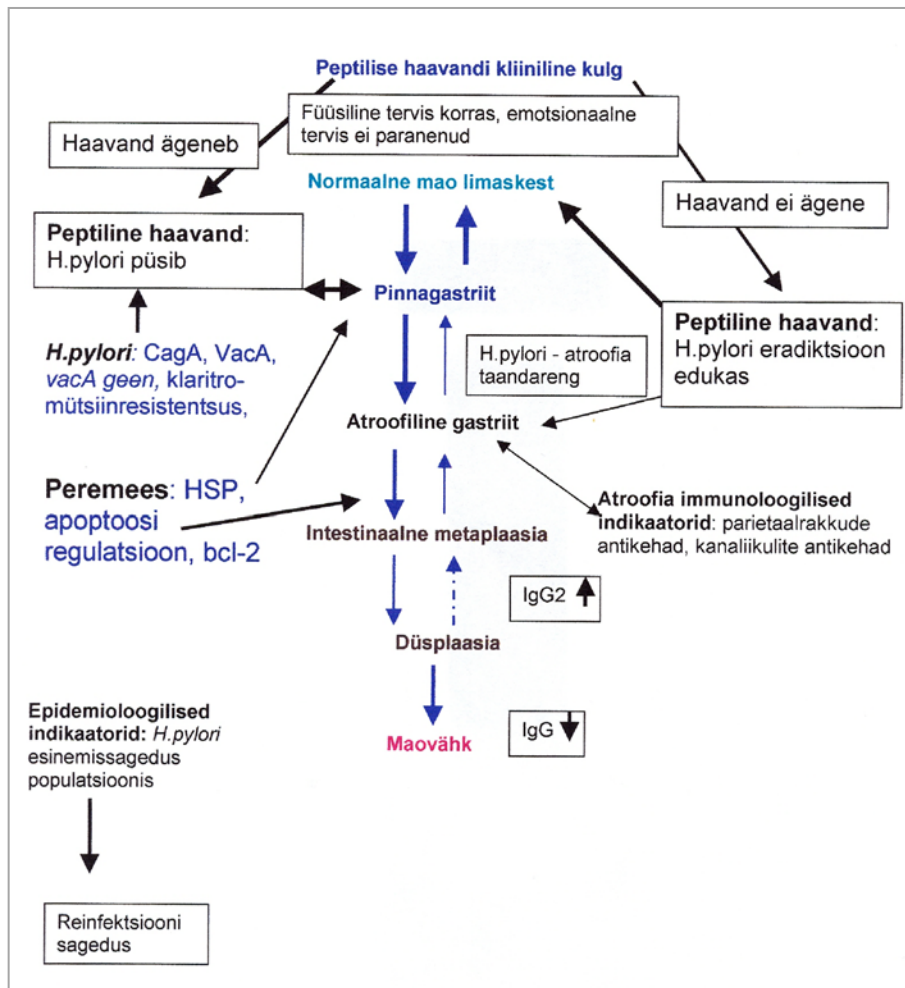
osutavad, et helikobakterite hulgas on Eestis valdavalt tsütotoksilised tüved, millel on seos maovähi riskiga. Maovähk oligi pikka aega Eestis kõige enam esinevaks seedetrakti vähiks ning tema esinemissagedus ületas mitmeid kordi teise maade vastavaid näitajaid. Gastriit võib vahel taandareneda haiguse loomuliku kulu käigus. On aga päris selge, et pole vaja oodata aastaid, sest gastriit taandareneb kiiresti vastava raviga ja tulemus on parem, kui ravi määratakse enne atroofia tekkimist. Kasutades ühes uuringuetapis *Helicobacter pylori* eradikatsiooniks kolmikravi (omeprasool, amoksitsilliin ja metronidazool) tõestasime, et gastriit raviga taandareneb. Üllatav oli aga see, et ka atroofia võis taandareneda aastate jooksul haiguse loomuliku kulu käigus. Märkasime seda Saaremaa rahvastiku uuringus, kuid algul oli seda tulemust raske uskuda, keegi polnud harjunud tunnistama, et kadunud näärmekude võib taastuda. Pidasime meie leidu uuringu meetodika veaks, sest mao limaskesta muutusi hindasime maost võetud proovitükkides ning laigulise atroofia korral proovitükid ei pruukinud olla korduval uuringul samast piirkonnast. Tänapäev on aga atroofia taandareng tõestatud ka teiste uurijate poolt nii kliinilistes uuringutes kui ka eksperimentis. Organismis toimuv rakkude kadumine ja uuenemine kehtib ka mao limaskesta näärmelise ehituse kohta – kui kaob atroofiat soodustav mõjur, võib atroofia taandareneda.

Krooniline gastriit on nn vaikne haigus, sest see haigusseisund võib kulgeda ilma kaebusteta, patsienti pikka aega häirimata. Seetõttu esineb mõttevälgatusi, et krooniline gastriit on normaalne vananemise tunnus. Nii see aga pole. Gastriidi haiguslik olemus ilmneb alles siis, kui kroonilise gastriidi foonil on tekkinud vaevusi ja tüsistusi põhjustav peptiline haavand või – veelgi halvem – maovähk (joonis 1). Krooniline gastriit on nagu viitsütikuga laeng, mille tulemused avalduvad alles protsessi pikaaegse kestmise järel. Koostöös Marika Mikelsaare grupiga leidsime, et kroonilise gastriidi patsientidel on bakteri *vacA* ja *cacA* erinevad genotüübid ning edaspidi võiks bakteri genotüüpide määramine olla aluseks maovähi riski hindamisel. Töö sel alal jätkub. Eelkõige on aga vaja kroonilisele gastriidile pöörata tähelepanu juba lapseas, tegeleda preventsiiooni, varasema diagnoosimise ning raviga, mis võimaldaks ennetada maovähi, peptilise haavandi ja selle tüsistuste teket.

KROONILISE GASTRIIDI JA *HELICOBACTER PYLORI* INFEKTSIOONI PREVENTSIOON JA RAVI

Oleme soovitud oma uuringute põhjal viia kroonilise gastriidi mõistmise arstide igapäevasesse praktikasse. Tavaliselt ei huvita raviarsti mao limaskesta histoloogiline leid ja seda peetakse patoloogide pärusmaaks. Tegelikult saadakse aga mao limaskesta seisundi kaudu ettekujutus ka mao funktsioonist, saab hinnata mao limaskestas leitud muutuste prognostilist tähendust ning üles ehitada patsientide käsitlemise strateegia. Normaalne mao limaskest ja helikobakteri puudumine on kindlaks eelduseks, et pole vaja otsida patsiendil kroonilist peptilist haavandit ning kindlasti ei kuulu ta maovähi riskirühma.

Kui patsiendil aga leitakse mao korpuse limaskestas atroofia samaaegselt normaalse antrumi limaskestaga, siis võiks patsient olla pernitsioosse aneemia riskirühmas, krooniline atrofiline gastriit korpuse ja antrumi piirkonnas on maovähi riski tunnuseks jne. Kuigi on selge, et kroonilist gastriiti kui prekantseroosi peaks selle leidmisel alati ravima, on siin igapäevaseks käsitluseks mitmeid selgitamist vajavaid aspekte.



Joonis 1.

Peptilise haavandi kulg, kroonilise gastriidi arengu ja maovähi seos.

ETF grant 4383 tulemuste kokkuvõtlik skeem: peptilise haavandi kliinilise kulu ja mao limaskestas toimuvate muutuste immunoloogilised markerite seos H. pyroli infektsiooniga.

Krooniline gastriit saab alguse lapseas, siis on ta veel algjärgus ning ei esine atroofiat, nagu on selgunud meie uuringutest. Siiski esineb neil lastel *Helicobacter pylori* gastriidi tekitajana. Varajase *Helicobacter pylori* nakatumise tõttu lapseas tekib mao ja kaksteistsõrmiku haavand Eestis keskmiselt 10 aastat noorematel patsientidel kui samad haigused Soomes. Seega on ka lapsi vaja õigeaegselt ravida ja veelgi tähtsam on laste hulgas infektsiooni ennetamine. Selleks peab alati ja igavesti ühinema kampaaniaga 'pese käsi'. Meie poolt Eestis 9–15 aastastel lastel läbi viidud uuring tõestas, et ajavahemikul 1991–2002 on *Helicobacter pylori* levimus laste hulgas oluliselt vähenenud, olles 1991. a 42,2% ja aastal 2002 28,1%.

Helicobacter pylori infektsiooni ravikuuriks kasutatakse ühenädalast kolmikravi. Kuigi raviga püütakse saavutada kuni 100% efektiivset bakteri eradikatsiooni, saime oma uurimistulemustega toetust ka vähem efektiivsele eradikatsioonile. Selgus, et kuigi *Helicobacter pylori* eradikatsiooni efektiivsus meie uuringus oli vaid 75%, siis 5 aasta jooksul pärast ravi ägenes haavand vaid 2% uurituist ning kuigi need patsiendid kõik olid endiselt *Helicobacter pylori* positiivsed, siis haavand ei ägenenud mitmel patsiendil, kellel bakteri eradikatsioon esialgse raviga ei õnnestunud. Seega on antibakteriaalse ravi kliiniline toime mitmekesisem kui ainult bakteri eradikatsioon. On võimalik, et juba bakterite kolonisatsiooni intensiivsuse vähenemine või mõnede konkreetsete bakteri tüvede kadumine väldib edasisi ägenemisi.

Helicobacter pylori infektsiooni esinemissagedus maailmas väheneb, see on seotud nii infektsiooni raviga kui ka sotsiaalmajanduslike olude ja hügieeni paranemisega. Samad tendentsid on ka Eestis, infektsiooni esinemissagedus on väiksem hilisemates sünnikohortides. Meil ja mujal läbi viidud uuringute tulemustel põhinevat preventsiiooni, diagnostika ning ravi taktikat sisaldavad Eesti *Helicobacter pylori* infektsiooni ja peptilise haavandi diagnostika ja ravijuhised.

PEREMEDITSIIN KUI UUS AKADEEMILINE VÄLJAKUTSE

9. septembril 1991 kaitsesin Tartu Ülikoolis esimesena doktoriväitekirja doktoritööde uute nõuete järgi. See töö pani punkti minu kahekümne aasta uurimistööle. Nüüd oli aeg ka muutusteks minu akadeemilises elus. Tundsin, et võiksin alustada millegi täiesti uuega. Kuna Tartu Ülikooli arstiteaduskonnas avati peremeditsiini professor 1992. a, otsustasin sellele kandideerida ning osutasin valituks. Täna seda valiku hinnates olen õnnelik, et tegin õige otsuse, sest minu ülesannete haare kasvas tohutult, juhtisin eriala ja kollektiivi järgnevat 18 aastat, ma ise arenesin mitmekülgsemaks, töökamaks ning võimekamaks. Õppe-, ravi- ja teadustöö oli mulle tuttav, aga nüüd oli minu ja kolleegide esmaseks ülesandeks uue eriala ja selle akadeemilise staatuse loomine. Peremeditsiini eriala Eestis seni veel polnud, meil oli võimalus luua eriala parimate eeskujude ning oma oskuste järgi. Olin veendunud, et just eriala akadeemilise staatuse loomine on esmane ülesanne, et üldse uut eriala tunnus-

tataks. Selles ma ei eksinud. Eesti peremeditsiini edulugu järgnevate aastakümnete jooksul johtus sellest, et ennem kui alustati seaduste ja määrustega peremeditsiini positsioneerimist tervishoius, oli ülikoolis koolitatud piisav arv perearste, et muutusi ellu viia. Samuti oli ülikooli esindajatena minul ja kolleeg Margus Lemberil Eesti Perearstide Seltsi juhatajana autoriteeti nii ministeeriumis kui ka haigekassas, et peremeditsiini olemust ja vajadusi selgitada.

Selgitus- ja korralduslik töö oli esimesel kümnel aastal intensiivne, peremeditsiini tutvustamiseks tuli esineda sadadel üritustel. Viisime end kurssi peremeditsiini eriala programmide ja õpetusmeetoditega rahvusvahelistel kursustel ja Tampere peremeditsiini osakonna kolleegide Mauri Isokoski, Irma Virjo ja Kari Mattila toetusel. Olin 4 kuud stažeerimas Londonis St Mary kliinikus ja Tampere 1992. a ning Londonis rahvusvahelisel peremeditsiini õpetajate kursusel 1994. a. Kursustel ja stažeerimas käis ka Margus Lember ning veel mitmed õppejõud ja perearstid.

Meie entusiasm oli suur, soovisime arendada uut eriala. Eesti Tervishoiuprojekti toetus aitas startida. Margus Lember juhatas perearstide ümberõppe kursust, minu hooleks jäid põhiõppe, residentuuri ja doktorantuuri programmid. Töö oli pingeline, õppetöö juba toimus. Uued õppeprogrammid ja õppemeetodid võeti kasutusele juba 1993. a, üliõpilased hindasid meie pingutusi positiivselt. Doktorandid alustasid 1993. a. Nüüd on peremeditsiini õppejõududeks kõik perearsti kutsega ja perearstidena töötavad arstid, enamus neist meditsiinidoktori kraadiga. Uue eriala koolkonna loomist pean oma pikaajase õppejõu ja teadlase töö suurimaks saavutuseks. Minu juhendamisel on doktorikraadi kaitsnud 10 doktoranti. Nende edasine karjäär õppejõudude ja teadlastena on olnud edukas. Nii näiteks on Ruth Kaldast saanud peremeditsiini professor ja õppetooli juhataja, Oivi Uibo on arstiteaduskonna lastekliiniku dotsent, Marje Oona on peremeditsiini dotsent ja vanemteadur, Heli Tähepõld, Kadri Suija ja Pille Ööpik peremeditsiini teadurid ja õppejõud, Helgi Kolk ja Krista Lõivukene Tartu Ülikooli Kliinikumi arstid, Mari Järvelaid Eesti Sotsiaalministeeriumi terviseameti peaspetsialist, Madis Tiik Tallinna Tehnikaülikooli Kliinilise Meditsiini Instituudi rahvusvaheliste telemeditsiini projektide projektijuht ja lektor.

Täitsime edukalt oma eesmärgi, et õppejõud teevad ka teadustööd. Doktoritööteemade valik lähtus perearstide töös ette tulevatest sagedastest probleemidest. Minu senine teadustöö sobis väga hästi peremeditsiini konteksti, sest patsiendid kroonilise gastriidi ja peptilise haavandiga on perearstide patsiendid ning nende ravi korraldamine perearstide ülesanne. Senistele uurimisteedadele lisandusid uued. Osalesime koos viie Euroopa riigi ja Tšiiliga depressiooni prognoosimise mudeli loomisel. Uurimisgruppi kulusid meie õppetoolist peale minu veel Ruth Kalda, Pille Ööpik ja psühhiaatrikliinikust Anu Aluoja. Uurimistööd juhtisid Michael King ja Irwin Nazareth Londoni Ülikoolist. Sellest projektist arenes tihe rahvusvaheline koostöö, meie grupp korraldas psühhiaatrite ja perearstide konverentsidel seksioone, oma tulemusi

saime esitada plenaaristungitel. Lisaks projekti teaduspoolele saime kõik headeks sõpradeks. Uuringu tulemuste alusel koostati depressiooni prognoosimise algoritm ja töötati välja uus sõeltest depressiooni riski väljaselgitamiseks. Depressiooni prognoosimise algoritm avaldati 2008. aastal mainekas ajakirjas Archives of General Psychiatry. Sel teemal kaitsesid minu juhendamisel väitekirja doktorandid Pille Ööpik ja Kadri Suija.

Kõige keerukam rahvusvaheline koostööprojekt oli perearstide konsultatsioonioskuse uuring. Perearsti töö on privaatne tegelemine patsientidega vastuvõtul. Sellest, mis kabinetis toimub, teatakse üsna vähe. Suhtlemist ja aja ratsionaalset kasutamist vastuvõtul on võimalik treenida, enne on aga vaja teada, kuidas arstid tegelikult patsientidega suhtlevad, millised probleemid vastuvõtul esile kerkivad ja kuidas neid lahendatakse. Mul oli õnn kohtuda Sydney Ülikoolis peremeditsiini professori Tim Usherwoodiga, kes on üks esimesi konsultatsioonioskuse õpetamise arendaja maailmas ning kelle õpiku järgi me üliõpilasi ka õpetame. Tema julgustas seda teemat uurima. Lülitusime Euroopa Liidu projekti Eurocommunication II, et koostöös Hollandi uurimisinstituudi NIVELiga videolindistada perearstide vastuvõtte ning analüüsida tegevust ühtse metoodikaga üheteistkümnes Euroopa riigis. Saime teada, et patsientide ootused konsultatsiooni käigus enamasti täituvad, kuid rohkem oodatakse selgitusi haiguse ja ravi kohta. Psühhosotsiaalsete probleemide käsitlemist patsiendid eriti ei oodanud, aga arstid tegelesid sellega. Oluline oli Euroopa kontekstis võrrelda konsultatsioone erinevates maades, erinevates tervishoiusüsteemides, leida arstide ja patsientide soo, vanuse ja kultuuritausta mõju konsultatsiooni õnnestumisele. Selle uurimusega avastasime erinevaid konsultatsiooni stiile, saime teada patsiendikeskse konsultatsiooni tunnused ja ettekujutuse, kuidas konsultatsiooni tulemuslikult läbi viia. Neid uurimistulemusi kasutame laialdaselt üliõpilaste ja residentide õppes, programmi kuulub ka konsultatsioonioskuse treening video vahendusel. Doktoriväitekirja sel teemal kaitses doktorant Heli Tähepõld.

Oma peremeditsiinialaste uurimistöodega oleme toetanud Eesti tervishoiureformi. Nii näiteks käsitles Ruth Kalda doktoritöö peremeditsiini kvaliteedi indikaatoreid, mis hiljem lülitati kvaliteedisüsteemi perearstide töö hindamiseks. Sama uuringuga selgitati patsientide rahulolu pakutavate teenustega ning tagasiside tulemused võimaldasid ministeeriumil teha korrektiive süsteemi korralduses. Eriti aktuaalne on Eesti tervishoiu e-tervise kasutuselevõtt. Oleme ka sellesse andnud ülikoolipoolse panuse – meie õppetooli doktorant Madis Tiik uuris e-tervise süsteemi loomise eeltingimusi ja seadusandlust.

Akadeemilise peremeditsiini areng Tartu Ülikoolis on eeskujuks paljudele reforme elluviivatele maadele. Olen olnud peremeditsiini õppe- ja teadustöö ning ka peremeditsiini süsteemi loomise eksperdiks paljudes maades, näiteks Usbekistan, Tadžikistan, Turkmeenia, Armeenia, Makedoonia, Montenegro, Moldova ja Venemaa. Sealsed kogemused on omakorda aidanud paremini

mõista Eesti eelseid ja Tartu Ülikooli innovatiivsust ning paindlikkust muutuste elluviimisel.

Tagasi vaadates oma tegevusele akadeemilises valdkonnas pean tõdema, et ma olin ja olen jätkuvalt avatud kõigele uuele. Ilma võimeta muuta oma endisi arvamusi ja loobuda mõnest varasemast seisukohast, poleks saanud olla osaline uute teadussuundade arendamises. Edasiviiv aga ongi just paradigma – ilusa eestikeelse sõnana mõtterraamistiku – muutumine. Mul on elus väga vedanud: minu arsti- ja teadustöö tulemused on aidanud patsiente, mul on olnud imetusväärset õpetajad ja kolleegid ning toetav perekond. See kõik on aidanud säilitada optimismi ja teotahet.

VÄLJAVÕTE PUBLIKATSIOONIDEST:

Abram, K., Silm, H., Maarros, H. I., Oona, M. (2010). Risk factors associated with rosacea. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.*, 24, 565-571.

Anderson, H., Lõivukene, K., Sillakivi, T., Maarros, H. I., Ustav, M., Peetsalu, A., Mikelsaar, M. (2002). Association of CagA and VacA genotypes of *Helicobacter pylori* with gastric diseases in Estonia. *J. Clin. Microbiol.*, 40, 298-300.

Bottomley, C., Nazareth, I., Torres-Gonzalez, F., Švab, I., Maarros, H.-I., Geerlings, M. I., Xavier, M., Saldivia, S., King, M. (2010). Comparison of risk factors for the onset and maintenance of depression. *Br. J. Psychiatry*, 196, 13-17.

van den Brink-Muinen, A., Maarros, H. I., Tähepõld, H. (2008). Communication style in primary health care in Europe. *Health Education*, 108, 384-396.

Broutet, N., Plebani, M., Sakarovitch, C., Sipponen, P., Megraud, F., the Eurohepygast Study Group (Maarros, H. I., Kolk, H.) (2003). Pepsinogen A, pepsinogen C and gastrin as markers of atrophic chronic gastritis in European dyspeptics. *Br. J. Cancer*, 88, 1239-1247.

Kalda, R., Oona, M., Maarros, H. I., Lember, M. (2005). Patient evaluation on family doctors' family orientation. *Patient Educ. Counseling*, 56, 296-301.

King, M., Bottomley, C., Bellón-Saameño, J. A., Torres-Gonzalez, F., Švab, I., Rifel, J., Maarros, H. I., Aluoja, A., Geerlings, M. I., Xavier, M., Carraça, I., Vicente, B., Saldivia, S., Nazareth, I. (2011). An international risk prediction algorithm for the onset of generalized anxiety and panic syndromes in general practice attendees: predictA. *Psychol. Med.*, 41, 1625-1639.

King, M., Nazareth, I., Levy, G., Walker, C., Morris, R., Weich, S., Bellon-Saameno, J. A., Moreno, B., Svab, I., Rotar, C., Rifel, J., Maarros, H. I., Aluoja, A., Kalda, R., Neeleman, J., Geerling, M. I., Xavier, M., de Almeida, M. C., Correa, B., Torres-Gonzalez, F. (2008). Prevalence of common mental disorders in general practice attendees across Europe. *Br. J. Psychiatry*, 192, 362-367.

- King, M., Walker, C., Levy, G., Bottomley, C., Royston, P., Weich, S., Belon-Saameno, J. A., Moreno, B., Svab, I., Rotar, D., Rifel, J., Maaroos, H.-I., Aluoja, A., Kalda, R., Neeleman, J., Geerlings, M. I., Xavier, M., Carraca, I., Goncalves-Pereira, M., Vicente, B., Saldivia, S., Melipillan, R., Torres-Gonzalez, I., Nazareth, I. (2008). Development and validation of an international risk prediction algorithm for epicodes of major depression in general practice attendees. *Arch. Gen. Psychiatry*, 65, 1368-1376.
- Kolk, H., Maaroos, H. I., Kull, I., Labotkin, K., Lõivukene, K., Mikelsaar, M. (2002). Open access endoscopy in an epidemiological situation of high prevalence of *Helicobacter pylori* infection: eligibility of the guidelines of the European Society for Primary Care Gastroenterology. *Family Practice*, 19, 231-235.
- Lember, M., Tamm, A., Maaroos, H. I., Suurmaa, K. (1993). Diagnosis of primary hypolactasia by duodenal lactase activity. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.*, 5, 511-513.
- Lillemäe, K., Ress, K., Harro, J., Merenäkk, L., Maaroos, H. I., Uiibo, R., Uiibo, O. (2012). A 10-year serological follow-up of celiac disease in an Estonian population. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.*, 24, 1, 55-58.
- Maaroos, H. I. (1971). Rasvade ja süsivesikute imendumine kaksteistsõrmiksoole haavandi, maohaavandi ja kroonilise gastriidi haigetel. Autoreferaat dissertatsioonile meditsiinikandidaadi kraadi omandamiseks. Tartu.
- Maaroos, H. I. (1989). *Campylobacter pylori* and chronic gastritis. *Ter. Arch.*, 2, 35-37.
- Maaroos, H. I. (1991). Natural Course of Gastric Ulcer in Connection With *Helicobacter Pylori* and Chronic Gastritis. *Dissertationes Medicinae Universitatis Tartuensis*, 1, 52 p.
- Maaroos, H. I. (1995). *Helicobacter pylori* infection in the Estonian population: is it a health problem? *Ann. Med.*, 27, 613-616.
- Maaroos, H. I. (2004). Family medicine as a model of transition from academic medicine to academic health care: Estonia's experience. *Croat. Med. J.*, 45, 563-566.
- Maaroos, H. I. (2007). 20 aastat *Helicobacter pylori* uuringuid Eestis. Tartu Ülikool, Tartu, 396 lk.
- Maaroos, H., Tamm, A., Villako, K. (1972). Fat absorption and volatile phenols in patients with chronic gastritis and duodenal ulcer. *Klin. Med.*, 9, 113-115.
- Maaroos, H. I., Andreson, H., Lõivukene, K., Hütt, P., Kolk, H., Kull, I., Labotkin, K., Mikelsaar, M. (2004). The diagnostic value of endoscopy and *Helicobacter pylori* tests for peptic ulcer patients in late post-treatment setting. *BMC Gastroenterology*, 4, 27.

- Maaroos, H. I., Havu, N., Sipponen, P. (1998). Follow-up of *Helicobacter pylori* positive gastritis and argyrophil cells pattern during natural course of gastric ulcer. *Helicobacter*, 3, 39-44.
- Maaroos, H. I., Keevallik, R., Kolk, H., Kull, I., Labotkin, K., Suurmaa, K., Tammur, R. (2001). *Helicobacter pylori* infektsiooniga seotud peptilise haavandi ravi uus kontseptsioon. *Eesti Arst*, 80, 68-74.
- Maaroos, H. I., Kekki, M., Sipponen, P., Salupere, V., Villako, K. (1991). Grade of *Helicobacter pylori* colonization, chronic gastritis and relative risks of contracting high gastric-ulcers – a 7-year follow-up. *Scand. J. Gastroenterol.*, 26, 65-72.
- Maaroos, H. I., Kekki, M., Vorobjova, T., Salupere, V., Sipponen, P. (1994). Risk of recurrence of gastric ulcer, chronic gastritis, and grade of *Helicobacter pylori* colonization. *Scand. J. Gastroenterol.*, 29, 532-536.
- Maaroos, H. I., Rägo, T., Sipponen, P., Siurala, M. (1991). *Helicobacter pylori* and gastritis in children with abdominal complaints. *Scand. J. Gastroenterol.*, 26, 95-99.
- Maaroos, H. I., Salupere, V., Uibo, R. (1981). Gastric ulcer, gastritis and gastric carcinoma. *Ann. Clin. Res.*, 13, 151-153.
- Maaroos, H. I., Salupere, V., Uibo, R., Kekki, M., Sipponen, P. (1985). Seven-year follow-up study of chronic gastritis in gastric ulcer patients. *Scand. J. Gastroenterol.*, 20, 198-204.
- Maaroos, H. I., Tähepõld, H., Kalda, R. (2004). Patient consent rates for video-recording. *Family Practice*, 21, 706.
- Maaroos, H. I., Villako, K., Sipponen, P. (1990). *Helicobacter pylori* and chronic gastritis in randomly selected adult population according to gastro-biopsy finding. *Arh. Patol.*, 10, 9-11.
- Maaroos, H. I., Vorobjova, T., Sipponen, P., Tammur, R., Uibo, R., Wadström, T., Keevallik, R., Villako, K. (1999). An 18-year follow-up study of chronic gastritis and *Helicobacter pylori*: association of Cag A positivity with development of atrophy and activity of gastritis. *Scand. J. Gastroenterology.*, 34, 864-869.
- Megraund, F., Broutet, N., O'Morain, C., the Eurohepygast Study Group (Maaroos, H. I., Kolk, H.) (2002). Risk factors for atrophic chronic gastritis in a European population: results of the Eurohepygast study. *Gut*, 50, 779-785.
- Mikelsaar, M., Kolts, K., Maaroos, H. I. (1990). Microbial ecology of *Helicobacter pylori* in antral gastritis and peptic ulcer disease. *Microbiol. Ecol. Health Dis.*, 3, 245-250.

- Oona, M., Rägo, T., Maaroos, H. I. (2004). Long-term recurrence rate after treatment of *Helicobacter pylori* infection in children and adolescents in Estonia. *Scand. J. Gastroenterol.*, 39, 1186-1191.
- Oona, M., Utt, M., Nilsson, I., Uibo, O., Vorobjova, T., Maaroos, H. I. (2004). *Helicobacter pylori* infection in children in Estonia: decreasing seroprevalence during the 11-years period of profound socioeconomic changes. *Helicobacter*, 9, 223-241.
- Peetsalu, M., Valle, J., Harkonen, M., Maaroos, H. I., Peetsalu, A. (2005). Changes in the histology and function of gastric mucosa and in *Helicobacter pylori* colonization during a long-term follow-up period after vagotomy in duodenal ulcer patients. *Hepato-Gastroenterology*, 52, 785-791.
- Ress, K., Harro, M., Maaroos, H. I., Harro, J., Uibo, R., Uibo, O. (2007). High prevalence of coeliac disease: Need for increasing awareness among physician. *Digest. Liver Dis.*, 39, 136-139.
- Suija, K., Aluoja, A., Kalda, R., Maaroos, H. I. (2011). Factors associated with recurrent depression: a prospective study in family practice. *Family Practice*, 28, 22-28.
- Suija, K., Kalda, R., Maaroos, H. I. (2009). Patients with depressive disorder, their co-morbidity, visiting rate and disability in relation to self-evaluation of physical and mental health: a cross-sectional study in family practice. *BMC Family Practice*, 10, 38.
- Suija, K., Pechter, U., Kalda, R., Tähepõld, H., Maaroos, J., Maaroos, H. I. (2009). Physical activity of depressed patients and their motivation to exercise: Nordic Walking in family practice. *Int. J. Rehabil. Res.*, 32, 132-138.
- Tähepõld, H., van den Brink-Muinen, A., Maaroos, H. I. (2006). Patient expectations from consultation with family physician. *Croat. Med. J.*, 4, 148-154.
- Uibo, O., Maaroos, H. I. (1993). Hospital screening of coeliac disease in Estonian children by anti - gliadin antibodies of IgA class. *Acta Pediatr.*, 82, 233-234.
- Villako, K., Maaroos, H. (1971). Focal changes in the mucous membrane of the small intestine according to jejunal biopsy. *Ter. Arch.*, 11, 106-109.
- Villako, K., Maaroos, H. I. (1994). Clinical picture of hypolactasia and lactose intolerance. *Scand. J. Gastroenterol.*, 29 (suppl 202), 36-54.
- Vorobjova, T., Grünberg, H., Oona, M., Maaroos, H. I., Nilsson, I., Wadström, T., Covacci, A., Uibo, R. (2000). Seropositivity to *Helicobacter pylori* and CagA protein in schoolchildren of different ages living in urban and rural areas in southern Estonia. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.*, 12, 87-101.

Vorobjova, T., Kisand, K., Haukanõmm, A., Maaros, H. I., Wadström, T., Uibo, R. (1994). The prevalence of *Helicobacter pylori* antibodies in a population from southern Estonia. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.*, 6, 529-533.

Vorobjova, T., Maaros, H. I., Uibo, R. (2008). Immune response to *Helicobacter pylori* and its association with the dynamics of chronic gastritis in the antrum and corpus. *APMIS*, 116, 465-476.

Vorobjova, T., Nilsson, I., Kull, K., Maaros, H. I., Covacci, A., Wadström, T., Uibo, R. (1998). CagA protein seropositivity in a random sample of adults population and gastric cancer patients in Estonia. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.*, 10, 41-46.

Vorobjova, T., Ren, Z., Dunkley, M., Clancy, R., Maaros, H. I., Labotkin, R., Kull, K., Uibo, R. (2006). Response of IgG1 and IgG2 subclasses to *Helicobacter pylori* in subjects with chronic inflammation of the gastric mucosa, atrophy and gastric cancer in a country with high *Helicobacter pylori* infection prevalence. *APMIS*, 114, 372-380.

Ööpik, P., Aluoja, A., Kalda, R., Maaros, H. I. (2006). Screening for depression in primary care. *Family Practice*, 23, 693-698.

*Teaduspreemia täppisteaduste alal uurimuste tsükli
“Pöördülesanded mittehomogeensete materjalide ja keskkondade
omaduste määramiseks” eest*



Jaan Janno

Sündinud 18. 02.1961 Kuressaares

1979 Nõo Keskkool

1984 Tartu Riiklik Ülikool, rakendusmatemaatika

1988 füüsika-matemaatikakandidaat, NSVL TA Uurali Osakonna
Matemaatika ja Mehaanika Instituut

1984–1987 Tartu Ülikooli aspirant. 1987–1988 Kübermeetika Instituudi noo-
remteadur, alates 1988 vanemteadur. Alates 2003 Tallinna Tehnikaülikooli
professor, alates 2010 matemaatika instituudi direktor.

Enesetäiendused: 1993 Chalmersi Tehnikaülikool; 1994–2001 korduvalt Frei-
bergi Mäeakadeemia; 2002 Zittau/Görlitzi Rakendusteaduste Ülikool; 2001,
2005 Milano Ülikool.

1992 Eesti Matemaatika Seltsi A. Humala nim preemia

Avaldanud 1 monograafia, 3 õpikut ja 72 teaduslikku artiklit, juhendanud ühte
doktoriväitekirja

SISSEJUHATUS

Deterministlikes protsessides esineb kahte liiki suurusi: põhjused ja tagajärjed. Kui on teada kõik põhjused ja eesmärgiks on leida tagajärjed, siis on tegemist päripidiülesandega. Kui aga osa põhjusi on teadmata, kuid on olemas teatud info tagajärgede kohta ning soovitakse määrata tundmatuid põhjusi, siis on tegemist pöördülesandega.

Füüsikalistes protsessides on põhjusteks enamasti keskkondade parameetrid, alg- või ääritingimused ning tagajärgedeks protsessi oleku komponendid. Pöördülesande korral on oluline protsessi õige genereerimine (eksperimentaalmudeli korral) ja mõõdetavate suuruste valik. Saadavad andmed peavad olema maksimaalselt informatiivsed. Teoreetilisest aspektist sisaldab informatiivsus (ehk matemaatilises terminoloogias ülesande korrektsus) 3 olulist komponenti: pöördülesande lahendi olemasolu, ühesus ja stabiilsus algandmete väikeste vigade suhtes (Engl jt, 1996).

Sageli on füüsikaline protsess matemaatiliselt kirjeldatav diferentsiaalvõrrandi(te) abil, mille lahendiks on protsessi olek ja mille kordajateks on keskkonna füüsikalised parameetrid. Kui keskkonna parameetrid ei ole teada, siis tekivad diferentsiaalvõrrandis mittelineaarsed liikmed: tundmatute kordajate korrutised olekuga (viimane on pöördülesandes samuti vähemalt osaliselt teadmata).

Kui otsitav parameeter kujutab endast teadaoleva parameetri väikest häiritust, siis on vastav pöördülesanne ligikaudselt lineaarne. Viimane asjaolu lihtsustab oluliselt selle ülesande uurimist ja lahendamist (Aster jt, 2005). Keerukamad on ülesanded, mis ei ole lineariseeritavad.

Käesolevas artiklis vaatleme mõningaid mittelineariseeritavaid pöördülesandeid mittehomoogeensete materjalide ja keskkondade parameetrite määramiseks. Peamiselt käsitleme ülesannete korrektsuse küsimusi.

FUNKTSIONAALRUUMID. KONVOLUTSIOONITÜÜPI VÕRRANDID

Matemaatiliste tulemuste formuleerimiseks peame defineerima mõned olulised mõisted. Normeeritud ruumiks nimetatakse lineaarset ruumi, milles on defineeritud elemendi kaugus nullelemendist ehk norm. Elemendi v normi tähistatakse $\|v\|$. Jada v_n koondub elemendiks v , kui v_n ja v vaheline kaugus läheneb nullile, st $\|v_n - v\| \rightarrow 0$. Normeeritud ruumi nimetatakse Banachi ruumiks, kui ta on täielik koonduvuse suhtes, st suvalise selles ruumis asuva koonduva jada piirpunkt asub samuti selles ruumis.

Olgu G m -mõõtmelise eukleidilise ruumi \mathbb{R}^m alamhulk või m -mõõtmeline muutkond (nt pind). Sümboliga \bar{G} tähistame hulga G sulundit, st väikseimat kinnist hulka, mis sisaldab hulka G .

Ruum $L_p(G)$, kus $1 \leq p < \infty$, koosneb hulgal G määratud funktsioonidest, mille absoluutväärtuse p -s aste on integreeruv hulgas G . Tegemist on Banachi ruumiga, mille norm on $\|v\| = [\int_G |v(y)|^p dy]^{1/p}$. Ruum $L_\infty(G)$ koosneb funktsioonidest, mis on tõkestatud hulgas G . See on samuti Banachi ruum normiga $\|v\| = \text{ess sup}_{y \in G} |v(y)|$.

Ruumi $W_p^l(G)$ moodustavad funktsioonid, mis kuuluvad ruumi $L_p(G)$, kusjuures kõik selle funktsiooni hulgas G määratud (osa)tuletised kuni järguni l kuuluvad samuti ruumi $L_p(G)$. Tegemist on jällegi Banachi ruumiga. Norm selles ruumis võrdub summaga funktsiooni enda ja tema (osa)tuletiste $L_p(G)$ -normidest kuni järguni l .

Ruum $C(\bar{G})$ koosneb hulgal \bar{G} pidevatest funktsioonidest. Selle Banachi ruumi norm on $\|v\| = \max_{y \in \bar{G}} |v(y)|$.

Ruumi $C^l(\bar{G})$ moodustavad funktsioonid, mis kuuluvad ruumi $C(\bar{G})$, kusjuures kõik selle funktsiooni hulgas G määratud (osa)tuletised kuni järguni l kuuluvad samuti ruumi $C(\bar{G})$. Norm selles Banachi ruumis on võrdne summaga funktsiooni enda ja tema (osa)tuletiste $C(\bar{G})$ -normidest kuni järguni l .

Mittestatsionaarse füüsikalise protsessi olek u sõltub ruumimuutuja(te)st x ja ajast t , st $u = u(x, t)$. Kui me fikseerime t , siis jääb järgi vaid x -st sõltuv funktsioon, mida tähistame $u(\cdot, t)$. Seega võib suurust u vaadelda kui abstraktset funktsiooni, mis seab muutujale t vastavusse muutujast x sõltuva funktsiooni $u(\cdot, t)$.

Olgu $t_1 < t_2$ ja X Banachi ruum. Defineerime mõned ruumid, mis sisaldavad abstraktseid funktsioone vahemikust (t_1, t_2) ruumi X . Ruum $L_p((t_1, t_2); X)$, kus $1 \leq p < \infty$, koosneb abstraktsetest funktsioonidest, mille väärtuse normi p -aste on integreeruv hulgas (t_1, t_2) . Tegemist on Banachi ruumiga, mille norm on $\|v\|_{L_p((t_1, t_2); X)} = \left[\int_{t_1}^{t_2} \|v(y)\|_X^p dy \right]^{1/p}$. Sarnaselt eeltooduga, $W_p^l((t_1, t_2); X)$ sisaldab abstraktseid funktsioone hulgal (t_1, t_2) ruumi X , mille korral kujutis ise ja tema tuletised kuni järguni l kuuluvad ruumi $L_p((t_1, t_2); X)$. Normiks selles Banachi ruumis on summa funktsiooni enda ja tema tuletiste $L_p((t_1, t_2); X)$ -normidest kuni järguni l .

Normidele saab lisada ka kaale. Vaatleme konkreetselt ruumi $L_2(0, T)$. Põhinorm on seal $\|v\| = \left[\int_0^T |v(t)|^2 dt \right]^{1/2}$. Lisades eksponentsiaalse kaalu $e^{-\gamma t}$, kus $\gamma \in \mathbb{R}$, saame järgmise normi: $\|v\|_\gamma = \left[\int_0^T e^{-\gamma t} |v(t)|^2 dt \right]^{1/2}$. Eksponentsiaalsete kaaludega normid sobivad eriti hästi konvolutsioonitüüpi mittelineaarsustega ülesannete analüüsimiseks. Näiteks olgu antud järgmine mittelineaarne integraalvõrrand:

$$v(t) + v * v(t) = f(t), \quad t \in (0, T), \quad (1)$$

kus $*$ tähistab konvolutsiooni, st

$$v * w(t) = \int_0^t v(t - \tau)w(\tau) d\tau.$$

Paneme tähele, et normis $\|v\|_\gamma$ esinev eksponentsiaalne kaal läheneb nullile, kui $\gamma \rightarrow \infty$. Seega $\|v\|_\gamma \rightarrow 0$, kui $\gamma \rightarrow \infty$. Saab näidata, et konvolutsiooni norm, st $\|v * v\|_\gamma$, läheneb kiiremini nullile, kui $\|v\|_\gamma$. Seega suure γ korral on mittelineaarne liige $v * v$ võrrandis (1) suhteliselt väiksem, kui liidetav v . Viimane asjaolu võimaldab võrrandi (1) analüüsimisel kasutada funktsionaalanalüüsist tuntud püsipunktiprintsiipi ja tõestada selle võrrandi lahendi olemasolu ja ühesus ruumis $L_2(0, T)$ suvalise $f \in L_2(0, T)$ korral. Taoline tulemus on globaalne muutuja t suhtes, sest mingeid piiranguid vahemiku $(0, T)$ pikkusele see ei sea.

On hästi teada, et 2. järku mittelineaarsustega ülesannete lahendid võivad teatud punktides katkeda (pidev lahend eksisteerib vaid lokaalselt). Selles ülesande klassis on meeldivaks erandiks konvolutsioonitüüpi mittelineaarsusi sisaldavad ülesanded. Viimastel eksisteerivad reeglina globaalsed lahendid (vähemalt siis, kui on tegemist nn 2. tüüpi Volterra integraalvõrrandile taanduva ülesandega). See on tõestatud mitmete pöördülesannete ja üldisemate integraal- ja integro-diferentsiaalvõrrandite korral (Janno, 2001; Janno, von Wolfersdorf, 2001, 2002, 2005, 2009; Lorenzi, 2005; Lorenzi jt, 2005; von Wolfersdorf, Janno, 2008, 2011). Tõestamisel on kasutatud J. Janno ja tema koostööpartnerite töödes sisse toodud eksponentsiaalsete kaalude meetodit, mida eespool lühidalt tutvustasime.

PÖÖRDÜLESANDED INTEGRODIFFERENTSIAALVÕRRANDITELE

Järgnevalt vaatleme ühte konkreetset konvolutsiooni sisaldavat mudelit ja sellega seotud pöördülesandeid lähemalt. Mittehomogeenses mälu keskkonnas kehtib soojusvoo q ja temperatuuri u gradiendi vahel järgmine seos, mis on tuntud Fourier' seaduse üldistus:

$$q_i(x, t) = -a(x)u_{x_i}(x, t) + \int_0^t m(t - \tau)a(x)u_{x_i}(x, \tau)d\tau, \quad i = 1, \dots, n,$$

kus $x \in \mathbb{R}^n$ (praktiliselt $n \in \{1; 2; 3\}$), t on ajamuutuja, a on soojusjuhtivust iseloomustav hetkkordaja ja m on soojusjuhtivuse inertsust iseloomustav nn mälutuum ning indeksid tähistavad osatuletisi. Asetades selle seose soojusbalansi võrrandisse $u_t + \operatorname{div} q = f$, kus f on soojusallikate tihedus, saame järgmise parabolset tüüpi integrodiferentsiaalvõrrandi: $u_t = \operatorname{div}(a\nabla u) - m * \operatorname{div}(a\nabla u) + f$. Üldistame seda võrrandit pisut matemaatiliselt lisades sinna madalamat järku liikme bu , kus $b = b(x)$ on etteantud kordaja:

$$u_t = \operatorname{div}(a\nabla u) + bu - m * [\operatorname{div}(a\nabla u) + bu] + f. \quad (2)$$

Tuumade määramine transmissiooniprotsessides

Kõigepealt vaatleme pöördülesandeid tuumade määramiseks piirkonnas, mis koosneb kahest homogeensest osast, mida eraldab pind, millel toimub transmissiooniprotsess. Konkreetset olgu vaadeldav piirkond $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ tõkestatud, sidus ja lahtine. Alampiirkonnad olgu Ω_1 ja Ω_2 . Olgu $\Omega_j \subset \Omega$ lahtine ja sidus, $\Omega_1 \cap \Omega_2 = \emptyset$ ja $\overline{\Omega_1 \cup \Omega_2} = \overline{\Omega}$. Piirkondade Ω ja Ω_j rajad (s.o neid piirkondi ümbritsevad pinnad) olgu vastavalt $\partial\Omega$ ja $\partial\Omega_j$ ning transmissioonipind $\Gamma = \overline{\Omega_1} \cap \overline{\Omega_2}$. Eeldame, et vaadeldavad piirkonnad rahuldavad teatavaid sileduse tingimusi, mida siinkohal täpsustama ei hakka.

Numbriliste alumiste indeksitega tähistame piirkonnas Ω määratud funktsioonide ahendeid alampiirkondadele Ω_1 ja Ω_2 . Näiteks u_1 ja u_2 on funktsiooni u ahendid vastavalt Ω_1 -l ja Ω_2 -l.

Päripidiülesanne temperatuuri määramiseks on järgmine:

$$u_{j,t} = \operatorname{div}(a_j \nabla u_j) + b_j u_j - m_j * [\operatorname{div}(a_j \nabla u_j) + b_j u_j] + f_j \quad (3)$$

hulgas $\Omega_j \times (0, T)$, $j = 1, 2$,

$$u_j(x, 0) = \varphi_j(x) \quad \text{hulgas } \Omega_j, \quad j = 1, 2, \quad (4)$$

$$a_1(u_{1,\nu} - h_1 * u_{1,\nu}) = a_2(u_{2,\nu} - h_2 * u_{2,\nu}) + p \quad \text{hulgas } \Gamma \times (0, T), \quad (5)$$

$$u_1 = u_2 \quad \text{hulgas } \Gamma \times (0, T), \quad (6)$$

$$u = q \quad \text{hulgas } \partial\Omega \times (0, T). \quad (7)$$

Siin φ on algtingimus, f ja p on allikafunktsioonid, q on rajatingimus ning indeks ν tähistab Ω_1 välisnormaali suunalist tuletist.

Pöördülesannetes kasutame soojusvoo mõõtmistulemusi Ω rajal. Seoses sellega tekib 2 võimalust:

1. Mõõtmisi sooritatakse mõlema alampiirkonna rajadel, st hulkadel $\partial\Omega \cap \partial\Omega_j, j = 1, 2$;
2. Mõõtmisi sooritatakse ainult ühe alampiirkonna rajal, konkreetselt hulgal $\partial\Omega \cap \partial\Omega_2$.

Osutub, et neil kahel juhul on pöördülesannete iseloom oluliselt erinev.

Alustame juhuga 1. Olgu antud lahtised pinnad $\Gamma_j \subset \partial\Omega_j \cap \partial\Omega, j = 1, 2$. Defineerime järgmised funktsionaalid:

$$\Phi_j[z] = \int_{\Gamma_j} \varkappa_j(x) a_j(x) z_{\vartheta}(x) dS(x), \quad j = 1, 2, \quad (8)$$

kus $\varkappa_j, j = 1, 2$, on kaalufunktsioonid, indeks ϑ tähistab $\partial\Omega$ välisnormaali suunalist tuletist ja S on Lebesgue'i pinnamõõt. Lisame järgmised tingimused päripidiülesande lahendi jaoks:

$$\Phi_j[u_j(\cdot, t) - (m_j * u_j)(\cdot, t)] = g_j(t), \quad t \in (0, T), j = 1, 2, \quad (9)$$

kus $g_j, j = 1, 2$, on etteantud funktsioonid. Tingimuste (9) vasakul poolel esinevaid suurusi võib interpreteerida kui kaalutud normaalisuunalisi soojusvooge rajaosadel $\Gamma_j, j = 1, 2$. Nende voogude väärtused, s.o funktsioonid $g_j, j = 1, 2$, ongi saadud mõõtmiste tulemusena. Püstitame järgmise pöördülesande:

PÜ1

Leida tuumafunktsioonid $m_j, j = 1, 2$, nii, et päripidiülesande (3) – (7) lahend rahuldaks lisatingimusi (9).

Toome sisse järgmised põhieeldused pöördülesande algandmete kohta:

$$\begin{aligned} a, b &\in L_\infty(\Omega), \quad a(x) \geq \alpha > 0, \quad a_j \in W_2^1(\Omega_j), \quad j = 1, 2, \\ f &\in W_1^1((0, T); L_2(\Omega)), \quad p \in W_2^1((0, T); W_2^1(\Gamma)), \\ q &\in C^1([0, T]; L_2(\Omega)) \cap W_1^1((0, T); W_2^1(\Omega)), \\ \varphi &\in W_2^1(\Omega), \quad \varphi(x) = q(x, 0) \text{ kui } x \in \partial\Omega, \quad \varphi_j \in W_2^2(\Omega_j), \quad j = 1, 2, \\ a_1\varphi_{1,\nu} &= a_2\varphi_{2,\nu} + p(x, 0) \text{ kui } x \in \Gamma, \quad \Phi_j[\varphi_j] \neq 0, \quad j = 1, 2, \\ \varkappa_j &\in L_2(\Gamma_j), \quad g_j \in L_\mu(0, T), \quad j = 1, 2, \text{ mingi } \mu \in (1, 2] \text{ korral.} \end{aligned} \quad (10)$$

Mõõtmispiirkondade ümbruses tuleb eeldada suuremat siledust. Nimelt leidugu hulkade Γ_j ümbrused Ω'_j , $j = 1, 2$, nii et

$$\begin{aligned} \Omega'_j &\subset \Omega_j, \quad \bar{\Gamma}_j \subset \Gamma'_j := \partial\Omega'_j \cap \partial\Omega_j, \\ a_j &\in W_\infty^1(\Omega'_j), \quad f_j \in W_2^1((0, T); L_2(\Omega'_j)), \quad q_j \in W_2^1((0, T); W_2^2(\Omega'_j)), \\ \operatorname{div}(a_j \nabla \varphi_j) + b_j \varphi_j + f_j(\cdot, 0) &\in W_2^1(\Omega'_j), \\ \operatorname{div}(a_j \nabla \varphi_j) + b_j \varphi_j + f_j(\cdot, 0) &= q_{j,t}(\cdot, 0) \quad \text{hulgas } \Gamma'_j. \end{aligned} \quad (11)$$

PÜ1 sisaldab ainult konvolutsioonitüüpi mittelineaarsusi ja selle analüüsimisel saab kasutada eksponentsiaalsete kaalude tehnikat.

TEOREEM 1 (Janno, Lorenzi, 2008). Olgu täidetud eeldused (10) ja (11). Siis omab PÜ1 parajasti ühte lahendit (m_1, m_2) ruumis $(L_\mu(0, T))^2$. Peale selle, kui PÜ1 algandmete vead koonduvad nulliks tingimustes (10) ja (11) toodud Banachi ruumides, siis lahendi viga koondub nulliks ruumis $(L_\mu(0, T))^2$.

Saadud tulemus on globaalne ajamuutuja suhtes ($T > 0$ on suvaline). Teoreemi viimane lause näitab millistel tingimustel on lahend stabiilne algandmete vigade suhtes. Paneme tähele, et eeldustes (10), (11) esinevad ruumid sisaldavad funktsioone, millel eksisteerivad tuletised kuni järguni 2 (nt ruum $W_2^2(\Omega_j)$ tingimuse (10) kolmandal real). See tähendab seda, et lahendi stabiilsuse garanteerimiseks peavad mõnede algandmete vead olema väikesed koos oma tuletistega kuni järguni 2. Praktikas ei õnnestu enamasti füüsikalisi suurusi koos oma tuletistega mõõta. Tuletiste arvutamine on aga andmete väikeste häirituste suhtes tundlik. Seega on siinkohal tegemist ülesande teatava mittekorrektusega. Ülesannet nimetatakse mõõdukalt mittekorrektseks, kui selle lahend on stabiilne algandmete lõplikku järku tuletiste häirete suhtes. PÜ1 on mõõdukalt mittekorrektne. Mittekorrektusest tingitud häirete vähendamiseks kasutatakse mitmesuguseid regulariseerimismeetodeid (Engl jt, 1996), mida saab rakendada ka ülesandele PÜ1. Järgmiseks vaatleme juhtu 2. Lihtsuse mõttes käsitleme vaid pöördülesannet ühe tundmatuga m_1 .

PÜ2

Leida tuumafunktsioon m_1 nii, et päripidiülesande (3) – (7) lahend rahuldaks järgmist lisatingimust:

$$\Phi_2[u_2(\cdot, t) - (m_2 * u_2)(\cdot, t)] = g(t), \quad t \in (0, T), \quad (12)$$

kus g on etteantud funktsioon ja Φ_2 on defineeritud seoses (8).

Seekord on mõõtmispiirkond Γ_2 ja otsitava suurusega m_1 seotud piirkond Ω_1 teineteisest eraldatud. Nende vahel asub singulaarsuspind Γ . See asjaolu komplicseerib ülesannet oluliselt. Siiani on PÜ2 jaoks õnnestunud saada vaid ühesuse tulemusi lõpmatus ajavahemikus $(0, \infty)$.

Paneme kirja põhieeldused algandmete kohta. Seal kasutame Laplace'i teisendust, mis on defineeritud valemiga $v[L](x, s) = \int_0^\infty e^{-st} v(x, t) dt$, reaalarvulise argumendiga s . Eeldame, et

$$\begin{aligned} a, b \in L_\infty(\Omega), \quad a(x) \geq \alpha > 0, \quad a_j \in W_\infty^1(\Omega_j), \quad j = 1, 2, \\ \varkappa_2 \geq 0, \quad \varkappa_2 \neq 0, \quad T = \infty \text{ ja leiduvad } \sigma_0 \in \mathbb{R} \text{ ja } \beta > n \text{ nii, et} \\ \varphi \in L_\beta(\Omega), \quad f[L](\cdot, s) \in L_\beta(\Omega), \quad s \in (\sigma_0, \infty), \\ p[L](\cdot, s) \in W_\infty^1(\Gamma), \quad s \in (\sigma_0, \infty), \\ q[L](\cdot, s) \in C^2(\overline{\Omega}) \cap W_2^2(\Omega), \quad s \in (\sigma_0, \infty). \end{aligned} \quad (13)$$

TEOREEM 2 (Janno, Lorenzi, 2010). Olgu täidetud eeldused (13). Omagu PÜ2 kahte lahendit m_1 ja \tilde{m}_1 , mis rahuldavad tingimust

$$\text{leidub } \gamma \in \mathbb{R} \text{ nii, et } e^{\gamma t} m_1(t), e^{\gamma t} \tilde{m}_1(t) \in L_1(0, \infty). \quad (14)$$

Tähistagu u tuumale m_1 vastavat päripidiülesande lahendit. Siis kehtivad järgmised väited.

(i) Kui

$$\begin{aligned} \text{leidub } \sigma \in \mathbb{R} \text{ nii, et iga } s \in (\sigma, \infty) \text{ korral} \\ \operatorname{div}(a_1(x) \nabla u_1[L](x, s)) + b_1(x) u_1[L](x, s) \geq 0, \quad x \in \Omega_1, \\ a_1(x) u_{1,\nu}[L](x, s) \leq 0, \quad x \in \Gamma, \\ \text{ja kas } \operatorname{div}(a_1(x) \nabla u_1[L](x, s)) + b_1(x) u_1[L](x, s) \neq 0 \\ \text{või } a_1(x) u_{1,\nu}[L](x, s) \neq 0, \end{aligned} \quad (15)$$

siis $m_1 = \tilde{m}_1$.

(ii) Kui PÜ2 algandmed rahuldavad teatavaid täiendavaid sileduse tingimusi, siis võrratustest

$$\operatorname{div}(a_1(x) \nabla \varphi_1(x)) + b_1(x) \varphi_1(x) > 0, \quad x \in \overline{\Omega}_1, \quad a_1(x) \varphi_{1,\nu}(x) < 0, \quad x \in \overline{\Gamma},$$

järeldub (15).

Tõestus kasutab ekstreemumprintsiipe elliptilist tüüpi ülesande jaoks Laplace'i teisenduste ruumis.

Formuleerime veel ühe ühesusteoreemi, mis kehtib nulliste algtingimuste ja allikafunktsioonide korral, kuid nõuab teatud spetsiifilist rajatingimust ja kaalu funktsionaalis Φ_2 .

TEOREEM 3 (Janno, Lorenzi, 2010). Olgu $\varphi = f = p = 0$ ja $q(x, t) = \rho(x) y(t)$, kus $\rho \in C^2(\overline{\Omega})$, $\rho \geq 0$, $\rho \neq 0$, $y \neq 0$ ning $\varkappa_2 = \rho$ hulgal Γ_2 . Kui PÜ2 omab kahte lahendit m_1 ja \tilde{m}_1 , mis rahuldavad tingimust (14), siis $m_1 = \tilde{m}_1$.

PÜ2 on tugevalt mittekorrektne. Selleks, et lahendi viga koonduks nulliks, ei piisa algandmete lõplikku järku tuletiste vigade nulliks koondumisest. Selle väite kinnituseks on võimalik konstrueerida vastavaid kontranäiteid. Hüpooteetiliselt peaks lahend olema stabiilne, kui osa PÜ2 algandmetest asuvad mingis ruumis, mille elemendid on lõpmata arv kordi diferentseeruvad. Sellelaadsed tulemused ootavad veel tõestamist. Lahtine on küsimus PÜ2 lahendi ühesusest ka lõplikul ajalõigul $(0, T)$, $T < \infty$.

Lisaks Teoreemidele 2 ja 3 on tõestatud sarnased ühesusteoreemid ka kahte tundmatut m_1 ja m_2 sisaldava pöördülesande jaoks juhul 2 (Janno, Lorenzi, 2010).

Lõpplingimusega pöördülesanded

Selles alamparagrahvis vaatleme pöördülesandeid võrrandi vabaliikme ja kordajate määramiseks, kui ette on antud mõõtmistulemused temperatuuri kohta lõpphetkel T . Esialgu eeldame vaadeldava keskkonna omadused olevat pidevad. Siis saame päripidiülesande terves piirkonnas $\Omega \times (0, T)$ kirjutada välja järgmiselt:

$$\begin{aligned} u_t &= \operatorname{div}(a\nabla u) + bu - m * [\operatorname{div}(a\nabla u) + bu] + f \quad \text{hulgas } \Omega \times (0, T), \\ u(x, 0) &= \varphi(x) \quad \text{hulgas } \Omega, \quad u = q \quad \text{hulgas } \partial\Omega \times (0, T). \end{aligned} \quad (16)$$

Püstitame järgmise pöördülesande.

PÜ3

Olgu $f(x, t) = z(x)h(x, t)$. Leida funktsioon z nii, et ülesande (16) rahuldaks lisatingimust

$$u(x, T) = \psi(x) \quad \text{hulgas } \Omega, \quad (17)$$

kus ψ on etteantud funktsioon.

Põhitulemused taoliste pöördülesannete jaoks tavalise paraboolset tüüpi võrrandi korral, st kui $m = 0$, on saadud valdavalt ajavahemikus 1985–1996. Lahendi ühesuse tõestamisel on kasutatud kahte meetodit:

1. Püsipunktiprintsiipi, sel juhul on tulemus lokaalne selles mõttes, et otsitava suuruse kordaja (nt h PÜ3 korral) peab asetsema teatava konstandi väikeses ümbruses (Prilepko, Solov'ev, 1987).
2. Positiivsusprintsiipi, sel juhul peab otsitava suuruse kordaja rahuldama teatud positiivsuse ja monotoonsuse tingimusi (Isakov, 1998).

Püsipunktiprintsiibil põhinevaid tulemusi väikese kordaja korral on hiljem üldistatud juhule, kui diferentsiaalvõrrandi kordajad sõltuvad ka ajamuutujast

(Kamynin, 2005), semilinearsele juhule (Lorenzi, Vrabie, 2010) ning juhule, kui $m \neq 0$ (Lorenzi, Mola, 2010).

Käesolevas artiklis vaatleme positiivsusprintsiihi kasutamist juhul $m \neq 0$. Formuleeritavad tulemused on globaalsed.

Ülesande (16) positiivsusprintsiih juhul $m = 0$ väidab, et kui $f \geq 0$, $\varphi \geq 0$ ja $q \geq 0$, siis $u \geq 0$. See väide järeldub otseselt ekstreemumprintsiihibist ja on üsna klassikaline tulemus. Antud printsiih on ka füüsikaliselt lihtsasti interpreteeritav: kui alghetkel $t = 0$ on keha temperatuur positiivne, keha rajapinnal on temperatuur positiivne ja kehast soojust välja ei voola, siis on positiivsetel ajahetkedel keha temperatuur samuti positiivne.

Üldistame positiivsusprintsiihi juhule $m \neq 0$. Defineerime nn resolventtuuma k , mis on seotud tuumaga m ja rahuldab järgmist integraalvõrrandit:

$$k(t) - m * k(t) = m(t), \quad t \in (0, T). \quad (18)$$

Sellel võrrandil eksisteerib iga etteantud $m \in L_p(0, T)$, kus $p > 1$ korral ühene lahend $k \in L_p(0, T)$.

TEOREEM 4 (Janno, Kasemets, 2009). Olgu $a \in C^1(\overline{\Omega})$, $b \in C(\overline{\Omega})$, $a(x) \geq \alpha > 0$. Peale selle, rahuldagu resolventtuum k tingimusi

$$k \in W_1^1(0, T), \quad k \geq 0, \quad k' \leq 0. \quad (19)$$

Eksisteerigu ülesandel (16) lahend $u \in L_2((0, T); W_2^2(\Omega)) \cap W_2^1((0, T); L_2(\Omega))$. Kui on täidetud võrratused $\varphi \geq 0$, $q \geq 0$ ning

$$g := f + k * f \geq 0, \quad (20)$$

siis $u \geq 0$.

Piisavad tingimused tuuma m jaoks, mis garanteerivad eelduste (19) täidetuse, on järgmised: $m \in W_1^1(0, T)$, $m \geq 0$, $m'(t) \leq -m(0)m(t)$.

Tegemist on üsnagi originaalse tulemusega, mis omab ka pöördülesannetest sõltumatut teaduslikku tähtsust. Paneme tähele, et nullist erineva k korral on tingimus $g \geq 0$ nõrgem kui tingimus $f \geq 0$. See annab ruumi teatavale temperatuuri märgi inertsusele soojusallikate tiheduse suhtes. Näiteks, kui f on positiivne $t \in (0, T - \epsilon)$ korral ja negatiivne $t \in (T - \epsilon, T)$ korral, kusjuures $\epsilon > 0$ on piisavalt väike ning f väärtused vahemikus $(0, T - \epsilon)$ on piisavalt suured ja vahemikus $(T - \epsilon, T)$ piisavalt väikesed, siis säilib u positiivsus kõigi $t \in (0, T)$ korral (Janno, Kasemets, 2009).

Siirdume PÜ3 juurde.

TEOREEM 5 (Janno, Kasemets, 2009). Olgu $a \in C^2(\bar{\Omega})$, $b \in C^1(\bar{\Omega})$, $a(x) \geq \alpha > 0$, $\varphi \in C^3(\bar{\Omega})$, $q, q_{x_i} \in C^2(\bar{\Omega} \times [0, T])$, $i = 1, \dots, n$. Eeldame, et resolventtuum k rahuldab tingimust (19). Peale selle, olgu $h \in C^1(\bar{\Omega} \times [0, T])$, ja

$$\begin{aligned} h &\geq 0, \quad h_t + k * h_t - \theta h \geq 0, \\ h_t(x, \cdot) + k * h_t(x, \cdot) - \theta h(x, \cdot) &\neq 0 \text{ iga } x \in \Omega \text{ korral,} \end{aligned} \quad (21)$$

kus $\theta = \max_{x \in \Omega} b(x)$. Kui PÜ3 omab kahte lahendit z ja \tilde{z} ruumis $C^1(\bar{\Omega})$, siis $z = \tilde{z}$.

Nagu näha, ühesus järeldub otsitava suuruse z kordaja h teatavast siledusest, positiivsusest ja monotoonsusest.

Ühesuse teoreemid on lihtsalt ülekantavad ka pöördülesannetele, mille otsitavad suurused on a või b . Näiteks, kui otsitav suurus on $b(x)$, siis vastav liidetav võrrandis on kujul $b(x)[u(x, t) - m * u(x, t)]$ ja ühesuseks vajalikku positiivsust ja monotoonsust tuleb eeldada suuruse b kordaja $u - m * u$ kohta. Viimane järeldub teatavatest positiivsuse ja monotoonsuse tingimustest φ, q ja f kohta.

Suuruste z ning a ja b määramise pöördülesannete lahendite olemasolu ja stabiilsus järeldub ühesusest, sest tegemist on Fredholmi tüüpi ülesannetega (Janno, Kasemets, 2009). Ülesanded on mõõdukalt mittekorrektseid.

Korrektse teoreemid lõpptingimustega pöördülesannete jaoks parabolset tüüpi võrrandite korral nõuavad algaandmete suurt siledust (see on näha ka Teoreemist 5). Üks võimalus käsitleda ülesandeid, milles etteantud funktsioonid võivad katkeda (nt transmissiooniprotsesside puhul), on nõrgendada lahendi mõistet, nt vaadelda kvaasilahendit.

PÜ3 kvaasilahendiks nimetatakse funktsiooni z , mille korral funktsionaal $J(z) = \int_{\Omega} [u[z](x, T) - u_T(x)]^2 dx$ omandab vähima väärtuse. Kvaasilahendiga seotud funktsionaalile on lihtne lisada ka regulariseerivaid osi. PÜ3 kvaasilahendi olemasolu ja gradientmeetodi koonduvus $J(z)$ minimeerimisel on tõestatud $m = 0$ korral (Hasanov, 2007) ja teatavate kitsendustega ka $m \neq 0$ korral (Kasemets, Janno, 2011). Uuringud selles suunas jätkuvad.

PÖÖRDÜLESANDED MIKROSTRUKTUURSETE TAHKISTE JAOKS

Mikrostruktuuriga tahkised (sulamid, polükristallid, keraamilised materjalid, funktsionaalselt skaleeritud materjalid jm) on leidnud laialdast tööstuslikku kasutamist. Sellega kaasneb vajadus nende mehaanilise käitumise matemaatilise modelleerimise järele.

Mindlini mikrostruktuuri teoorias vaadeldakse keskkonda koosnevana väikestest 'rakukestest' ehk mikroelementidest (graanul, kristall, polümeeri molekul), kusjuures mikroelement eeldatakse olevat elastne. Siis on võimalik koostada liikumisvõrrandid nii mikroelemendi sees kui ka makrotasandil. Saadud

1D võrrandid mittelinearsel juhul moodustavad seotud süsteemi, mis dimensioonivabades muutujates näeb välja järgmine (Engelbrecht jt, 2005):

$$\begin{aligned} v_{tt} &= a_0 v_{xx} + \frac{\mu}{2} (v^2)_{xx} + \vartheta_0 \varphi_{xx}, \\ \delta \varphi_{tt} &= \delta a_1 \varphi_{xx} + \delta^{3/2} \nu_1 \varphi_x \varphi_{xx} - \alpha \varphi - \vartheta_1 v, \end{aligned} \quad (22)$$

kus v on makrodeformatsioon, φ on mikrodeformatsioon, $a_0, \mu, \vartheta_0, a_1, \nu_1, \alpha, \vartheta_1$ on materjali füüsikaliste omadustega seotud parameetrid ja δ on geometriline parameeter, mis on seotud mikrostruktuuri skaalaga. Lisaks defineerime järgmised parameetrite kombinatsioonid, mida kasutame edaspidi pöördülesannete juures:

$$\nu = \frac{\nu_1}{\alpha}, \quad \vartheta = \vartheta_0 \vartheta_1.$$

Tulenevalt füüsikalisest sisust kehtivad järgmised võrratused:

$$\delta, a_0, a_1, \alpha, \vartheta, a_0 \alpha - \vartheta > 0.$$

Süsteemi (22) on võimalik lihtsustada lõigates funktsiooni φ Taylori rida $\delta^{1/2}$ suhtes. Näiteks kui lähendada funktsiooni φ neljanda astme Taylori polünoomiga, avaldada süsteemi (22) teisest võrrandist ψ liikmed ja asetades nende summa süsteemi (22) esimesse võrrandisse, tekib järgmine hierarhiline lainevõrrand:

$$v_{tt} = b v_{xx} + \frac{\mu}{2} (v^2)_{xx} + \delta (\beta v_{tt} - \gamma v_{xx})_{xx} + \delta^{3/2} \frac{\lambda}{2} (v_x^2)_{xxx}, \quad (23)$$

$$\text{kus } b = a_0 - \frac{\vartheta}{\alpha}, \quad \beta = \frac{\vartheta}{\alpha^2}, \quad \gamma = \frac{\vartheta a_1}{\alpha^2}, \quad \lambda = \frac{\vartheta^2 \nu}{\alpha^3}.$$

Meid huvitavad pöördülesanded süsteemi (22) ja võrrandi (23) kordajate määramiseks lainete mõõtmise alusel. Linearsel juhul (kui $\mu = \nu_1 = \lambda = 0$) saab kordajaid määrata harmooniliste lainete sagedusi ja faasikiirusi ning lainepakettide faasi- ja rühmakiirusi kasutades (Janno, Engelbrecht, 2005a, 2009, 2011a).

Nõrga mittelineaaruse korral võiks olla lootust saada informatsiooni kordajate kohta, eraldades lainetest madalamat ja kõrgemat järku harmoonikud. See meetod on välja töötatud elastse materjali korral (Braunbüch, Ravasoo, 2008). Kui mittelineaaruse on tugev, st kordaja μ, ν_1 või λ on suhteliselt suur, siis taoline meetod ilmselt ei tööta. Seevastu võivad viimasel juhul mittelineaaruse ja dispersiooni teatava tasakaalu korral esineda üksiklained ehk üksiksolitonid (Janno, Engelbrecht, 2005b; Porubov, Pastrone, 2004; Tamm, Salupere, 2010). Allpool vaatlemegi üksiklainete kasutamist (22) ja (23) kordajate määramisel. Tegemist on uudse meetodiga mittelineaarsete keskkondade identifitseerimisel, mida on võimalik kohandada ka pöördülesannetele väljaspool mikrostruktuuri valdkonda (Janno, Engelbrecht, 2011a).

Pöördülesanded võrrandile (23)

Püstitame eesmärgi määrata füüsilised parameetrid b, μ, β, γ ja λ võrrandis (23). Geomeetrilise parameetri δ loeme teadaolevaks.

Võrrandi (23) üksiklaine kiirusega c nimetatakse lahendit kujul $v(x, t) = w(x - ct)$, milles esinev funktsioon $w(\xi)$ läheneb nullile, kui $|\xi| \rightarrow \infty$.

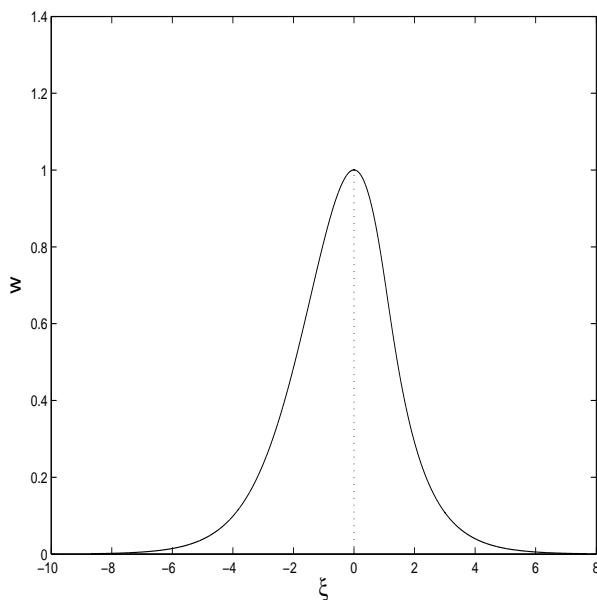
On võimalik näidata (Janno, Engelbrecht, 2005b), et w on võrrandi (23) neli korda diferentseeruv üksiklaine parajasti siis, kui ta rahuldab järgmist harilikku diferentsiaalvõrrandit:

$$(w')^2 + \Theta(w')^3 = \kappa^2 w^2 \left(1 - \frac{w}{A}\right), \quad (24)$$

kus $\kappa = \sqrt{\frac{c^2 - b}{\delta(\beta c^2 - \gamma)}}$, $A = \frac{3(c^2 - b)}{\mu}$ ja $\Theta = \frac{2\lambda}{3\sqrt{\delta(\beta c^2 - \gamma)}}$. Kui $\mu \neq 0$, siis eksisteerivad teatavad kiirusvahemikud, milles võrrand (24) omab üksiklainet järgmises ruumis:

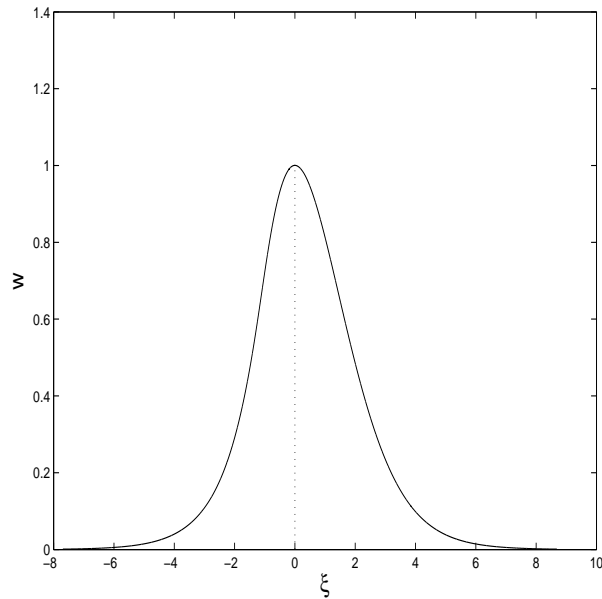
$$\mathcal{W} = \{w : w \in C^2(\mathbb{R}), w(\xi), w'(\xi) \rightarrow 0, \text{ kui } |\xi| \rightarrow \infty\}$$

(Janno, Engelbrecht, 2005b). Laine on 'kellukakujuline', st tal on parajasti üks ekstreemum, ja juhul $\Theta \neq 0$ asümmeetriline (joonised 1 ja 2).



Joonis 1: Üksiklaine juhul $A = \kappa = 1, \Theta = 0.9$

Kuna üksilaine sõltub 3-st vabast parameetrist κ, A ja Θ , siis ilmselt ei piisa ühe laine mõõtmisest selleks, et määrata kõik 5 parameetrit b, μ, β, γ ja λ . On vaja



Joonis 2: Üksiklaine juhul $A = \kappa = 1$, $\Theta = -0.9$

mõõta vähemalt kahte erineva kiirusega levivat lainet.

Tähistagu $w[c_1]$ ja $w[c_2]$ laineid, mis liiguvad vastavalt kiirusega c_1 ja c_2 , kusjuures $c_1^2 \neq c_2^2$. Selleks, et katta 5 tundmatut suurust, peab mõõtma vähemalt 5 nende lainete parameetrit. Oletame, et mõõdetakse mõlema laine amplituude ja laine pikkusi teatavatel etteantud amplituudist erinevatel tasemetel w . Viimaste mõõtmiste alusel tekivad konkreetsete punktide koordinaadid lainete graafikutel.

PÜ4

Olgu antud lainete $w[c_1]$ ja $w[c_2]$ amplituudid A_1 ja A_2 . Peale selle, olgu antud 2 erinevat punkti $P_{1j}(\xi_{1j}, w_{1j})$, $j = 1, 2$, laine $w[c_1]$ graafikul ja punkt $P_2(\xi_2, w_2)$ laine $w[c_2]$ graafikul, kusjuures $w_{1l} \neq A_1$, $l = 1, 2$, ja $w_2 \neq A_2$. Määrata b , μ , β , γ ja λ .

TEOREEM 6 (Janno, Engelbrecht, 2011a) Olgu täidetud üks järgmistest tingimustest:

- (i) Punktid P_{11} ja P_{12} asuvad erineval pool laine $w[c_1]$ ekstreemumpunkti;
- (ii) Punktid P_{11} ja P_{12} asuvad samal pool laine $w[c_1]$ ekstreemumpunkti ja suurused w_{1l} , $l = 1, 2$, asuvad arvude $2A_1/3$ ja A_1 vahel.

Siis omab PÜ4 maksimaalselt ühte lahendit.

Tõestuses kasutatakse keskväärtusteoreeme.

Pöördülesanded süsteemile (22)

Seekord on eesmärgiks määrata füüsikalised parameetrid $a_0, \mu, \vartheta_0, a_1, \nu_1, \alpha, \vartheta_1$ süsteemis (23). Taas eeldame, et geomeetiline parameeter δ on teada.

Süsteemi (22) üksiklaine koosneb komponentidest kujul $v(x, t) = w(x - ct)$, $\varphi(x, t) = \psi(x - \hat{c}t)$, milles c ja \hat{c} on vastavalt makro- ja mikrokiirused ning $v(\xi)$ ja $\psi(\xi)$ lähenevad nullile, kui $|\xi| \rightarrow \infty$.

On lihtne veenduda, et kui süsteemil (22) eksisteerib üksiklaine, siis peavad makro- ja mikrokiirused olema võrdsed, st $c = \hat{c}$.

TEOREEM 7 (Janno, Engelbrecht, 2011a) Süsteemil (22) eksisteerib üksilaine $(w, \psi) \in \mathcal{W}^2$ siis ja ainult siis, kui $\mu \neq 0$, $a_1 \in (a_0 - \frac{4\vartheta}{3\alpha}, a_0)$,

$$c^2 \in \left(a_0 - \frac{4\vartheta}{3\alpha}, \min \left\{ a_0 - \frac{\vartheta}{\alpha}; a_1 \right\} \right) \cup \left(\max \left\{ a_0 - \frac{\vartheta}{\alpha}; a_1 \right\}, a_0 \right)$$

ja

$$\left(\frac{c^2 - a_1}{c^2 - a_0 + \frac{\vartheta}{\alpha}} \right)^3 > 4\vartheta \frac{\nu^2}{\mu^2}.$$

Laine makro-komponent w rahuldab järgmist võrrandit:

$$\begin{aligned} \left\{ \left(1 - \frac{w}{A_0} \right) w' \right\}^2 - \frac{\Theta}{\kappa A_0} \left\{ \left(1 - \frac{w}{A_0} \right) w' \right\}^3 \\ = \kappa^2 w^2 \left(1 - \frac{w}{A_0 \Theta_1} \right) \left(1 - \frac{w}{A_0 \Theta_2} \right), \end{aligned} \quad (25)$$

kus

$$A_0 = \frac{c^2 - a_0}{\mu}, \kappa = \sqrt{\frac{a_0 \alpha - c^2 \alpha - \vartheta}{\delta (c^2 - a_1) (c^2 - a_0)}},$$

$$\Theta = \frac{2 \nu (c^2 - a_0)^2}{3 \mu (c^2 - a_1)} \sqrt{\frac{a_0 \alpha - c^2 \alpha - \vartheta}{(c^2 - a_0) (c^2 - a_1)}},$$

$$\Theta_1 = \begin{cases} \frac{2}{1-p+\sqrt{p+p^2}} & \text{kui } p \in (-\infty, -1), \\ \frac{2}{1-p-\sqrt{p+p^2}} & \text{kui } p \in (\frac{1}{3}, \infty), \end{cases}$$

$$p = \frac{\vartheta}{3(c^2 \alpha - a_0 \alpha + \vartheta)} \quad \text{ja} \quad \Theta_2 = \frac{3\Theta_1 - 4}{2\Theta_1 - 3}.$$

Laine on jällegi ‘kellukakujuline’, omab parajasti ühte ekstreemumit ja on asümmeetriline juhul, kui $\Theta \neq 0$.

Paneme tähele, et võrrandis (25) sisalduvad suurused $A_0, \kappa, \Theta, \Theta_1, \Theta_2$ sõltuvad kuuest füüsilisest parameetrist $a_0, \mu, \vartheta, a_1, \nu, \alpha$. Seega on makrotasemel tehtavate mõõtmiste kaudu võimalik määrata maksimaalselt need kuus parameetrit. Suurusi ϑ_0, ϑ_1 ja ν_1 ei ole võimalik eraldada makrotasemel saadavast informatsioonist. Peale selle, kuna (25) lahend omab 4 vabadusastet $A_0, \kappa, \Theta, \Theta_1$ (Θ_2 avaldub Θ_1 kaudu), siis on ilmne, et ühe laine mõõtmisest ei piisa kõigi mainitud parameetrite määramiseks. On vaja mõõta vähemalt kahte erineva kiirusega levivat lainet.

Järgnevalt püstitamegi mõned pöördülesanded, milles kasutatakse kiirusega c_j levivate lainete $w[c_j]$ mõõtmise tulemusi, kusjuures $c_j^2 \neq c_i^2$, kui $j \neq i$. Erinevalt võrrandile (23) püstitatud pöördülesannetest sisaldavad süsteemi (22) pöördülesanded kõrgemat järku algebralisi mittelineaarsusi, mistõttu lahendi üheseks määramiseks peab mõõtmiste arv olema suurem kui tundmatute arv.

PÜ5

Olgu antud lainete $w[c_1], \dots, w[c_k]$ amplituudid A_1, \dots, A_k , kusjuures $k \geq 2$. Peale selle olgu antud kaks erinevat punkti $P_{1j}(\xi_{1j}, w_{1j})$, $j = 1, 2$, laine $w[c_1]$ graafikul ja punkt $P_2(\xi_2, w_2)$ laine $w[c_2]$ graafikul, kusjuures $w_{1l} \neq A_1$, $l = 1, 2$, ja $w_2 \neq A_2$. Määrata $a_0, \mu, \vartheta, a_1, \nu$ ja α .

TEOREEM 8 (Janno, Engelbrecht, 2011a) Olgu $k = 5$ ja paiknegu punktid P_{11} ja P_{12} erineval pool laine $w[c_1]$ ekstreemumpunkti. Siis omab PÜ5 maksimaalselt ühte lahendit.

PÜ6

Olgu antud lainete $w[c_1]$ ja $w[c_2]$ amplituudid A_1 ja A_2 . Peale selle olgu antud k_1 erinevat punkti $P_{1l}(\xi_{1l}, w_{1l})$, $l = 1, \dots, k_1$, esimese laine $w[c_1]$ graafikul ja k_2 erinevat punkti $P_{2l}(\xi_{2l}, w_{2l})$, $l = 1, \dots, k_2$, teise laine $w[c_2]$ graafikul, kusjuures $w_{1l} \neq A_1$, $l = 1, \dots, k_1$ ja $w_{2l} \neq A_2$, $l = 1, \dots, k_2$. Määrata $a_0, \mu, \vartheta, a_1, \nu$ ja α .

TEOREEM 9 (Janno, Engelbrecht, 2011a) Olgu $k_1 = k_2 = 16$. Siis omab PÜ6 maksimaalselt ühte lahendit.

Kui osa parameetreid on teada, siis on võimalik püstitada pöördülesandeid, milles piisab ühesuse saavutamiseks tundmatutega võrdsest mõõtmiste arvust. Näiteks vaatleme järgmist ülesannet.

PÜ7

Eeldame, et a_0 ja μ on teada. Olgu antud laine $w[c_1]$ amplituud A_1 . Peale selle olgu antud kaks erinevat punkti $P_{1j}(\xi_{1j}, w_{1j})$, $j = 1, 2$, laine $w[c_1]$ graafikul ja

punkt $P_2(\xi_2, w_2)$ laine $w[c_2]$ graafikul, kusjuures $w_{1l} \neq A_1$, $l = 1, 2$. Määrata ϑ , a_1 , ν ja α .

TEOREEM 10 (Janno, Engelbrecht, 2011a) Paiknegu punktid P_{11} ja P_{12} erineval pool laine $w[c_1]$ ekstreemumpunkti. Siis omab PÜ7 maksimaalselt ühte lahendit.

Teoreemide 8–10 tõestused kasutavad keskväärtusteoreeme koos teatavate algebraliste meetoditega.

PÜ4–PÜ7 numbrilisel lahendamisel saab kasutada Newtoni-tüüpi meetodeid või sihifunktsionaali minimeerimist (Engelbrecht jt, 2008, 2010; Janno, Engelbrecht, 2011ab). Viimasel ajal on saadud tulemusi ka pöördülesannete kohta, mis kasutavad perioodilisi laineid mikrostruktuursetes tahkistes (Sertakov, Janno, 2012).

TÄNUAVALDUSED

Autori suur tänu kuulub tema koostööpartneritele Alfredo Lorenzile, Jüri Engelbrechtile, Kairi Kasemetsale, Ivan Sertakovile ja nüüdseks juba meie hulgast lahkunud Lothar von Wolfersdorfile. Uurimistööd on toetanud ETF grant nr 7728 ja HTM sihtfinantseeritavad teemad SF0140011s09 ja SF0140083s08.

KIRJANDUS

Aster, R. C., Borchers, B., Thurber, C. H. (2005). *Parameter Estimation and Inverse Problems*. Elsevier Academic Press, London.

Braunbrück, A., Ravasoo, A. (2008). Nonlinear interaction and resonance of counterpropagating waves. *Int. J. Pure Appl. Math.*, 42, 205-215.

Engelbrecht, J., Berezovski, A., Pastrone, F., Braun, M. (2005). Waves in microstructured materials and dispersion. *Phil. Mag.*, 85, 4127-4141.

Engelbrecht, J., Ravasoo, A., Janno, J. (2008). Nonlinear acoustic NDE - qualitative and quantitative effects. *Int. Conf. on Multifunctional Materials and Structures*, Hong Kong, 28.-31.07.2008. *Adv. Mater. Res.*, 47-50, 17-20.

Engelbrecht, J., Ravasoo, A., Janno, J. (2010). Nonlinear acoustic nondestructive evaluation (NDE): qualitative and quantitative effects. *Mater. Manuf. Process.*, 25, 212-220.

Engl, H. W., Hanke, M., Neubauer, A. (1996). *Regularization of Ill-Posed problems*. Springer, Berlin.

Hasanov, A. (2007). Simultaneous determination of source terms in a linear parabolic problem from the final overdetermination. *J. Math. Anal. Appl.*, 330, 766-779.

Isakov, V. (1998). *Inverse Problems for Partial Differential Equations*. Springer, New York.

- Janno, J. (2001). Identification of weakly singular relaxation kernels in three-dimensional viscoelasticity. *J. Math. Anal. Appl.*, 262, 133-159.
- Janno, J., Engelbrecht, J. (2005a). Waves in microstructured solids: Inverse problems. *Wave Motion*, 43, 1-11.
- Janno, J., Engelbrecht, J. (2005b). Solitary waves in nonlinear microstructured materials. *J. Phys. A: Math. Gen.*, 38, 5159-5172.
- Janno, J., Engelbrecht, J. (2008). Inverse problems related to a coupled system of microstructure. *Inverse Probl.*, 24, 045017, 1-15.
- Janno, J., Engelbrecht, J. (2009). Identification of microstructured materials by phase and group velocities. *Math. Model. Anal.*, 14, 57-68.
- Janno, J., Engelbrecht, J. (2011a). *Microstructured Materials: Inverse Problems*. Springer, Berlin.
- Janno, J., Engelbrecht, J. (2011b). Inverse problems for microstructured materials. Waszczyszyn, Z., Ziemianski, L. (eds.) *Proc. 2nd Int. Conf. on Inverse Problems in Mechanics of Structures and Materials (Rzeszow-Sieniawa, 26.-30.04.2011)*. Rzeszow Univ. Tech. Press, 4-44.
- Janno, J., Kasemets, K. (2009). A positivity principle for parabolic integro-differential equations and inverse problems with final overdetermination. *Inverse Probl. Imag.*, 3, 17-41.
- Janno, J., Lorenzi, A. (2008). Recovering memory kernels in parabolic transmission problems. *J. Inverse Ill-Posed Probl.*, 16, 239-266.
- Janno, J., Lorenzi, A. (2010). Recovering memory kernels in parabolic transmission problems in infinite time intervals: the non-accessible case. *J. Inverse Ill-Posed Probl.* 18, 433-465.
- Janno, J., von Wolfersdorf, L. (2001). An inverse problem for identification of a time- and space-dependent memory kernel in viscoelasticity. *Inverse Probl.*, 17, 13-24.
- Janno, J., von Wolfersdorf, L. (2002). A general inverse problem for a memory kernel in one-dimensional viscoelasticity. *Z. Anal. Anwen.*, 21, 465-483.
- Janno, J., von Wolfersdorf, L. (2005). A general class of autoconvolution equations of the third kind. *Z. Anal. Anwen.*, 24, 523-543.
- Janno, J., von Wolfersdorf, L. (2009). Integro-differential equations of first order with auto-convolution integral. *J. Integral Equations Appl.*, 21, 39-75.
- Kamynin, V. L. (2005). On an inverse problem for determining the right-hand side of parabolic equation under an overdetermination condition. *Math. Notes*, 77, 48-493.

- Kasemets, K., Janno, J. (2011). Recovery of a source term in a parabolic integro-differential equation from final data. *Math. Model. Anal.*, 16, 199-219.
- Lorenzi, A. (2005). An identification problem for a conserved phase-field model with memory. *Math. Meth. Appl. Sci.*, 28, 1315-1339.
- Lorenzi, A., Mola, G. (2010). Identification of unknown terms in convolution integro-differential equations in a Banach space. *J. Inverse Ill-Posed Probl.*, 18, 321-355.
- Lorenzi, A., Rocca, E., Schimperna, G. (2005). Direct and inverse problems for a parabolic integro-differential system of Caginalp type. *Adv. Math. Sci. Appl.*, 15, 227-263.
- Lorenzi, A., Vrabie, I. I. (2010). Identification for a semilinear evolution equation in a Banach space. *Inverse Probl.*, 26, 085009, 1-16.
- Porubov, A. V., Pastrone, F. (2004). Non-linear bell-shaped and kinkshaped strain waves in microstructured solids. *Int. J. Non-Linear Mech.*, 39, 1289-1299.
- Prilepko, A. I., Solov'ev, V. V. (1987). Solvability theorems and Rote's method for inverse problems for parabolic equation II. *Diff. Eq.*, 23, 1341-1349.
- Sertakov, I., Janno, J. (2012). Periodic waves in microstructured solids and inverse problems. *Math. Model. Anal.*, esitatud avaldamiseks.
- Tamm, K., Salupere, A. (2010). On the propagation of solitary waves in Mindlin-type microstructured solids. *Proc. Estonian Acad. Sci.*, 118-125.
- von Wolfersdorf, L., Janno, J. (2008). On the theory of convolution equations of the third kind II. *J. Math. Anal. Appl.*, 342, 838-863.
- von Wolfersdorf, L., Janno, J. (2011). Integro-differential equations of first order with auto-convolution integral II. *J. Integral Equations Appl.*, 23, 331-349.

*Teaduspreemia keemia ja molekulaarbioloogia alal uurimuste tsükli
"Rakkude pooldumist reguleerivad fosforüleerimislülid"*



Mart Loog

Sündinud 22.05.1969 Tartus

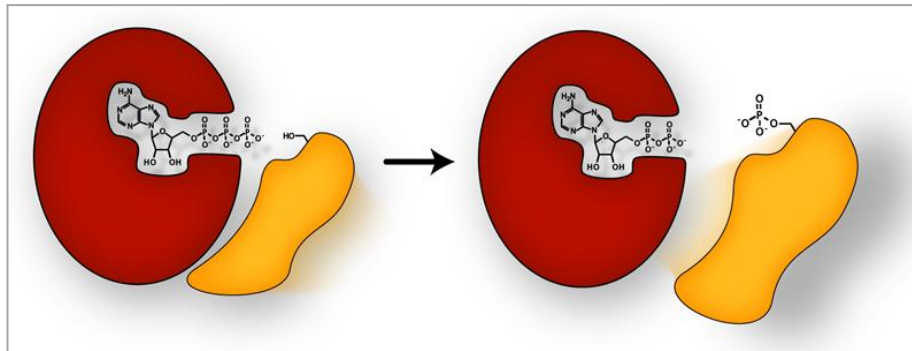
1987 Tartu Mart Reiniku Gümnaasium
1994 Tartu Ülikool, bioorgaaniline keemia
1996 MSc, bioorgaaniline keemia, Tartu Ülikool
1996–2001 doktorantuur, Uppsala Ülikool
2001 PhD, meditsiiniline biokeemia, Uppsala Ülikool
2002–2005 järel doktorantuur, California Ülikool San Franciscos

Alates 2006 Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituudi vanemteadur

Avaldanud 24 teaduspublikatsiooni

PROTEIINI KINAASID KUI MOLEKULAARSED LÜLITID

Valkude regulatoorne fosforüleerimine on üks tähtsamaid rakusiseseid molekulaarsete lülituste mehhanisme. Seda protsessi katalüüsivad üksteisele vastassuunas toimivad ensüümid: proteiini kinaasid ja proteiini fosfataasid. Proteiini kinaasid lisavad valkudele fosfaatrühmi, kasutades selleks teise substraadina adenosiin trifosfaati (ATP), mille trifosfaatahela äärmises, gamma-positsioonis olev fosfaat seotakse kovalentselt substraatvalgu seriini, treoniini või türosiini külghelaga (joonis 1). Fosfataasid seevastu hüdrolüüsivad selle fosfaatrühma valgu küljest ära. Mõlemad ensüümid on võimelised kataüüsima sadu fosforüleerimise-defosforüleerimise reaktsioone minutis, ja tavaliselt on valkude fosforüleeritud olek tasakaaluline, olles kas peaaegu täielikult defosforüleeritud või siis täielikult fosforüleeritud. Seda olekut võib muuta järsk kinaasi või fosfataasi aktiivsuse muutus. Viimane toimub vastusena erinevatele kinaaside või fosfataaside aktiivsust mõjutavatele stiimulitele.



Joonis 1.

Proteiini kinaasid (punane) on ensüümid, mis kasutavad adenosin trifosfaati (ATP), et siduda fosfaate substraatvalkude (kollane) seriini, treoniini ja türosiini külghelate hüdroksüülrühmadele.

Kuna fosforüleerimine muudab substraatvalgu omadusi, siis saavutatakse lülitusmoment, ehk siis substraatvalk on reguleeritav lüliti kaudu. Kinaasidest ja nende substraatidest moodustunud signaalirajad rakkudes toimivad sageli kaskaadidena. Need kaskaadid võivad koosneda mitmest jadamisi ühendatud kinaasist, mis igaüks aktiveerib fosforüleerimise kaudu enesest kaskaadi hierarhias allpool asuvat kinaasi. Seeläbi saavutatakse suure võimendusjõuga signaalirada, mis võib kulgeda näiteks alates rakumembraani retseptoril tunnetatud välisest signaalimolekulist kuni vajaliku rakusisese protsessi käivitamiseni või mahasurumiseni raku tuumas.

Valkude fosforegulatsiooni demonstreerimise eest said Edmond H. Fischer ja Edwin G. Krebs 1992. aastal Nobeli auhinna füsioloogia ja meditsiini alal. Nad kirjeldasid, kuidas pöörduv fosforüleerimine töötab lülitina glükogeen fosforülaasi aktiivsuse reguleerimisel. Tänapäevaks on selgunud, et valkude fosforüleerimine mängib rolli väga paljudes rakulistes protsessides ja selle fenomeni uurimisega tegeleb väga suur osa maailma bioteadlastest (Medline'i andmebaasi otsing annab ligi 200 000 artiklit, mis on seotud valkude fosforüleerimisega).

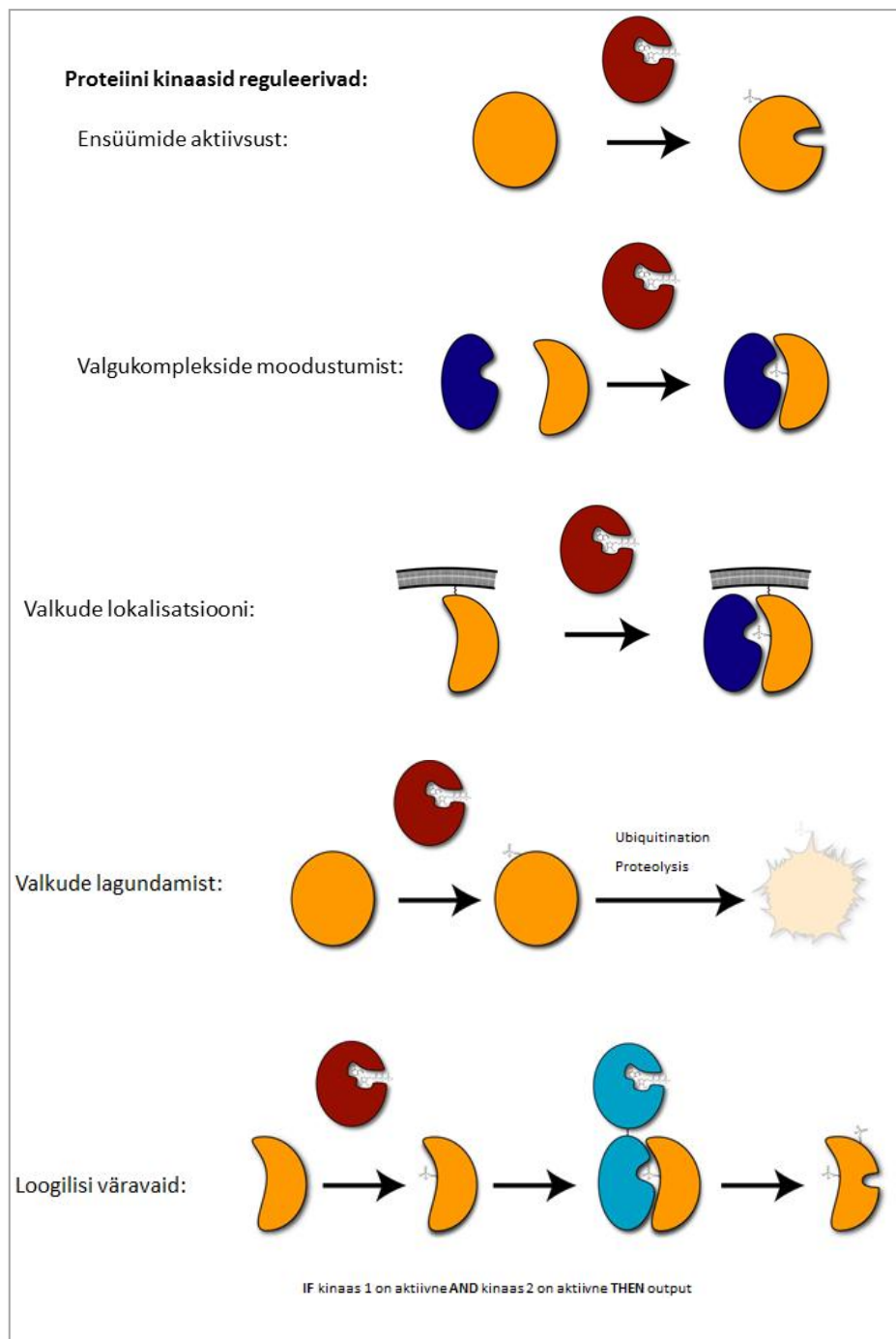
Inimese genoomis on üle 500 proteiini kinaasi geeni ja nad moodustavad umbes 2% kõigist inimese geenidest (Manning jt, 2002). Sealjuures on hinnatud, et kuni 30% kõigist inimese valkudest modifitseeritakse proteiini kinaaside poolt ja üksikuid fosforüleerimiskohti valkudes on üle 50 tuhande. Sellise paljutahulise kaasatuse tõttu on kinaasid seotud enamikuga rakulistest protsessidest. Teistes rakuteaduses olulistest mudelorganismides, nagu äädikakärbses *Drosophila melanogaster*, on ligikaudu 320, ümarussis *Caenorhabditis elegans* 440 ja pärmis *Saccharomyces cerevisiae* 120 proteiini kinaasi, moodustades samuti umbes 2% nende organismide geenide koguarvust ning olles sel-

lega ka suurim ensüümiperekond nendes organismides. Veel huvitavam on asjaolu, et taimeteaduses olulisel kohal olevas mudelorganismis müürloogas *Arabidopsis thaliana* on isegi 1050 proteiini kinaasi, mis on umbes kaks korda rohkem kui inimese puhul, ja see kogum moodustab koguni 4% selle taime genoomist. Veel suurem arv, ehk umbkaudu 2 600 proteiini kinaasi on ripslooma *Paramecium tetraurelia* genoomis. Proteiini kinaaside perekonna suuruse ja seda hõlmava teaduse laia ulatuse tõttu on neid kinaaside kogumeid hakatud nimetama kinoomideks ja neid uurivat teadusharu kinoomikaks.

Proteiini kinaasid võivad reguleerida valkude aktiivsust ja rakulisi süsteeme mitmel erineval moel (joonis 2). Üks esimesi põhimõtteliselt kirjeldatud mehhanisme on ensüümide aktiivsuse reguleerimine. Nagu hiljuti näidati, võis sellise regulatsiooni mehhanistlik alus olla paljudel juhtudel kujunenud juba varem, enne proteiini kinaaside evolutsioonilist ilmumist (Pearlman jt, 2011). Kui mõned teatavate ensüümide aktiivset konformatsiooni hoidvad negatiivselt laetud külghelaga aminohapped muteerusid seriinideks või treoniinideks, siis need eluliselt vajalikud ensüümid säilitasid oma aktiivsuse juhul kui nendes rakkudes oli olemas prototüüpne proteiini kinaasi aktiivsus, sest lisatud fosfaat päästis olulise ioonsilla. Seeläbi saavutasid need mutandid ka eelise tänu fosforegulatsioonist tulenevale paindlikkusele keskkonnatingimustega kohanemisel.

Teiseks fosforegulatsiooni näiteks võiks olla proteiini kinaaside roll valkude lokaliseerimise regulatsioonis. Andes kindlale valgule fosfosignaali, võib selle spetsiifiliselt dokkida läbi fosfo-adaptor valgu näiteks membraani või mõne rakuorganelli pinnale. Kolmandaks näiteks võib tuua valkude kontrollitud lagundamise. Fosfaatühm võib toimida niinimetatud fosfo-degronina, mille tunneb ära teatav ensüümide süsteem, mis initsieerib selle valgu lagundamise. Veel on väga oluliseks mehhanismiks fosfaatühma roll valk-valk interaktsioonide ja multivalk-komplekside moodustumisel. Fosfaatühm võib anda signaali kahe valgu vahelise interaktsiooni moodustumiseks või siis vastupidi, ta võib põhjustada ka kompleksi dissotsiatsiooni. Lisaks võivad kinaasid moodustada ka signaaliradades niinimetatud loogilisi väravaid, nagu näidatud joonise 2 alumisel paneelil. Üks kinaas loob substraati fosforüleerides tingimused, mis lubavad teisel kinaasil sama substraadiga järgnevalt seonduda, et seda edasi fosforüleerida. Sel juhul on teise kinaasi lisatud fosfaat vajalik väljundsignaali komponent ning on saavutatud tingimus, et väljundsignaali edasiandmiseks on vajalik integreerida mõlema kinaasi signaalid (AND gate). Sellest viimasest mehhanismist tuleb juttu ka allpool seoses meie projektidega multifosforüleerimise vallas.

Farmaatsiatööstus on ammu aru saanud, et proteiini kinaasid on väga rikkalik ravimisihtmärkide kogum. Proteiini kinaasidele suunatud ravimiarendusega ehk siis spetsiifiliste inhibiitorite disainimise ja katsetamisega tegeleb märkimisväärselt suur osa maailma ravimifirmadest.



Joonis 2.
Proteiini kinaasid reguleerivad valkude funktsiooni mitmel erineval moel.

Oluliseks haiguseks, mida püütakse mõjutada, on vähkkasvajad. Suur osa geenidest, mis otseselt põhjustavad vähki, on proteiini kinaasid ja veel suurem hulk vähigeene kodeerivad valke, mis aktiveerivad proteiini kinaase või siis on proteiini kinaaside substraadid. Proteiini kinaasid on seotud ka südameveresoonkonna haigustega, diabeedi, põletike ja immunpuudulikkustega, samuti neuroloogiliste haigustega, nagu näiteks Alzheimeri tõbi. Üle 150 proteiini kinaasi inhibiitori on praegu kliiniste katsete erinevates staadiumides ja vähemalt 500 on prekliiniliste uuringute staadiumis. On hinnanguid, et koguni üle 30% ravimiarendusele pühendatud arendustööst farmaatsiatööstuses on suunatud spetsiifiliste proteiini kinaaside inhibiitorite leidmisele ja katsetamisele.

Kogu proteiini kinaasidele suunatud ravimiarenduse sisuliseks põhiküsimuseks on nende ensüümide substraadi spetsiifilisuse mõistmine. See on väga tähtis ja laialdane temaatika, millega ka meie labor on juba pikka aega tegeleenud. Substraadi spetsiifilisusest arusaamine on oluline, sest ravimidisaini põhistrateegia on kasutada ja mimikeerida substraadi struktuuri ja interaktsioone, et luua konkurentseid inhibiitoreid.

Põhiliseks proteiini kinaaside terapeutiliste inhibiitorite loomise strateegiaks on seni olnud selliste molekulide disainimine, mis seonduvad konkurentsetl adenosiin trifosfaadiga (ATP) ensüümi aktiivtsentris olevasse hüdrofoobsesse taskusse. Sellesse taskusse saab suunata väiksemaid hüdrofoobseid ravimimolekule ja nende inhibiitorite eelis on see, et nad oma hüdrofoobsuse tõttu on tihti võimelised läbima raku välismembraani. Nimetatud strateegiat limiteerib aga fakt, et kuna ATP on kõigi proteiini kinaaside jaoks ühine substraat, siis on see ATPd siduv tasku ka kõigil kinaasidel küllaltki sarnane, ehk konserveerunud. Seetõttu on olnud keeruline disainida selliseid ATP-konkurentseid inhibiitoreid, mis ei seonduks peale soovitud ravimisihtmärgiks oleva proteiini kinaasi, mille aktiivsus on haigusseisundi puhul ülemäära kõrge, ka paljude teiste kinaasidega, mille toimet ei soovita muuta. Selline olukord võib põhjustada ravimi ebasoovitavaid kõrvaltoimeid, mille tõttu ravimikandidaadid kukuvad välja erinevates kliiniliste katsete staadiumides.

Seega, kuna ATP on ühine substraat erinevate kinaaside jaoks, siis raku signaalisüsteemides on määratud substraadi spetsiifilisus teise substraadi, valgu tasandil. Valksubstraatide äratundmismotiivid kasutavad segu laetud ja hüdrofoobsetest aminohapetest. Selliste interaktsioonide jäljendamine ravimikandidaatideks olevates molekulides on jällegi problemaatiline, sest laetud molekulid ei tungi piisavates kogustes läbi rakumembraani. Kirjeldatud raskesti lahendatav olukord sunnib uurijaid otsima teisi strateegiaid ja proovima erinevate strateegiate kombinatsioone, et saavutada maksimaalne spetsiifilisus ja selektiivsus ning minimeerida kõrvaltoimed. Valksubstraatide äratundmise kriteeriumide uurimine ja kaardistamine on selles olulises uurimissuunas kesksel kohal.

Proteiini kinaaside substraatvalkude äratundmise mehhanismides võib eristada kolm peamist taset. Esiteks, basaalseks kriteeriumiks, mille abil kinaas eristab kindlad fosforüleeritavad aminohapped ülejäänutest, on primaarstruktuuri konsensusmotiivid. Need motiivid toovad välja vajaliku aminohapete mustri fosforüleeritava aminohappe ümbruses. Selle motiivi tunneb ära kinaasi aktiivtsentri vahetu ümbrus, ja motiivi kandev peptiidisegment asetub seondumise käigus niimoodi, et ATP äärmine fosfaatrühm, mida koordineerivad magneesiumi ioonid, on täpselt orienteeritud seriini või treoniini hüd-roksüülrühma suunas. Konsensusmotiivi tasemel saavutatud spetsiifilisus on tähtis ja väga vajalik, kuid probleem on selles, et valkudes on selliseid motiive statistiliselt väga palju. Ometi vaid üksikud neist kohtadest fosforüleeritakse spetsiifiliselt.

Teiseks substraadi äratundmise tasemeks on niinimetatud dokkimise kohad, mis asetsevad aktiivtsentritest eemal ja seonduvad substraadi motiividega, mis on omakorda fosforüleeritavast aminohappest teataval kaugusel. Kinaasi ja substraadi vahelise dokkimise tulemusena suureneb fosforüleeritava aminohappe lokaalne efektiivne kontsentratsioon aktiivtsentri läheduses ja seeläbi suureneb fosforüleerimise tõenäosus. Kolmandaks substraatide äratundmise tasemeks on kinaasi kolokalisatsioon koos substraadiga samasse ruumpunkti rakus. Seda korraldavad tavaliselt erinevad lokaliseerimise- või ankurvalgud.

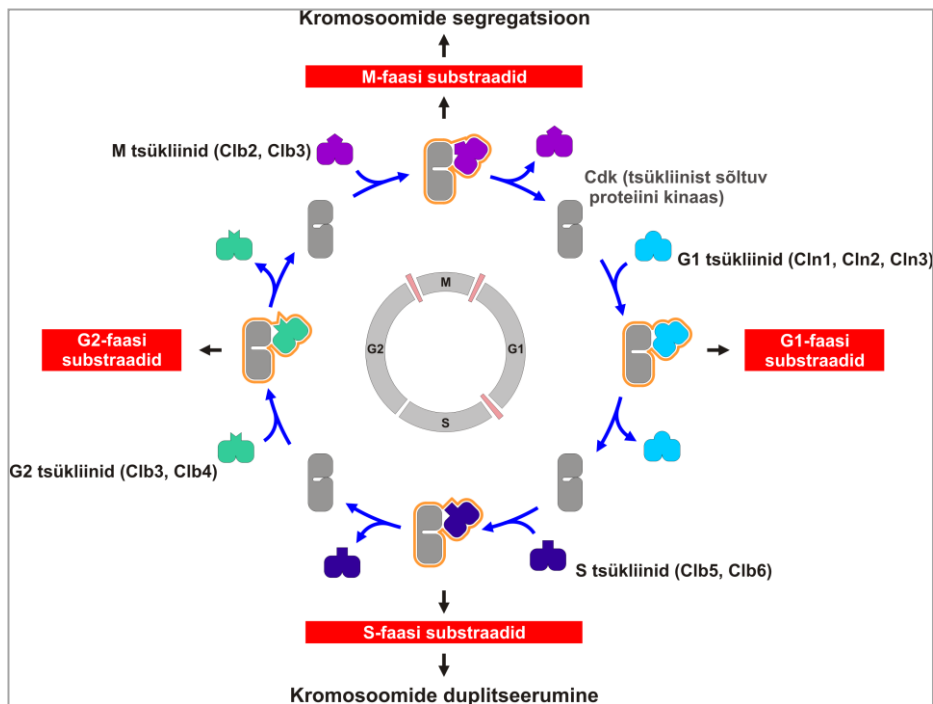
Need kolm taset pole aga piisavad rakusiseste lülitussüsteemide täpse toimimise saavutamiseks. Pealegi, ideaalsed fosfolülitid on midagi enam, kui lihtsalt fosfaatrühma lisamine ja äravõtmine. Näiteks peab ideaalne lüliti olema ultrasensitiivne, st ta ei tohi reageerida allpool teatavat täpselt lävenditaset antud signaalile. Lisaks peab optimaalne fosfolüliti filtreerima täielikult kogu müra, mis tekib kümnete teiste lähedase spetsiifilisusega kinaaside koostisteerimisest rakukeskkonnas. Isegi väga madalal tasemel mürast tulenevad valesi antud signaalid võivad olla raku jaoks katastroofilise tagajärjega. Kõige olulisem kompleksuse tase fosfolülitite mehhanismides tuleneb aga sellest, et suur osa kinaaside substraatvalke omavad mitmeid fosforüleerimiskohti (fosforüleeritavaid seriine, treoniine või türosiine). Sellised multifosforüleeritavad lülitusmehhanismid võivad olla suutelised integreerima mitmeid signaale, moodustades keerukaid miniatuurseid protsessorsüsteeme. Seda liiki multifosforüleerimissüsteemid on senini peaaegu läbiuurimata valdkond, sest alles hiljuti ilmusid meetodid, mille abil oli võimalik erinevate fosforüleerimiste omavahelist dünaamikat uurida. Seega võime kokkuvõttes öelda, et loodus on lahendanud kinaaside spetsiifilisuse küsimuse, kasutades kombinatsioone paljudest erinevatest molekulaarse äratundmise tasemetest.

Nende küsimuste uurimisega erinevate proteiini kinaaside kontekstis oleme tegelema juba mitmeid aastaid. Kui 1980ndate aastate lõpus alustas professor Jaak Järv Tartu Ülikooli keemiaosakonnas bio-orgaanilise keemia suuna ja eriprogrammiga, pani see aluse ka proteiini kinaaside kineetika ja spetsiifilisuse uurimisele. Hiljem, 1990ndate aastate alguses koos suuremate võimalus-

tega rahvusvaheliseks koostööks tekkisid Jaak Järvel kontaktid Uppsala Ülikooli professori Lorenz Engstömiga, kellest hiljem sai ka Tartu Ülikooli audoktor. Professor Engström, kes on tänaseks juba meie hulgast lahkunud, oli läbinud järel doktorantuuri USAs Fritz Lipmanni laboris. Fosfovalkude keemia seisukohalt oli see tähelepanuväärne, sest Fritz Lipmann oli valkude fosforüleerimise uurimise pioneere, kes 1933 aastal demonstreeris esimesena fosfoseriini kui fosforüleeritud aminohappe, isoleerides selle kaseiinist. Tekkinud koostöö käigus suundusin Uppsala Ülikooli, kus tegin doktoritöö erinevate basofiilsete proteiini kinaaside spetsiifilisusest (Loog, 2001). Neid kinaase ühendavaks tunnuseks oli asjaolu, et nad kasutasid positiivseid ja hüdrofoobseid aminohappeid substraatkohtade äratundmise konsensusjärjestustes. See lubas meil kasutada teadmisi nendest konsensusjärjestustest bisubstraatsete inhibiitorite disainil koostöös professor Asko Uriga Tartust. Kuna doktoritöö keskendus aktiivtsentri ümbruse spetsiifikale, inhibiitorite disainile ja aktiivtsentri sondeerimisele, siis edasi tekkis loogiline huvi ülalkirjeldatud teise spetsiifilisuse kiriteeriumi, dokkimise mehhanismide vastu. Pärast doktori kraadi kaitsmist siirdusin järel doktorantuuri David Morgani laborisse Kalifornia ülikoolis, San Franciscos. Seal asusin uurima tsükliinist sõltuvaid proteiini kinaase (CDK, cyclin-dependent kinases) ja nende substraatide dokkimise mehhanisme. Selleks kasutasin pärmi rakkude pooldumise tsükli kui mudelit.

Rakkude pooldumine on täiuslikult reguleeritud protsess, mille käigus duplitseeritakse kromosoomid, rakuorganellid ja proteoom ning lõpptulemuseks on kahe raku tekkimine. Fosforüleerimislülite seisukohalt on huvitav just see, et kõik peamised protsessid rakutsükliks on reguleeritud vaid üht tüüpi proteiini kinaasi CDK poolt. Kuigi on ka palju teisi proteiini kinaase, mis toimivad rakutsükli erinevates reguleeritud sõlmedes, on hierarhiliselt kõrgeim regulaator CDK. Sealjuures ei ole ta vaid üksiku ja edasihargneva algsignaali andja, vaid toimib vahetult sadadele erinevatele substraatlülitidele (Holt jt, 2009; Übersax jt, 2003). Imetajates on rakutsükliks reguleerivad CDK vorme küll mitu, kuid nende vahel on sisulisi erinevusi vähe. Pärmis *Saccharomyces cerevisiae* aga on neid vaid üks, Cdk1 – pearegulaator, mis lülitab sisse protsessid ja reguleerib nende kulgu kogu rakutsükli vältel. Seetõttu on pärmi mudel väga hea, lastes teha puhtaid eksperimente, milles vaadeldakse mutatsioonide efekte ühele kinaasile, ilma et teised sarnased kinaasivormid oleksid taustal segavateks faktoriteks.

CDK aktiveeritakse rakutsükliks tsükliinilistelt ilmuvate ja kaduvate valkude ehk tsükliinide poolt. Tsükliinid ongi signaalid, mis annavad CDK-le käsu lülitada sisse erinevad järjestikused rakkude pooldumise protsessid (joonis 3) (Morgan, 2007). CDKd kuuluvad proliin-suunatud kinaaside hulka, see tähendab et nende primaarseks spetsiifilisuse konsensusmotiiviks on seriinid või treoniinid, millele järgnevad proliinid (Ser/Thr-Pro konsensus motiiv). Teiseks on olemas CDK-sid aktiveerivate tsükliinide pinnal substraatide dokkimise taskud (joonis 4A).

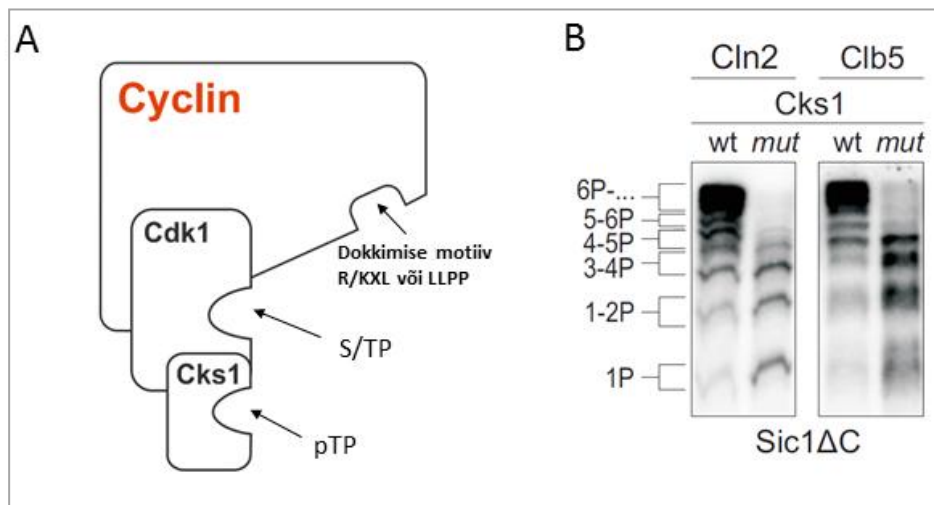


Joonis 3.

Erinevad tsükliinid aktiveerivad proteiini kinaas Cdk ja võimaldavad viimasel ära tunda spetsiifilisi substraate erinevates rakutsükli staadiumides.

Nende kahe spetsiifilisuse tasandi uurimistulemuste põhjal arendasime üldise Cdk1 spetsiifilisuse dünaamika mudeli (Koivomagi jt, 2011b; Loog, Morgan, 2005). Nende töödega lahendasime kaua püsinud fundamentaalse probleemi: miks ei käivita rakutsükli alguses aktiveeritud Cdk1 enneaegselt rakutsükli hilisemaid protsesse? Leidsime, et erinevad tsükliinid moduleerivad Cdk1 aktiivsaidi omadusi erinevalt. See leid muutis paradigmat tsükliinidest kui vaid pelgalt CDK aktivaatoritest ning konsolideeris ka pikka aega teadusharus üleval olnud vastandliku debati rakutsükli kvantitatiivse mudeli ja tsükliinispetsiifilisuse mudeli pooldajate vahel. Lisaks avastasime seni teadmata dokkimise mehhanismi, mis on spetsiifiline G1 faasi tsükliinidele.

Nende suuremahuliste tööde käigus leidsime ka mitmeid uusi kirjeldamata potentsiaalseid rakutsükli lüliteid ning pakkusime välja esimese Cdk1 märklaudvalkude klassifikatsioonisüsteemi. Huvitav on märkida, et kuigi CDKd avastati juba 1970ndatel, ei olnud seda laadi klassifitseerivat ja süstemaatilist biokeemilist uuringut seni tehtud, mistõttu puudus loogiline baas paljude bioloogiliste fenotüüpide seletamiseks.



Joonis 4.

Tsükliin-Cdk1-Cks1 kompleksi substraadi dokkimise taskud ja konsensusmotiivid, mida kasutatakse ensüümi poolt spetsiifiliste substraatide äratundmiseks.

(A) Skemaatiline näide kolmest spetsiifilisuse tsentrist, mille abil saavutatakse substraatide äratundmine: Cdk1 aktiivtsenter, mis tunneb ära fosforüleeritavat S/TP konsensusmotiivi; fosfo-TP motiifi siduv Cks1 tasku ja hüdrofoobsed taskud tsükliini pinnal, mis tunnevad ära erinevaid dokkimise motiive substraatides. (B) Eksperimentaalne näide Cks1-sõltuva fosfo-adaptormehhanismi abil toimuvast multifosforüleerimisest. Puhastatud tsükliin-Cdk1-Cks1 komplekse (Cln2 ja Clb5 on vastavalt S-faasi ja G1-faasi tsükliinid) inkubeeriti koos ^{32}P radioaktiivset märget sisaldava ATP ning valkubstraadi Sic1 N-terminaalse fragmendiga (Sic1 ΔC). Erineva arvu fosfaate sisaldavad radioaktiivse märkega substraadi vormid lahutati elektroforeesil ja elektroferogramm eksponeeriti radioaktiivsusele tundlikul ekraanil. Muteeritud fosfaati-seonduva taskuga Cks1 vormi lisamine vähendas multifosforüleerimise protsessiivsust, kinnitades Cks1 olulist rolli reaktsioonis.

Kuigi need kirjeldatud substraadi äratundmise mehhanismid, mis põhinevad dokkimismotiividel ja aktiivtsentril, võimaldavad küll päris suurt spetsiifikat, pole see siiski piisav, et kontrollida rakkude pooldumise tsükli ilma vigadeta. Probleem on selles, et kvantitatiivne spetsiifilisuste vahemik, mille ulatuses kinaasid saavad opereerida, on piiratud. Neid spetsiifilisusi saab väljendada Michaelise konstandiga (K_M) ja spetsiifilisuse konstandiga k_{cat}/K_M . Spetsiifilisused (K_M) varieeruvad substraatide puhul kontsentratsioonivahemikus umbes 10^{-6} kuni 10^{-3} M. Liiga madal, nanomolaarsetes väärtustes K_M ei ole hea, sest liiga hea spetsiifilisuse korral võib juhtuda, et tuleb ohverdada katalüüsi kiirust (k_{cat}) ja substraat hakkab muutuma konkurentseks inhibiitoriks

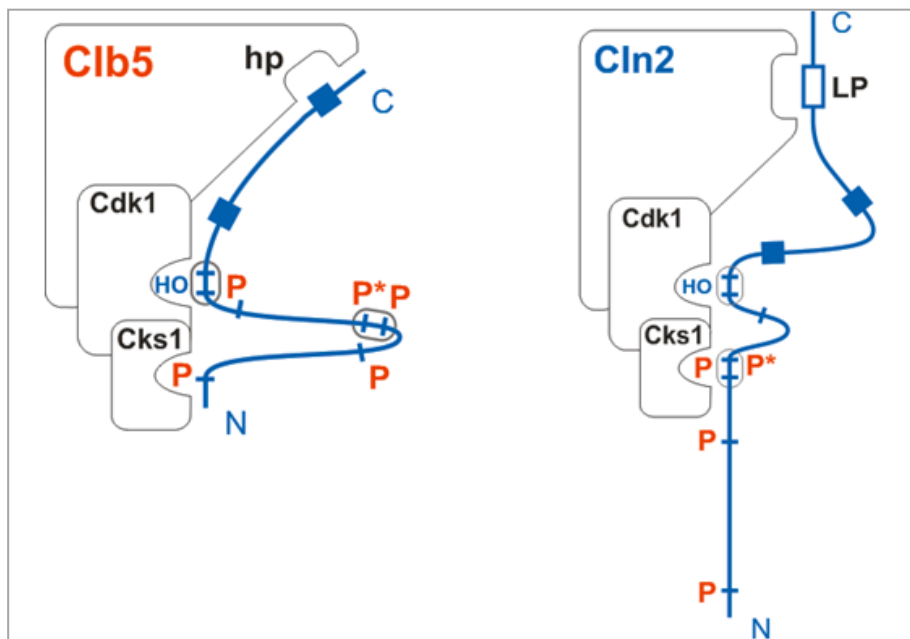
teiste substraatide suhtes. Seega ei ole palju ruumi, et kujundada väga selektiivseid substraate, mille suhtes teised tsükliin-CDK kompleksid ei oma segavat spetsiifilisust. Segav spetsiifilisus tekitab vigu erinevate komplekside signaaliülekanedes ja rakkude pooldumise protsessis. Selliste vigade näiteks oleks signaaliülekanne, mis põhjustaks sõsar-kromosoomide lahkumise lülituse enne DNA replikatsiooni lõppu, või siis jälle, teisel võimalikul juhul, käivitaks osa replikatsiooni enneajalt juba G1 faasis. Sellised stsenaariumid oleks raku jaoks katastroofilised.

Kuidas on rakus selline paradoksaalne situatsioon lahendatud? Meie hüpotees on, et substraatide multifosforüleerimise ja erinevate dokkimiste kaudu on võimalik lähedase spetsiifilisusega kinaaside signaale diferentsiaalselt võimendada ja anda neile täpsed ja üksteisest selgelt eristuvad rollid lülituste sooritamisel. Ehk siis, multifosforüleeritavad klastrid, mida leidub enamikus CDK substraatidest, võiksid toimida nagu miniatuursed digitaalsed signaali-protessorid, mis läbi järjestikuste fosforüleerimiste ahela võimendavad soovitud kinaaside signaale teiste ebasoovitavate signaalide suhtes. Hiljutised teoreetilised tööd on ennustanud, et palju fosforüleerimiskohti omavate kinaasisubstraatide multifosforüleerimine võib anda piiramatut võimalust ideaalse lahutuvusega digitaalseks ja multistabiilseks lülitusvõrgustikuks rakus, pakkudes seni täiesti teadmata taseme rakusignalisatsioonis (Thomson, Gunawardena, 2009). Ometi pole multifosforüleerimise kohta kaugeltki piisavalt eksperimentaalseid teadmisi, et evalveerida neid uusi hämmastavaid teoreetilisi võimalusi. Seni pole olnud piisavalt meetodeid, et lahutada ja analüüsida valkude erinevaid fosfoforme. See probleem hakkas lahenuma alles mõned aastad tagasi, kui ilmusid mass-spektromeetrilised meetodid proteolüütiliste fosfopeptiidide kvantitatiivseks määramiseks ja innovaatilised elektroforeesi meetodid, mis võimaldavad rakkude erinevaid fosfoforme lahutada. Olime esimeste seas, kes edukalt rakendas uudset Phos-Tag tehnoloogiat (Kinoshita jt, 2005) kinaasi substraadi erinevate fosfoformide tekkimise kineetika uurimiseks (joonis 4B).

Et uurida multifosforüleerimise mehhanisme rakutsüklis, valisime Cdk1 reguleeritavates multifosforüleerimissüsteemidest ühe tähtsama ja ka huvitavama – Cdk1 G1-faasi spetsiifilise inhibiitori Sic1. Pärimirakkude pooldumise G1/S lüliti käivitamiseks fosforüleeritakse Cdk1 inhibiitori Sic1 mitmed seriinid ja treoniinid. Multifosforüleerimine on signaaliks, mis lagundab inhibiitori ja vabastab kiirelt S-faasi spetsiifilise Cdk1 aktiivsuse, mis omakorda käivitab DNA-replikatsiooni. Just G1/S lüliti on paljudes vähkkasvajates geenimutatsioonide tõttu rikutud ja selle mehhanismi süsteemitasemel mõistmine on oluline õige lüliti-barjääri ja inhibiitor/CDK tasakaalu taastamiseks ravimimolekulidega. Senise mudeli järgi arvati, et Cdk1 poolt multifosforüleeritavad kohad Sic1-s moodustuvad juhusliku klatri ja nende fosforüleerimiskohtade sisemine omavaheline paigutus ei oma erilist tähtsust. Ometi baseerus see mudel vaid oletustel, sest meetodite puudumine ei luba-

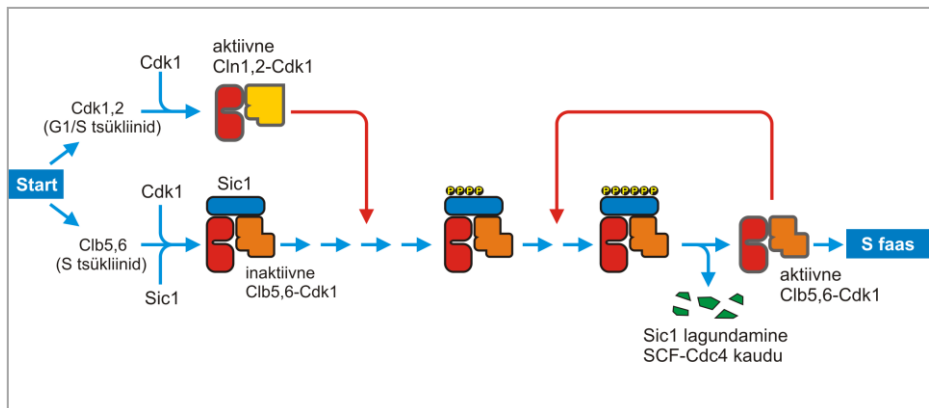
nud detailselt uurida multifosforüleerimise kineetikat. Kasutades mitmeid erinevaid biokeemilisi meetodeid näitasime, et G1 ja S faasi tsükliin-Cdk1 kompleksid fosforüleerivad Sic1 fosforüleerimiskohti järjestikusest ja üksteisest sõltuvalt (joonis 5), luues loogilise 'värava', kus mõlemad tsükliinid kontrollivad, et teise tsükliini tase oleks lülituseks piisav (Koivomagi jt, 2011a).

Lisaks muutis see uurimus senist rakutsükli mudelit, leides et rakutsükli stardilüliti käivitab S faasi tsükliin-Cdk1 positiivse tagasisideme mehhanism, mitte aga G1 faasi tsükliin-Cdk1 (joonis 6). Töö tõi esile ka aastaid ignoreeritud fosfo-adaptormolekuli Cks1 olulise rolli lülitusmehhanismides. Kuna enamus Cdk1 märklaudvalkudest on multifosforüleeritud, siis on alust arvata, et avastatud mehhanismi esineb laialdaselt ning see muudab meie arusaamist Cdk1 funktsioonist rakutsükliis. Hiljuti oleme vaadanud veel teisi olulisi Cdk1 poolt reguleeritavaid lüliteid. Ühe huvitava näitena oleme uurinud feromooni signaalirada pärmis. Seda protsessi võib lugeda ka lihtsaimaks mudeliks, mis selgitab rakkude diferentseerumise ja pooldumise,



Joonis 5.

Cks1-sõltuva multifosforüleerimise skemaatiline näide. Vasakul Clb5 (S-faasi tsükliin) ja paremal Cln2 (G1-faasi tsükliin) poolt aktiveeritud Cdk1 kompleks. Substraadiks on Sic1 N-terminaalne fragment. Kuna enamus Cdk1 poolt multifosforüleeritavate klastreid on valkude struktuuritutes regioonides (kus puudub märkimisväärne sekundaarne ja tertsiaarne struktuur), siis tsükliin-Cdk1-Cks1 kompleks toimib nagu pind, millel olevate taskute järgi paindlik substraadi polüpeptiid oma erinevad seundumiskonfiguratsioonid kohandab.



Joonis 6.
Saccharomyces cerevisiae rakutsükli startilüliti.

kahe alternatiivse raku saatuse vahelise otsustuspunkti molekulaarset mehhanismi. Selle punkti defineeris Nobeli preemia laureaat Lee Hartwell kui Start (Hartwell jt, 1974), või ka punkt, kust enam tagasi ei pöördu (the point of no return). Oleme leidnud, et see lüliti toimib ühelt poolt peaaegu täpselt samuti nagu Sic1, integreerides kaks erinevat tsükliin-Cdk1 signaali multifosforüleeritavasse fos-fodegroni kaskaadi. Kuid samas kasutab see lüliti ka hoopis mujal molekuli osas olevat inhibitoorset diversioonikaskaadi. See MAP kinaasi (ferromooni raja väljundsignaal) poolt fosforüleeritud diversioonikoht justkui petab Cdk1 valeühenduse kaudu tupikrajale. Kasutades niimoodi multifosforüleeritavaid protsessoralasid molekuli pinnal, saavutatakse topelt negatiivne tagasiside-mehhanism. See mehhanism reguleeribki otsustuspunkti, mis eraldab kahte alternatiivi: raku pooldumist ja sugulist paljunemist.

Kokkuvõttes tuleb märkida, et multifosforüleerimise võrgustikud avavad uue tasandi rakutsükli regulatsiooni ja Cdk1-kontrollitud mehhanismide mõistmises ning on veel palju teha, et näidata nende protsessor-süsteemide kõiki võimalusi. Lisaks Far1-le feromoonirajas uurime mitmeid tähtsaid Cdk1 multifosforüleeritavaid märklaudvalke, nagu näiteks replikatsioonifaktorid Sld2 ja Cdc6. Nende puhul oleme näinud juba hoopis erineval loogikal põhinevaid diversiooniradu ja usume, et teisi ühenduste ja kaskaadide printsiipe ilmneb veelgi. Lõplikuks eesmärgiks on kokku panna Cdk1 spetsiifilisuse kriteeriumide kogum, ehk Cdk1 multifosforüleerimise kood, mis kombineerib spetsiifilisuse dünaamika töödes leitu ja multifosforüleerimise kaskaadide optimaalsed spetsiifilisuse parameetrid. Üheks huvitavaks tulevikusuunaks, kus kogutud informatsiooni plaanime rakendada, on multifosforüleeritavate kaskaadide kasutamine sünteetilises bioloogias. Kunstlikult konstrueeritud fosfo-

rüleerimisklastreid, mis sisaldavad degradatsioonisignaale või kompleksi moodustumise signaale, saab ühendada valkudega ning seeläbi saab kontrollida valkude degradatsiooni, lokalisatsiooni ja kompleksimoodustumist.

KIRJANDUS

Hartwell, L. H., Culotti, J., Pringle, J. R., Reid, B. J. (1974). Genetic control of the cell division cycle in yeast. *Science*, 183, 46-51.

Holt, L. J., Tuch, B. B., Villen, J., Johnson, A. D., Gygi, S. P., Morgan, D. O. (2009). Global analysis of Cdk1 substrate phosphorylation sites provides insights into evolution. *Science*, 325, 1682-1686.

Kinoshita, E., Yamada, A., Takeda, H., Kinoshita-Kikuta, E., Koike, T. (2005). Novel immobilized zinc(II) affinity chromatography for phosphopeptides and phosphorylated proteins. *J. Sep. Sci.*, 28, 155-162.

Koivomagi, M., Valk, E., Venta, R., Iofik, A., Lepiku, M., Balog, E. R., Rubin, S. M., Morgan, D. O., Loog, M. (2011a). Cascades of multisite phosphorylation control Sic1 destruction at the onset of S phase. *Nature*, 480, 128-131.

Koivomagi, M., Valk, E., Venta, R., Iofik, A., Lepiku, M., Morgan, D. O., Loog, M. (2011b). Dynamics of Cdk1 substrate specificity during the cell cycle. *Mol. Cell*, 42, 610-623.

Loog, M. (2001). Studies on the differential specificity of protein kinases and its applications. Ph.D thesis. Uppsala University.

Loog, M., Morgan, D. O. (2005). Cyclin specificity in the phosphorylation of cyclin-dependent kinase substrates. *Nature*, 434, 104-108.

Manning, G., Whyte, D. B., Martinez, R., Hunter, T., Sudarsanam, S. (2002). The protein kinase complement of the human genome. *Science*, 298, 1912-1934.

Morgan, D. O. (2007). *The Cell Cycle: Principles of Control* (Primers in Biology). New Science Press Ltd., London.

Pearlman, S. M., Serber, Z., Ferrell, J. E. Jr. (2011). A mechanism for the evolution of phosphorylation sites. *Cell*, 147, 934-946.

Thomson, M., Gunawardena, J. (2009). Unlimited multistability in multisite phosphorylation systems. *Nature*, 460, 274-277.

Ubersax, J. A., Woodbury, E. L., Quang, P. N., Paraz, M., Blethrow, J. D., Shah, K., Shokat, K. M., Morgan, D. O. (2003). Targets of the cyclin-dependent kinase Cdk1. *Nature*, 425, 859-864.

*Teaduspreemia arstiteaduste alal uurimuste tsükli
"Kandidoosi uued tekke mehhanismid" eest*



Kai Kisand

Sündinud 8.03.1965 Tartus

1983 Tartu 2. Keskkool

1989 Tartu Ülikool, diplom ravi erialal (*cum laude*)

1999 Tartu Ülikool, meditsiiniteaduste doktor

1999–2004 teadur TÜ ÜMPI immunoloogia töögrupis

2004–2005 Uppsala Ülikooli Autoimmunteedi ja Põletiku Keskus, järel-doktorantuur

2005– vanemteadur ÜMPI immunoloogia ja molekulaarpatoloogia töögrupis

Eesti Immunoloogide ja Allergoloogide Seltsi juhatuse liige

Avaldanud üle 40 teaduspublikatsiooni

SISSEJUHATUS

Immuunsüsteem peab toime tulema tõeliselt keeruka ülesandega: organismi on tarvis kaitsta väga erinevate haigustekitajate eest, nagu viirused, bakterid (nii rakusisesed kui rakuvälised), seenpatogeeneid ja hulkraksed parasiidid, kuid samal ajal ei tohi kahjustada organismi enese kudesid. Olenevalt haigustekitaja iseloomust ja tema sissetungi teedest on immuunsüsteemil vaja reageerida erineval viisil, et kaitse oleks võimalikult tõhus ning kaasnev koekahjustus minimaalne.

Infektsiooni tekkimisel on esmalt tarvis kahjustav faktor ära tunda, sellele järgneb immuunvastuse küpsemine, efektorfaas ehk haigustekitaja elimineerimine ning lõpuks vastuse vaibumine ja immuunmälu kujunemine, mis aitab järgmisel korral reageerida kiiremini ja efektiivsemalt.

Immuunkaitse tagamiseks on immuunsüsteemil erinevaid vahendeid: rakulisi ja lahustuvaid, mida klassikaliselt jagatakse kaasasündinud ja omandatud immuunsuse mehhanismideks. Tähtsaimateks immuunsüsteemi rakkudeks kaasasündinud immuunsüsteemis on neutrofiilid, makrofaagid, eosinofiilid, basofiilid ja loomulikud tapurakud, omandatud immuunreaktsioone viivad läbi lümfotsüüdid (B- ja T-rakud). T-rakud jagunevad omakorda abistajateks ja tsütotoksilisteks rakkudeks. B-rakkude tähtsaimaks ülesandeks on anti-keha-

de tootmine. Dendriitrakud e põõsarakud, mille avastamise eest läks 2011. aastal Ralph M. Steinmanile pool Nobeli meditsiiniauhinnast, kuuluvad ise küll rohkem loomuliku immuunsüsteemi rakkude hulka, kuid juhivad omandatud immuunsuse kujunemist. Äärmiselt oluline on mõlema immuunsüsteemi alaühiku häireteta koostöö ja infovahetus. Infovahetus toimub otseste rakkudevaheliste interaktsioonide kaudu, aga ka lahustuvate signaalmolekulide (tsütokiinide) vahendusel. Tsütokiinide abil toimub ka organismi teiste kudede mõjutamine.

Kuna haigustekitajad hõivavad organismis erinevaid elupaiku ja vajavad paljunemiseks ning elutegevuseks erinevaid tingimusi, on ka haigustekitajate vastu võitlemiseks vaja erinevaid vahendeid. Hästi on teada I tüüpi interferoonide (IFN- α ja IFN- β) olulisus viiruste vastases kaitses. Hakkama ei saa ka ilma tsütotoksiliste T-rakkudeta, mis hävitavad viiruste poolt nakatatud rakke. Antikehadest on abi viirusnakkuse ärahoidmisel: antikehad, seondudes viirusosakese pinnal oleva antigeeniga, 'neutraliseerivad' viiruse ega lasel rakkudesse siseneda. Rakuväliseid baktereid aitavad elimineerida antikehad koos neutrofiilide ja komplementüsteemiga. Rakusiseste bakterite vastu aitavad aga kõige paremini makrofaagid ja neid aktiveeriv tsütokiin IFN- γ . Peamised parasiitdevastased kaitsemehhanismid on samuti teada: nende, sageli hulkraksete haigustekitajate vastu on tõhusad võimsad mediaatorid, mis sisalduvad nuumrakkudes, eosinofiilides ja basofiilides ning mille vallandumiseks on vajalik IgE tüüpi antikehade osalemine ning tsütokiinid, nagu IL-4, IL-5 ja IL-13. Huvitav on, et samad tsütokiinid ja IgE on seotud ka allergiliste haiguste tekkega.

IMMUUNSÜSTEEM JA SEENED

Immuunsüsteemi rolli seeninfektsioonide vastases kaitses on kõige vähem uuritud ja siin on veel paljugi ebaselget. Kõige levinum seenpatogeen inimestel on *Candida albicans*. See pärmsseen elab inimeste naha ja soolestiku normaalses mikrobioomis ega põhjusta tavaliselt peremeesorganismile probleeme (Conti, Gaffen, 2010). Valge katt limaskestadel, mida ka sooriks kutsutakse, tekib mikrofloora tasakaaluseisundi häirumisel, näiteks antibiootikumikuuri tagajärjel, aga ka suhkruhaiguse korral, mis loob pärmseenele soodsad kasvutingimused. Sellised kandidoosi vormid on küll tüütud, aga mitte ohtlikud, alludes suhteliselt hästi ravile. Infektsioon on palju tõsisem immuunpuudulikkusega patsientidel. Hästi on teada HI-viirusinfektsiooni tagajärjel tekkiv limaskestade kandidoos. Sellest järeldati juba mitu aastakümnet tagasi, et T-lümfotsüütidel on tähtis roll kandidavastases kaitses. Kui lisandub ka neutrofiilide funktsiooni häire, on oht süsteemse kandidoosi tekkeks.

Esmalt peab organism patogeeni sissetungi tuvastama. Selleks kasutab ta üht olulist retseptorite gruppi, mida võiks eesti keeles kutsuda 'ohuretseptoriteks'. Selliseid retseptoreid on kõige rohkem dendriitrakkudel ja makrofaagidel, aga

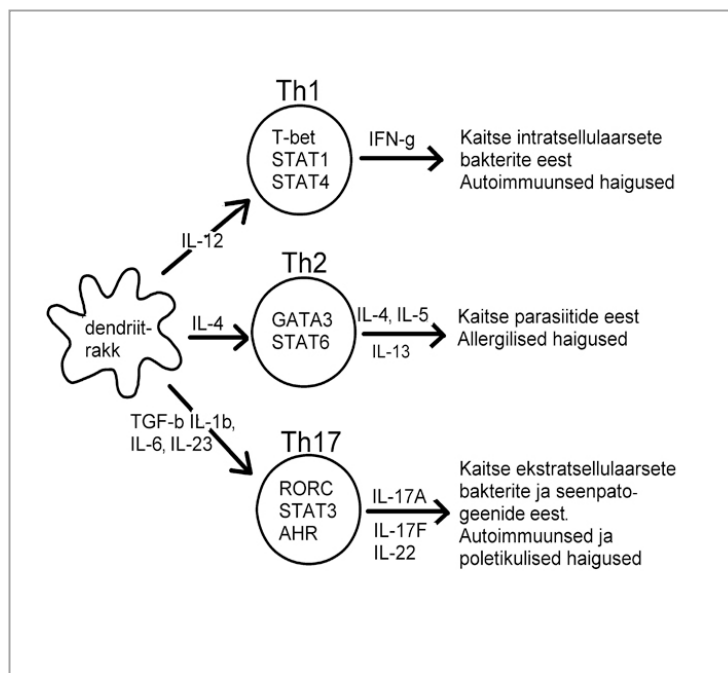
ka katte-epiteelil. Just selliste retseptorite avastamise eest anti 2011. aasta Nobeli meditsiinipreemiast pool ameeriklasele Bruce A. Beutlerile ja prantslasele Jules A. Hoffmannile, kes panid aluse arusaamisele, kuidas immuunsüsteem aktiveerub. Sellesse ohureseptorite perekonda kuuluvad näiteks tollilaadsed retseptorid (TLR), mis tunnevad ära mikroorganismide ehituslikke komponente ja nende seondumisel vallandavad põletikureaktsiooni. *C. albicansi* sissetungi eest hoiatavad näiteks TLR2 ja TLR4 (Gow jt, 2012). Seenpatogeenidele on iseloomulik omapärane süsivesikute struktuur rakuseinas: neile reageerivad C-tüüpi lektiinsed retseptorid (CLR). Olulisimaks neist peetakse teiste hulgas dektiin-1 ja dektiin-2 retseptorit (Eyerich jt, 2010; Heinsbroek jt, 2008). Tähtsad on ka epiteelirakkudelt saadavad signaalid: rakkude kahjustus viitab ohule (Gow jt, 2012). Erinevad patogeenid kannavad erinevaid molekulaarseid mustreid ning nende alusel kujundatakse just selline immuunvastuse tüüp, mis sobib konkreetse haigustekitaja kahjutukstegemiseks. Ohule reageerimisele ja immuunvastuse kujunemisele järgneb vastuse efektorfaas ehk täidesaatev osa. Seenpatogeenide korral on siin tähtis osa T-rakkudel.

T-HELPEREID ON MITMESUGUSEID

Et selgitada, kuidas T-rakud limaskesti kaitsevad, tuleb kõigepealt tutvustada nende rakkude alatüüpe (joonis 1). T-abistajarakud (ehk helperid, lüh Th) polariseeruvad immuunvastuse käigus (dendriitrakkudelt saadud signaalide järgi), et toetada vastust, mis konkreetse kahjustava faktori suhtes on kõige tõhusam. Th1 (vajalik rakusiseste bakteriaalsete infektsioonide korral) ja Th2 (seotud parasiitide ja allergiliste seisunditega) polarisatsioon on teada juba mitukümmend aastat. Eelmisel kümnendil avastati Th17, mida alguses peeti tema võimsa põletikku potentseeriva toime tõttu üdini halvaks. Hiljem selgus, et see rakutüüp on tähtis teatud bakteriaalsete haiguste (nt stafülokokkinfektsioonide) ärahoidmisel, lisaks on kinnitust leidnud selle rakutüübi olulisus limaskestadel ja nahas resideeruvate pärmseente kasvu kontrolli all hoidmisel (Korn jt, 2009).

APECED, AIRE JA KROONILINE LIMASKESTADE KANDIDOOS

Krooniline naha ja limaskestade kandidoos esineb mitme üksikgeeni poolt määratud päriliku sündroomi osana. Geneetilise põhjusega krooniline kandidoos avaldub enamasti juba varases lapseas ning teatud juhtudel kaasneb sellega ka endokriinorganite autoimmuunne kahjustus. Selliste monogeensete sündroomide uurimine on aidanud välja selgitada mitmete kandidavastaste immuunmehhanismide olemust. Meie töörühma panus nendesse uuringusse on kroonilise kandidoosi tekkepõhjuste selgitamine APECED sündroomi korral. APECED tuleneb selle sündroomi inglisekeelse nimetuse esimestest tähtedest: *Autoimmune PolyEndocrinopathy Candidiasis Ectodermal Dystrophy* ning selle sündroomi põhjuseks on mutatsioonid AIRE (autoimmuunne regulaator) geenis (Kisand, Peterson, 2012; Nagamine jt, 1997).



Joonis 1.

T-helperite liigid.

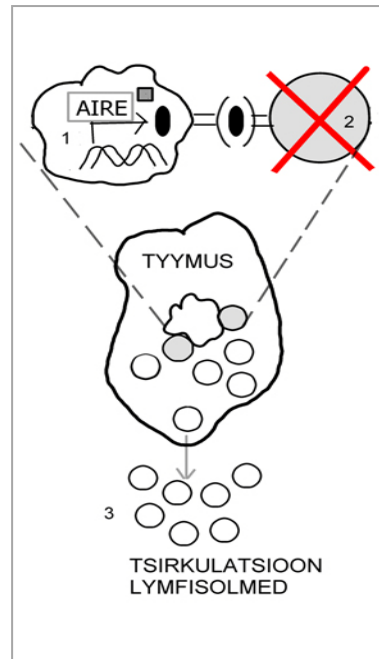
Dendriitrakud, reageerides mitmesugustele 'ohusignaalidele', toodavad mediaatoreid (näidatud dendriitrakkudest lähtuvatel nooltel), mis suunavad naiivseid T-abistajarakke (Th) polariseeruma vajalikul moel Th1, Th2 või Th17 rakkudeks. Iga rakutüübi puhul on ringi sees näidatud neile iseloomulikud transkriptsioonifaktorid ja noole kohal nende poolt sünteesitud olulisimad tsütokiinid. Igal rakutüübil on täita oma roll organismi immuunkaitstes, kuid regulatsiooni häirete korral osalevad nad erinevate haiguste kujunemisel.

AIRE valku sünteesitakse peamiselt tüümuses ehk harknäärmes – organ, kus toimub T-lümfotsüütide arenemine ja kontroll: autoreaktiivsed (organismi oma rakke ründavaid retseptoreid kandvad) T-rakud hukatakse tüümuses ning nad ei pääse vereringesse ega teistesse lümfoidorganitesse. Seda protsessi nimetatakse T-rakkude negatiivseks selektsiooniks. Kuna aga igal koel ja organil on ka väga spetsiifilisi, vaid neile omaseid koostisosi, peab tüümuses olema mingi mehhanism, mis tutvustab arenevatele T rakkudele ka neid antigeene. Aire ülesanne ongi tagada paljude koespetsiifiliste antigeenide avaldamine tüümuse säsi epiteelirakkudes (joonis 2) (Kisand, Peterson, 2012; Kyeowski, Derbinski, 2004; Org jt, 2009). Aire funktsiooni häirudes jäävad paljud autoreaktiivsed T rakud elimineerimata (Liston jt, 2003; Anderson jt, 2005) ning tagajärjeks on erinevate organite autoimmuunne kahjustus (tabel 1).

Joonis 2.

AIRE roll tüümuses.

(1) Tüümuse säsi epiteelirakkudes indutseerib AIRE paljude organspetsiifiliste antigeenide (must ovaal, tume ruut) ekspressiooni arenevatele T-rakkudele esitamiseks. (2) Autoaktiivsed T-rakud (hallid ringid) hävitatakse ja (3) ainult mitteautoaktiivsed T-rakud (valged ringid) pääsevad tsirkulatsiooni ja teistesse lümfoidorganitesse.



Tabel 1

APECED sündroomi väljendused on mitmekesised. Esimesed kolm kuuluvad diagnostilise triaadi hulka. Molekulaarsete meetodite puudumisel diagnoositi APECED, kui esines vähemalt kaks kolmest esimesest haigusest

APECED sündroomi komponendid	Esinemissagedus (%)
Krooniline limaskestade kandidoos	95
Kõrvalkilpnäärme kahjustus	85
Neerupealise koore kahjustus	78
Munasarjade kahjustus	60
1 tüüpi diabeet	13
Kilpnäärme kahjustus	14
Testiste kahjustus	8
Ajuripatsi kahjustus	5
Mao limaskesta kahjustus	20
Autoimmuunne hepatiit	18
Soolestiku düsfunktsioon	22
Juuste väljalangemine	39
Vitiliigo e laikpigmentid	27
Lööve koos palavikuga	14
Tubulointerstitiaalne nefriit (neerupõletik)	9
Põrna atroofia	20
Keratokonjunktiviit (silma põletik)	22
Hamba emaili düsplaasia	77
Küünte düstroofia	50

APECED sündroomiga kaasnevad autoimmuunsed organkahjustused on niisil seletatavad defektse negatiivse selektsiooniga tüümuses. Sama mehhanismiga ei ole aga võimalik põhjendada kroonilist limaskestade kandidoosi, mis on tavaliselt esimene kõigist selle sündroomi mitmekesistest haigustunnustest. Alates AIRE geeni avastamisest ja selle mutatsioonide seostamisest APECED sündroomiga 1997 aastal (Nagamine jt, 1997), polnud ühtegi vettpidavat hüpoteesi, mis lubanuks omavahel seostada autoimmuunseid organkahjustusi ning selektiivset immuunpuudulikkust *Candida albicansi* suhtes. Võimaluse uute mehhanismide avastamiseks löid ühelt poolt I tüüpi interferoone neutraliseerivate autoantikehade leidmine APECEDi korral (Meager jt, 2006; Kisand jt, 2008) ja teiselt poolt Th17 rakkude seostamine kandidavastase immuunsusega (Acosta-Rodriguez jt, 2007).

Meie uuringutest selgus tõepoolest, et APECED sündroomiga patsientidel on puudulik tsütokiinide IL-17F ja IL-22 tootmine (joonis 3) (Kisand jt, 2010). IL-17A tootmine, mida varem peeti kõige olulisemaks Th17 tsütokiiniks, ei erinenud aga kontrollisikutega võrreldes.

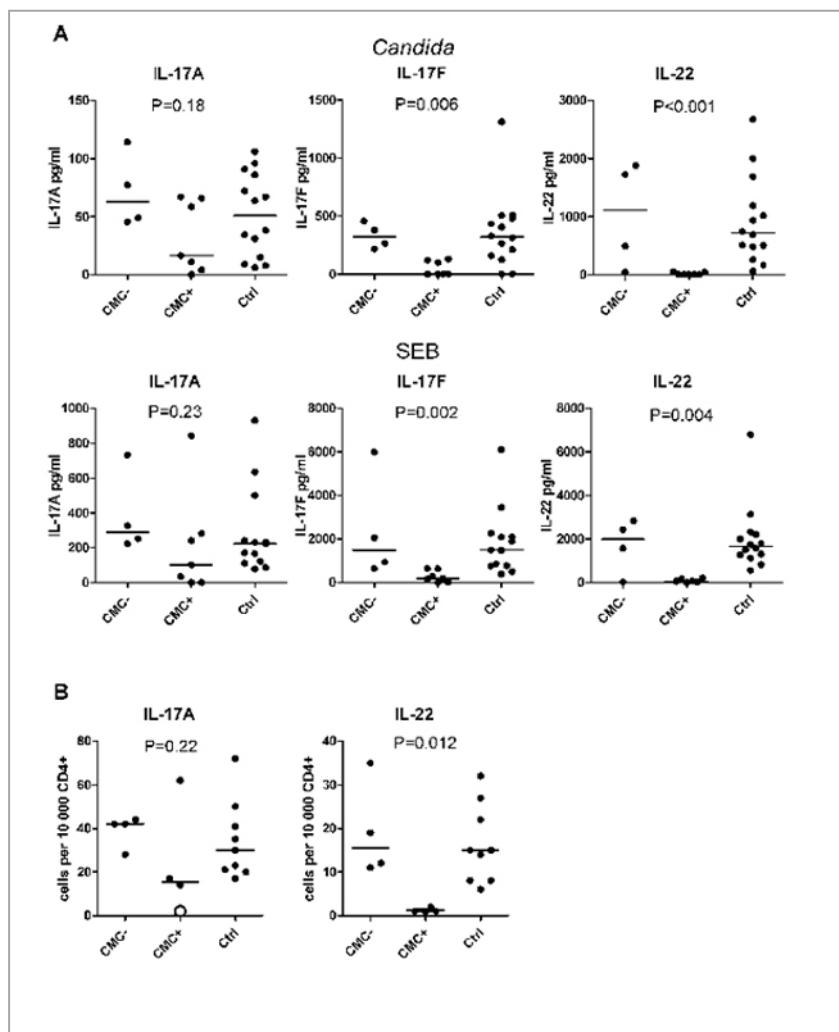
Lisaks leidsime koostöös Briti kolleegide Tony Meageri ja Nick Willcoxiga, et ka nende tsütokiinide vastu tekivad APECED patsientidel neutraliseerivad autoantikehad: IL-22 vastu 90 %-l, IL-17F ja IL-17A vastu harvem (joonis 4) (Kisand jt, 2010).

Seega on kroonilise limaskestade kandidoosi põhjuseks neil patsientidel autoimmuunne reaktsioon kandidavastases kaitse oluliste tsütokiinide ja rakkude vastu. See tähendab, et krooniline kandidoos pole immuunsupresseeriva ravi vastunäidustuseks, nagu siiani arvati.

IL-22 ON OLULINE KROONILISE KANDIDOOSI VASTASES KAITSES

IL-22 rolli avastamisel kandidavastases kaitse on praktiline väärtus. Loodame, et tulevikus on võimalik kroonilise kandidoosi bioloogiline ravi IL-22 või IL-22 retseptori agonistidega ja seda mitte ainult APECEDi, vaid ka teiste raskesti ravitavate krooniliste kandidooside korral. IL-22 retseptorit ei kannu immuunsüsteemi rakud, vaid eeskätt epiteelirakud. Seega on kõrvaltoimete tekkimise oht IL-22 manustamise korral palju tagasihoidlikum kui IL-17 korral, mis omab retseptoreid palju laialdasemalt (ka immunrakkudel).

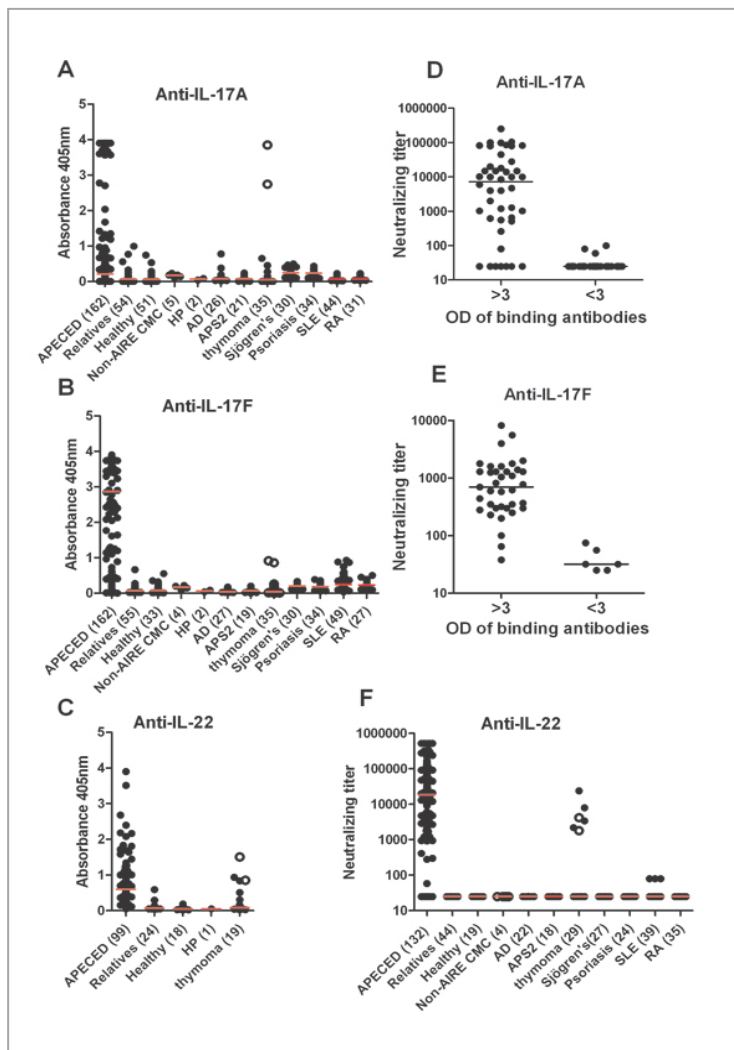
IL-22-l on mitmeid tähtsaid toimeid. Ta aitab säilitada epiteeli barjääri-funktsiooni, stimuleerides kahjustuste paranemist ja limaskestadel mutsiinide eritamist (Aujla, Kolls, 2009). Sama oluline on ka antimikroobsete peptiidide toodangu käivitamine (Kolls jt, 2008). Antimikroobsed peptiidid on loomulikud antibiootikumid ja fungitsiidid, mis erinevate mehhanismide abil kahjustavad patogeene ja aitavad vältida nende sissetungi organismi. Kas ja kuidas on häiritud antimikroobne seisund limaskestadel ja nahal seoses IL-22 defitsiidiga APECED sündroomi korral, on praegu uurimise all.



Joonis 3.

IL-17F ja IL-22 toodangu langus on seotud kroonilise kandidoosi (CMC) esinemisega APECED sündroomiga patsientidel.

(A) Vere mononukleaarsete rakkude proovid pärinesid kroonilise kandidoosiga APECED patsientidelt (CMC+), ilma kandidoosita APECED patsientidelt (CMC-) ja tervetelt kontrollisikutelt (Ctrl). Rakke stimuleeriti *Candida albicansi* surmatud hüüfidega või stafülokoki entrotoksiin B-ga (SEB). 72 tunni möödumisel koguti supernatant ja mõõdeti interleukiinide kontsentratsiooni ELISA meetodil. (B) SEB-stimuleeritud rakud märgistati rakusisestele tsütokiinidele ja analüüsiti voolutsütomeetri abil. Horisontaalsed jooned tähistavad grupi mediaanväärtusi. Gruppide mediaane võrreldi Kruskal-Wallis testi abil.



Joonis 4.

IL-17A, IL-17F ja IL-22 vastased antikehad on väga haiguspetsiifilised.

(A–C) Autoantikehasid interleukiinide vastu määrati ELISA meetodil patsientide ja kontrollide vereseerumist. (D ja E) IL-17A ja IL-17F puhul olid tsütokiini neutraliseeriva toimega kõrgema sidumisväärtusega (optiline tihedus, OD, ELISA testis) seerumid. (F) IL-22 puhul oli rakkudel põhinev tsütokiini neutraliseerimistest ELISast tundlikum. Paljudest uuritud haigustest vaid APECED sündroomiga ja tüümoomiga (tüümuse epiteeliaalne kasvaja) patsiendid omasid seerumis IL-17A, IL-17F ja/või IL-22 vastaseid autoantikehi. Ka tüümoomide korral oli antikehade esinemine seotud kroonilise kandidoosiga HP-hüpoparatiireoidism (kõrvalkilpnäärme kahjustus), AD – Addisoni haigus (neerupealise koore kahjustus), APS2 – autoimmuunne polüendokriinopaatia tüüp 2, SLE – süsteemne erütematoosne luupus, RA- reumatoidartriit.

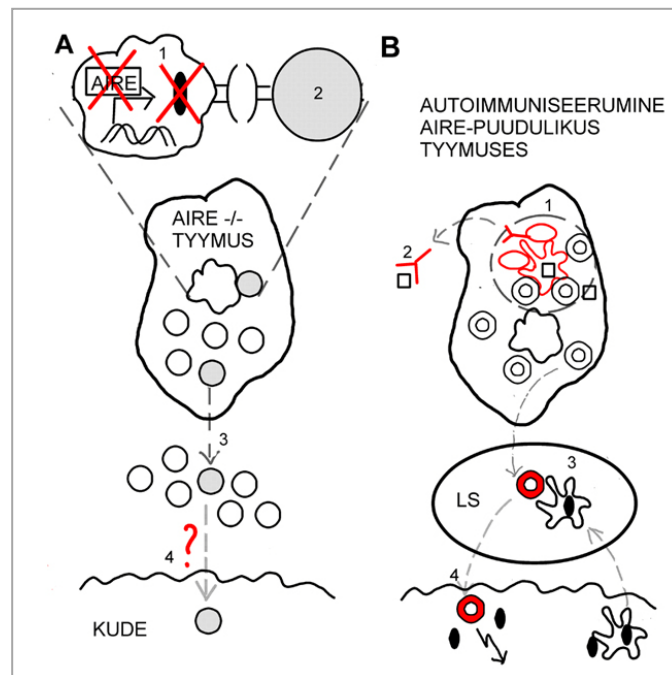
AKTIIVNE AUTOIMMUNISEERUMINE AIRE-PUUDULIKUS TÜÜMUSES

Enamasti toob ühe probleemi lahendus esile terve rea vastamata küsimusi, mis vajavad uusi uuringuid ja lahendusi. Nii on ka kandidoosi mõistatusega: kuigi tsütokiinide vastane autoimmuunsus paigutub esmapilgul kenasti teiste organspetsiifiliste autoimmuunsete haigustega ühte ritta, on selle kujunemist siiski raske seletada AIRE kõige tuntuma funktsiooni häirega. Tsütokiinid ei ole organspetsiifilised antigeenid ja nad ei ole AIRE kontrolli all nagu seda on näiteks insuliini ekspressioon tüümuses. Nii võib arvata, et AIRE puudulikkusega peab kaasnema veel teisi muutusi tüümuses. On näidatud, et AIRE on vajalik tüümuse epiteelirakkude lõplikuks küpsemiseks (Wang jt, 2012), samuti tema osalemist apoptoosilistes protsessides (Gray jt, 2007). Väga intrigeeriv on professor Nick Willcoxi (Oxford) poolt avastatud asjaolu, et I tüüpi interferoonide ja Th17 seoseliste tsütokiinide vastu esineb neutraliseerivaid autoantikehi peale APECEDI veel ainult tüümuse kasvajate korral (Meager jt, 1997). See lubab oletada, et kuigi tüümus on eelkõige immuunolerantsust tagav organ, on teatud juhtudel võimalik ka autoimmuniseerumine tüümuse koes eneses (joonis 5) hüpotees, mille esmaselt püstitas N. Willcox (Meager jt, 2008).

Rakud ja mehhanismid, mis selles protsessis osalevad, vajavad veel selgitamist, kuid oleme veendunud, et kandidoos pole mitte tsütokiinide vastase autoimmuunsuse põhjus, vaid tagajärg: tsütokiinide vastased antikehad tekivad juba esimestel elukuudel enne ühegi teise haigustunnuse avaldumist. Seda arvamust kinnitavad ka tsütokiinide vastaste autoantikehade isotüübid: IgA tüüpi antikehade madal esindatus kõneleb nende limaskestadega seotud tekele vastu, peamiseks antikehade isotüübiks on siin IgG (eelkõige IgG1 ja IgG4 alaklassid) (Kärner jt, käsikiri submiteeritud). IL-17A vastaseid neutraliseerivaid antikehi oleme leidnud ka AIRE-mutantsel hiirel, kellel erinevalt inimestest kunagi kandidoosi ei teki.

Praeguse AIRE funktsiooni paradigmaga ei sobitu meie meelest ka kõrvalkilpnäärme ja neerupealiste väga varajane kahjustus (mõnikord juba 2-aastastel patsientidel), mis tähendaks protsessi initsieerimist varsti pärast sündi (haigus avaldub alles siis, kui peaaegu kogu kude on hävinud, see aga võib mitu aastat aega võtta). Kui autoimmuunsuse põhjuseks oleks vaid puudulik negatiivne selektsioon tüümuses, siis teoreetiliselt saaksid AIRE-puudulikust tüümusest väljuda vaid naiivsed (sellised, mis pole oma retseptorile sobiva antigeeniga veel kohtunud) ja harvad autoreaktiivsed T-rakud. Aktiveerumiseks vajavad nad dendriitrakkudelt impulssi ja see omakorda eeldab, et dendriittrakud saavad ohureseptorite kaudu aktivatsioonisignaali. Kuidas see toimub, jääb praeguse teooria poolt selgitamata. Peame tõenäolisemaks, et naiivsed tüümusest väljunud autoreaktiivsed T-rakud muudetakse perifeersete mehhanismide poolt kahjutuks. Sageli see ilmselt nii juhtubki, sest AIRE kontrolli all on tuhandeid gene, kuid kahjustused tekivad ainult teatud kindlates organites. Pakume välja hüpoteesi, et tüümuses eneses toimub auto-

immuunsete protsesside aktiivne algatamine või, alternatiivse variandina, et tüümuse homeostaasi häirete tõttu ei välju tüümusest naiivsed T rakud (nagu see normaalselt toimub), vaid juba aktiveeritud rakud, mille toleriseerimine perifeersetes mehhanismide poolt pole enam nii tõhus.



Joonis 5.

Praegune ja alternatiivne AIRE-puudulikkuse mudel.

(A) Praegune mudel: defektne negatiivne selektsioon tüümuses. (1) Tüümuse säsi epitelirakkudes väheneb AIRE funktsiooni puuduse korral organ-spetsiifiliste antigeenide (must ovaal) esitamine. (2) kõiki autoreaktiivseid T-rakke (hallid ringid) ei hävitata tüümuses; (3) nad eksporditakse tüümusest välja koos mitte-autoreaktiivsete T-rakkudega (valged ringid). (4) kuidas need harvad naiivsed autoreaktiivsed T-rakud aktiveeritakse efektorrakkudeks, jääb selle mudeli poolt selgitamata.

(B) Alternatiivse mudeli kohaselt on AIRE puudumise tõttu tüümuse keskkond muutunud, mille tõttu tekivad tüümuse koes (1) lümfisõlme sarnased struktuurid, kus tsütokiine (ruudud) esitatakse T- ja B-rakkudele immunogeensel moel (2) ja toodetakse tsütokiinide vastaseid autoantikehi. (3) Tüümusest vabanevad T-rakud on tsütokiinide düsbalansi tõttu kergemini aktiveeritavad kudetest vabanevate autoantigeenide (must ovaal) poolt, (4) millele järgneb koekahjustus.

Perifeerses ja tsentraalses tolerantsuses on veel palju tundmata tegureid, mille uurimine aitab paremini mõista autoimmuunsete haiguste tekkepõhjust, neid ennetada ja leida uusi efektiivsemaid ravivõimalusi.

TÄNUSÕNAD

Kogu see uurimistöö poleks olnud võimalik ilma patsientide ja nende arstide abivalmiduseta. Suur tänu neile! Samuti tänan kõiki häid praeguseid ja endisi kolleege mõlemast töögrupist – teiega koos on olnud lust pikki päevi laboris pusida.

KIRJANDUS

Acosta-Rodriguez, E. V., Rivino, L., Geginat, J. *et al.* (2007). Surface phenotype and antigenic specificity of human interleukin 17-producing T helper memory cells. *Nat. Immunol.*, 8, 639-646.

Anderson, M. S., Venanzi, E. S., Chen, Z., Berzins, S. P., Benoist, C., Mathis, D. (2005). The cellular mechanism of Aire control of T cell tolerance. *Immunity*, 23, 227-239.

Aujla, S. J., Kolls, J. K. (2009). IL-22: a critical mediator in mucosal host defense. *J. Mol. Med.*, 87, 451-454.

Conti, H. R., Gaffen, S. L. (2010). Host responses to *Candida albicans*: Th17 cells and mucosal candidiasis. *Microb. Infect.*, 12, 518-527.

Eyerich, K., Eyerich, S., Hiller, J., Behrendt, H., Traidl-Hoffmann, C. (2010). Chronic mucocutaneous candidiasis, from bench to bedside. *Eur. J. Dermatol.*, 20, 260-265.

Gow, N. A., van de Veerdonk, F. L., Brown, A. J., Netea, M. G. (2012). *Candida albicans* morphogenesis and host defence: discriminating invasion from colonization. *Nat. Rev. Microbiol.*, 10, 112-122.

Gray, D., Abramson, J., Benoist, C., Mathis, D. (2007). Proliferative arrest and rapid turnover of thymic epithelial cells expressing Aire. *J. Exp. Med.*, 204, 2521-2528.

Heinsbroek, S. E., Taylor, P. R., Martinez, F. O., Martinez-Pomares, L., Brown, G. D., Gordon, S. (2008). Stage-specific sampling by pattern recognition receptors during *Candida albicans* phagocytosis. *PLoS Pathogens*, 4, e1000218.

Kisand, K., Boe Wolff, A. S., Podkrajsek, K. T. *et al.* (2010). Chronic mucocutaneous candidiasis in APECED or thymoma patients correlates with autoimmunity to Th17-associated cytokines. *J. Exp. Med.*, 207, 299-308.

Kisand, K., Link, M., Wolff, A. S. *et al.* (2008). Interferon autoantibodies associated with AIRE deficiency decrease the expression of IFN-stimulated genes. *Blood*, 112, 2657-2666.

- Kisand, K., Peterson, P. (2012). Autoimmune polyendocrinopathy candidiasis ectodermal dystrophy: known and novel aspects of the syndrome. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1246, 77-91.
- Kolls, J. K., McCray, P. B. Jr., Chan, Y. R. (2008). Cytokine-mediated regulation of antimicrobial proteins. *Nat. Rev.*, 8, 829-835.
- Korn, T., Bettelli, E., Oukka, M., Kuchroo, V. K. (2009). IL-17 and Th17 Cells. *Annu. Rev. Immunol.*, 27, 485-517.
- Kyewski, B., Derbinski, J. (2004). Self-representation in the thymus: an extended view. *Nat. Rev.*, 4, 688-698.
- Liston, A., Lesage, S., Wilson, J., Peltonen, L., Goodnow, C. C. (2003). Aire regulates negative selection of organ-specific T cells. *Nat. Immunol.*, 4, 350-354.
- Meager, A., Peterson, P., Willcox, N. (2008). Hypothetical review: thymic aberrations and type-I interferons; attempts to deduce autoimmunizing mechanisms from unexpected clues in monogenic and paraneoplastic syndromes. *Clin. Exp. Immunol.*, 154, 141-151.
- Meager, A., Vincent, A., Newsom-Davis, J., Willcox, N. (1997). Spontaneous neutralising antibodies to interferon-alpha and interleukin-12 in thymoma-associated autoimmune disease. *Lancet*, 350, 1596-1597.
- Meager, A., Visvalingam, K., Peterson, P. *et al.* (2006). Anti-interferon autoantibodies in autoimmune polyendocrinopathy syndrome type 1. *PLoS Medicine*, 3, e289.
- Nagamine, K., Peterson, P., Scott, H. S. *et al.* (1997). Positional cloning of the APECED gene. *Nature Genetics*, 17, 393-398.
- Org, T., Rebane, A., Kisand, K. *et al.* (2009). AIRE activated tissue specific genes have histone modifications associated with inactive chromatin. *Hum. Mol. Genet.*, 18, 24, 4699-4710.
- Wang, X., Laan, M., Bichele, R., Kisand, K., Scott, H. S., Peterson, P. (2012). Post-Aire maturation of thymic medullary epithelial cells involves selective expression of keratinocyte-specific autoantigens. *Front. Immunol.*, 3, 1-16.

*Teaduspreemia geo- ja bioteaduste alal uurimuste tsükli
“Ökotehnoloogia maastike aineringe reguleerimisel” eest*



Ülo Mander

Sündinud 11.01.1954 Tartus

1972 Tartu Hugo Treffneri Gümnaasium

1977 Tartu Ülikool, füüsiline geograafia

1983 bioloogiakandidaat (ökoloogia), Tartu Ülikool

1977–1991 Eesti Maaülikooli maaparanduse kateedri assistent, vanem-
õpetaja, dotsent

Alates 1992 Tartu Ülikooli loodusgeograafia ja maastikuökoloogia
professor

2001 Eesti Vabariigi teaduspreemia põllumajandusteaduste alal,
kollektiivi juht

Avaldanud üle 200 teaduspublikatsiooni



Kalle Kirsimäe

Sündinud 05.04.1967 Tartus

1985 Viljandi Carl Robert Jakobsoni nimeline Gümnaasium

1992 Tartu Ülikool, geoloogia

1994 MSc geoloogia (pinnakatte ja rakendusgeoloogia), Tartu Ülikool

2000 PhD geoloogia (pinnakatte ja rakendusgeoloogia), Tartu Ülikool

1993–2001 Tartu Ülikooli geoloogia instituudi assistent, lektor, teadur

2001–2002 Tartu Ülikooli geograafia instituudi erakorraline teadur

Alates 2002 Tartu Ülikooli geoloogia ja mineraloogia professor

Avaldanud üle 100 teaduspublikatsiooni

Maastike aineriinge ja selle muutused väljendavad komplekselt nii inimtegevuse kui ka kliimamuutuse protsesse ja nende tagajärgi, mistõttu maastiku uuringud omandavad üha olulisemat tähendust meid ümbritseva looduskeskkonna tundmaõppimisel ja jätkusuutlikul arendamisel (Mander, 2008a; Li, Mander, 2009; Mander, Uemaa, 2010).

Järjest suuremat tähelepanu pööratakse looduskeskkonnas genereeritud ja/või inimtekkeliste-inimmõjutusega ainevoogude olemuse ja dünaamika selgitamisele, mille juures on esmases fookuses inimtekkelise keemilise koormuse osakaalu ja selle võimaliku kahjuliku mõju leevendamine. Üha olulisem on seejuures nii looduslike süsteemide (ise-)puhastusvõime kasutamine (Pärn jt, 2010, 2012) kui ka energia- ja materjalisäästlike ökotehnoloogiliste lahenduste leidmine (Kaasik jt, 2008; Kõiv jt, 2009, 2010; Liira jt, 2009).

Selliste, laiemas mõistes keskkonnasäästlike ökotehnoloogiliste meetodite eduka rakendamise eeltingimuseks on maastiku struktuuri ja sellega seotud ainevoogude tundmine ning adekvaatne kirjeldamine. Maastiku erinevate komponentide (muldkate, taimkate, maakasutus ja inimtekkelised struktuurid) keerukuse iseloomustamiseks kasutatavate korrelogrammide (Uemaa jt, 2008) ja maastikukomponentide piiride (Pärn jt, 2010; Sun jt, 2011) võrdluse alusel on võimalik iseloomustada maastike koherentsi, mis on perspektiivne indikaator hindamaks maastike aineriinge stabiilsust (Mander jt, 2010b). Maastiku meetrika ja ainete valglatest väljakande tugevat seost on edukalt rakendatud ka Euroopa teiste piirkondade põllumajandus-maastike aineriingluse reguleerimisel (Moreno-Mateos jt, 2008). Seejuures on võimalik eristada geokeemiliste maastikutsoonide kaupa maastikuliste tegurite indikatsioonilist tähendust näiteks kahe olulisima biogeeni, lämmastiku ja fosfori, väljakandel valglatest (Pärn jt, 2012).

Ainevoogude dünaamika loodus- ja põllumajandusmaastikes ei ole paraku püsiv ning kliimamuutuste ja ekstreemsete ilmastikutingimuste kiire vaheldumise tingimustes tuleb arvestada nii biogeenide pulsatiivse väljakandega (Kull jt, 2008) kui ka pikaajaliste kliimamuutuste (globaalne soojenemine) foonil toimuvate pikaajaliste trendidega, nagu näiteks orgaaniliste ainete väljakande suurenemine Eesti jõgede valglatest (Pärn, Mander, 2012).

Üheks oluliseks maastikuliseks teguriks toitainete väljakande reguleerimisel on märgalade olemasolu (Kimmel jt, 2010). Seetõttu on ka märgalade taastamine ja uute rajamine paljudes riikides aineriinge reguleerimise tähtsaks abinõuks (Li jt, 2009; Moreno-Mateos jt, 2010). Lisaks aineriingluse ja energiavoogude reguleerivale funktsioonile täidavad märgalad mitmeid muid ökosüsteemi teenuseid, mida nende taastamisel tuleb arvestada (Kimmel, Mander, 2010; Mander, Mitsch, 2011).

Paraku ei ole märgalad maastike ainevoogude regulatsioonis ainult positiivseks teguriks, sest nad on ka oluliseks metaani (CH₄) allikaks (Salm jt, 2009; Soosaar jt, 2009; Sha jt, 2011) ja nende liigne kuivendamine põhjustab süsinikdioksiidi (CO₂) ja dilämmastikoksiidi ehk naerugaasi (N₂O) atmosfääri lendumist. Mitmed uuringud näitavad, et soode ja teiste märgalade kuivendamine on määravaks teguriks kasvuhoonegaaside emissiooni ja globaalse soojenemise potentsiaali suurenemisel (Salm jt, 2009, 2012). Seetõttu on kasvuhoonegaaside reguleerimise aspektist oluline mahajäetud turbaaladelt pärinevate voogude vähendamine (Salm jt, 2012). Üheks võimaluseks on energia tootmiseks kasutatavate taimede kasvatamine, mille perspektiivi on Don jt (2012) terve Euroopa ulatuses selgelt demonstreerinud. Näiteks aitab päideroo kasvatamine mahajäetud turbasoodes märkimisväärselt kahandada kasvuhoonegaaside emissiooni ning muuta need alad süsiniku allikatest süsiniku sidujateks (Mander jt, 2012).

Samaväärselt märgalade-turbasoodega on kasvuhoonegaaside voogude 'kuumadeks täppideks' maastikul ka veekoguäärsed puhervööndid, mis ühelt poolt toimivad ülemääraste biogeenide (lämmastiku, fosfori) looduslike sidujatena (Mander, 2008b), kuid võivad olla kasvuhoonegaaside allikateks (Soosaar jt, 2011). Üheks problemaatilisemaks koosluseks veekogude kallastel on peetud leplikuid, seda just tänu leppade juurtel olevate sümbiontsete bakterite õhulämmastikku siduvale toimele. Seetõttu on leplikutes ühe mõjusaima kasvuhoonegaasi N₂O osakaal üldiselt madal ja tänu optimaalsetele denitrifikatsiooni tingimustele kulgeb protsess lõpuni, päädides atmosfäärile ohutu molekulaarse lämmastiku (N₂) lendumisega (Mander jt, 2008b; Soosaar jt, 2011). Sama seaduspära on täheldatud ka mahajäetud põllumaale rajatud hall-lepikus (Uri jt, 2011).

Dilämmastikoksiid, mille kasvuhooneefekt ületab ekvivalentselt 298 korda süsinikdioksiidi oma, on kindlasti üks probleemsemaid kasvuhoonegaase, sest selle emissiooni loodus- ja tehismaastikest on keeruline adekvaatselt hinnata. Nii näitavad detailsed hinnangud metaani ja dilämmastikoksiidi voogudele Eesti maastike kohta, et Eesti poolt Euroopa Liidule esitatavates aruannetes on metaanivood suhteliselt hästi hinnatud, kuid N₂O emissiooni on näidatud potentsiaalsest umbes viis korda madalamana (Mander jt, 2010a). See rõhutab, et N₂O kui olulise kasvuhoonegaasi voogude uurimist on vajalik tõhustada.

Kasvuhoonegaaside emissiooni 'kuumadeks täppideks' võivad olla ka tehismärgalad, mis on rajatud kas põllumajanduslikust valglast (Sha jt, 2011) või punktallikatest pärineva reovee (Mander jt, 2008a, 2011) puhastamiseks. Seega ei ole nende rajamisel ja töörežiimi kavandamisel piisav vaid nende primaarse funktsiooni – loodusesse juhitud veest biogeenide eemaldamise – tagamine, vaid äärmiselt vajalik on saavutada ka võimalikult madal kasvuhoonegaaside emissiooni tase, või isegi täiendav kasvu-

hoonegaaside sidumise efekt. Nii on taimestatud horisontaalvoolulised pinnasfiltrid lisaks edukale veepuhastamisele ka märkimisväärseks süsiniku sidujaks, kusjuures peamiseks lämmastikugaasiks on N_2 ning ohtliku N_2O emissioon pinnasfiltritest on madal (Mander jt, 2008a).

Sellistes pinnasfiltrites saab kasvuhoonegaaside sidumist tõhustada sobiva töörežiimi valikuga ning näiteks pulseeriva voolurežiimiga saab edukalt kontrollida ja vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni (Mander jt, 2011). Samas tuleb arvestada, et töörežiimi varieerimine ei ole lihtne ning üheselt edukas võte kasvuhoonegaaside emissiooni reguleerimiseks, sest kui CH_4 emissioon muutuva veetasemega horisontaalvoolulistes ning pulseeriva režiimiga vertikaalvoolulistes pinnasfiltrites kahaneb, siis N_2O emissioon võib neis tingimustes märgatavalt tõusta. Arvestades naerugaasi potentsiaalselt suuremat ohtlikkust, võib tehismärgala töörežiimi ebaõige reguleerimisega saavutatud tulemus olla halvem staatilisest voolu- ja veetaseme režiimist.

Tehismärgalade primaarseks funktsiooniks on siiski inimtekkeliste biogeenide voo reguleerimine tasemele, mis leevendaks või hoiaks ära veekogude eutrofeerumist ja et säiliks looduslike süsteemide ökoloogiline tasakaal (Mander, 2008c). Fosfor ja lämmastik on tähtsaimad biogeokeemilise tsükli toitained, kuid juba veidi kõrgemad fosfori ja lämmastiku kontsentratsioonid võivad vallandada veekogude eutrofeerumise (Mander, Shirmohammadi, 2008). Enam kui 40 aasta vältel on veekogudesse sattunud liigne fosfor koos lämmastikuga tunnistatud üheks peamiseks eutrofeerumist põhjustavaks toitaieks. Paraku on vältimatu nende oluliste toitainete intensiivne kasutus põllumajanduslike väetistena ning lisaks väetistele on fosforiühendid laialdaselt kasutuses nii tööstuses kui ka olmevaldkonnas mitmesuguste detergentidena. Seetõttu on nii põllumajandusmaastike äravool kui ka olme/tööstuse heitveed alati rikastatud nii nitraatide kui ka fosfaatide poolt. Seega on otsene ja tungiv vajadus inimtegevusega seotud heitvete töötlemiseks/puhastamiseks liigsest lämmastikust ja fosforist sellisel määral, et säiliks looduslike süsteemide ökoloogiline tasakaal (Li, Mander, 2009). Eesti kontekstis on jätkuvalt teravaks veekaitse põhi-probleemiks kõrge biogeenide üldtase Soome lahe vesikonna jõgedes ja Väinamere piirkonna madalates merelahtedes (nt Matsalu laht, Haapsalu laht). Euroopa Liidu Vee raamdirektiivis [2000/60/EEC] hinnatakse veekogude ökoloogiline seisund kolme kategooriasse: kõrge, hea ja halb/eba-piisav. Direktiivi eesmärk on saavutada seisund 'hea' kõigis veekogudes 2015. aastaks, milleni jõudmiseks ei piisa reovee puhastamisest ainult (suur-)asulates, vaid on vaja rakendada täiendavaid meetmeid väikesemõõduliste tööstuste, väikeasulate, võib-olla isegi üksikmajapidamiste/väikefarmide heitvee töötlemiseks/puhastamiseks.

Biogeenide eemaldamine heitveest asulates või tööstuspiirkondades toimub tavapäraselt piisavalt hea puhastusefektiivsuse ning mõistliku majandusliku tasuvusega konventsionaalsetes reoveepuhastites, kus fosfori eemaldamine tagatakse tavaliselt Al- ja/või Fe-koagulantidega. Paraku ei ole need tehnoloogilised skeemid tehnilistel ja majanduslikel põhjustel mõistlikud väikesüsteemide jaoks, nagu üksikmajapidamised, hajaasulad või (väike-) farmid, kus on otstarbekam kasutada tehismärgalade tüüpi puhastussüsteeme (Mander, Mitsch, 2009).

Olemuslikult on tehismärgalad looduslike märgalade mudelid, mida sarnaselt looduslikele ökosüsteemidele, nagu rabad, jõgede luhad-niidud, järvede või madalvere deltasüsteemid, iseloomustab liigniisketele ja pikaajaliselt üleujutatud kasvupaikadele iseloomulik taimestik. Märgalade, ja seega ka tehismärgalade, puhastusvõime tuleneb nende erakordselt kõrgest bio-produktiivsusest, mis tarbib-salvestab biomassi kasvatamisel liigseid toitaineid või muundab neid mikrobiaalsete protsesside toel keskkonnale kahjututeks ühenditeks. Oluliseks tehismärgalade eeliseks on nende konstruktsiooniline ja ehituslik lihtsus ning enam-jaolt puudub või on äärmisel juhul minimaalne vajadus rakendada lisaenergiat nende töös hoidmiseks.

Tehismärgalade kasutamine heitvee puhastuseks on viimastel kümnenditel kiiresti laienenud tänu nende töökindlusele, suhteliselt odavale ehitusmaksumusele ja lihtsale kasutamisele ning hooldusele (Li jt, 2009; Põldvere jt, 2009, 2010). Tehismärgala mõistet on siinjuures võimalik laiendada ka rohekatustele, millel võib olla märkimisväärne roll veekvaliteedi ning energiavoogude reguleerimisel. Teemusk, Mander, (2009, 2010, 2011) demonstreerivad ning ka Maddison jt (2009abc) on tõestanud, et lisaks heitveepuhastuse funktsioonile võivad tehismärgalad omada tähtsust ka fütomassi tootmise aspektist. Vähetähtis pole ka asjaolu, et tehismärgala taimede erinevad osad on efektiivselt kasutatavad ökoehituses mitmesuguste täitematerjalidena, suurendades näiteks savikrohvide elastsust ja veevahetusvõimet (Maddison jt, 2009a).

Tehismärgalad on osutunud tõhusaks keskkonnaks nitrifikatsioonile ja töötavad hästi üldlämmastiku eemaldamisel (Nurk jt, 2009; Põldvere jt, 2009; Zaytsev jt, 2011). Seejuures on efektiivse puhastuse tagamiseks teguriks reovee tagasipumpamine (retsirkulatsioon) 300% ulatuses (Põldvere jt, 2009, 2010), annuspuhasti režiimi kasutamine (Karabelnik jt, 2008) ning bioaugmentatsioon (Nurk jt, 2009; Zaytsev jt, 2011).

Erinevalt lämmastiku sidumisest ei ole fosfori ärastamisvõime märgalapuhastites siiani olnud piisav (Mayes jt, 2009). Imselt ei ole (tehis-)märgala (taimestik) võimeline efektiivselt kontrollima nii olmereovee kui põllumajanduslike maastike äravoolude kõrgeid lahustunud fosfori sisaldusi. Selleks tuleb kasutada täiendavaid meetmeid, näiteks sobilikke filtermaterjale tehismärgala substraadina.

Viimaste aastate tehismärgalade (filtermaterjalide) uuringud kogu maailmas on esile tõstnud nn aktiiv-filtratsiooni tehnoloogia edukuse fosfori eemaldamisel heitveest (Liira jt, 2009a). Aktiiv-filtratsiooni käigus toimub lahustunud fosfaatide sidumine/sadestamine madala lahustuvusega mineraalsetesse vormidesse ning seda peetakse praegusel hetkel üheks lootustandvamaks fosfori eemaldamise meetodiks väikesemõõdulistes reoveepuhastites ning ka biogeenide kontrollimiseks põllumajandusmaastike äravooludes. Seejuures saab sellise filtri sidumisvõime ammendumisel tekkinud toitainetest küllastunud filtermaterjali kasutada hiljem põllu- ja metsamajanduses fosforväetise kandjana ja mullaomaduste parandajana (Kõiv jt, 2012).

Uudsete filtermaterjalide erinevaskaalalised uuringud labori- ja välitingimustes (Kaasik jt, 2008; Liira jt, 2009a; Kõiv jt, 2010; Kasak jt, 2011) on näidanud, et Ca-rikas hüdratiseeritud põlevkivituhk (Mõtsep jt, 2010; Liira, 2009b; Uibu jt, 2011) on kõrge efektiivsusega potentsiaalne filtermaterjal P eemaldamiseks tehismärgalasüsteemides. Seda tuhka saab edukalt kombineerida turbafiltersüsteemidega, mis järelvoolulise süsteemina tuhafiltrite tagavad täiendava lämmastikuärastuse ning toimivad puhvrina tuhafiltrite leeliselise veega äravoolu neutraliseerimisel (Kõiv jt, 2009ab). Eksperimendid näitavad, et fosfori eemaldamise efektiivsus lendtuha ja hüdratiseeritud tuhasette katsetes küünib kuni 99,9%ni, kusjuures materjali maksimaalne sidumisvõime ulatub kuni 65 mg P g^{-1} (Kaasik jt, 2008). Fosfor seotakse selles Ca-rikas heitmaterjalis läbi sadenemise tahkesse faasi (Kõiv jt, 2010). Põlevkivituha kui odava ja kergesti kättesaadava filtermaterjali märkimisväärselt kõrget P-sidumisvõimet põhjustavad ja mõjutavad ilmselt selle materjali koostis ja füüsikalised-keemilised omadused: Ca-faaside lahustuvuse tasakaalust tingitud poorivee kõrge pH, erineva lahustuvusega mineraalsed Ca- ja Al-ühendid, poorsusomadused jt (Liira jt, 2009b). Viimased välikatsed hallvee puhastamisel tuhafiltersüsteemis näitavad, et erinevalt teistest looduslikest ja tööstuslikest filtermaterjalidest ei pärsi tuhafiltri fosfori sidumisvõimet ka biokile moodustumine osakeste pinnale (Kasak jt, 2011).

Aktiivfiltratsioon põlevkivituhasette tüüpi Ca-rikastel materjalidel on ilmselt praegu kogu maailma tehismärgalasüsteemides kasutatavatest tehnoloogiatest parima efektiivsusega, kus P eemaldamisvõime $> 90\%$ tagatakse varieeruvatel fosfori koormustel kuni $8\text{--}15 \text{ mg P L}^{-1}$ (Kõiv jt, 2010; Vohla jt, 2011). Teisalt on sellised aktiivfiltersüsteemid, sõltumata kasutatavast materjalist, kergesti üledimensioneeritavad, mille tulemusena kaotatakse kiiresti tuhafiltermaterjali sidumisvõime tänu filtermaterjali pindade nn keemilisele ummistumisele läbi sekundaarse Ca-karbonaatide sadestumise (Liira jt, 2009). Samuti peab arvestama, et hüdratiseeritud põlevkivituha filtrite sarnaste aktiivfiltratsiooni materjalide sidumisvõime sõltub oluliselt

P kontsentratsioonist lahuses ning madalate P kontsentratsioonide korral ($< 20 \mu\text{mol L}^{-1}$) on sidumisvõime oluliselt madalam, kuna fosfor sadestatakse koos kaltsiidiga läbi P ionide sidumisega kaltsiidi kristallipindadele (Kõiv jt, 2010). Seevastu P kontsentratsioonidel üle $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ toimub Ca-fosfaadi homogeenne nukleatsioon tänu märkimisväärsele üleküllastumisele rasklahustuva hüdroksüülapatiidi faasi suhtes ning fosfori sidumine on äärmiselt kõrge efektiivsusega. Selline nähtus võiks olla oluliseks piiravaks teguriks aktiivfiltratsiooni tehnoloogia kasutamisel, juhul kui nõutakse reovee puhastamist tasemele $< 0,5 \text{ mg P L}^{-1}$, mis on kehtestatud piirnormiks paljude riikide ökoloogiliselt tundlikes piirkondades.

Fosfori eraldamiseks heitveest sobilike filtermaterjalide uuringute olulisust rõhutab ka võimalus tuhasettesse seotud fosfaadi taaskasutuseks toitainete allikana põllu- ja metsakultuuride kasvatamisel (Kõiv jt, 2012), mis on eriti teravnenud uurimisküsimus seoses fosfori maapõuevarude ammendumisega globaalses maastaabis.

KOKKUVÕTTEKS

Maastike looduslike ja inimõjuliste aineringete mõistmine sügavuti ja põhjuslikult on eeltingimuseks ratsionaalsete ja tõhusate keskkonnsäästlike tegevuste kujundamiseks, sõltumata sellest, kas see puudutab biogeenide väljakannet valglatest ja olmereostuse allikatest ning nende protsesside ökotehnoloogilise reguleerimise võimalusi või kasvuhoonegaaside emissiooni maastikul ja selle kontrollimist.

KIRJANDUS

Don, A., Osborne, B., Hastings, A., Skiba, U., Carter, M. S., Drewer, J., Flessa, H., Freibauer, A., Hyvönen, N., Jones, M. B., Mander, Ü., Monti, A., Djomo, S. N., Valentine, J., Walter, K., Zegada-Lizarazu, W., Zenone, T. (2011). Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and oil carbon. *GCB Bioenergy*, 4, 2, 1-20.

Kaasik, A., Vohla, C., Mõtsep, R., Mander, Ü., Kirsimäe, K. (2008). Hydrated calcareous oil-shale ash as potential filter media for phosphorus removal in constructed wetlands. *Water Research*, 42, 1315-1323.

Karabelnik, K., Noorvee, A., Pöldvere, E., Mander, Ü. (2008). Batch-operation as a method to enhance oxygen supply in a constructed wetland. Mander, Ü., Martin-Duque, J. F., Brebbia, C. A. (eds.) *Geo-Environment and Landscape Evolution III*. WIT Press, 131-142. (WIT Transactions on the Built Environment; 100).

Kasak, K., Karabelnik, K., Kõiv, M., Jenssen, P. D., Mander, Ü. (2011). Phosphorus removal from greywater in an experimental hybrid compact filter system. Brebbia, C. A., Popov, V. (eds.) *Water Resources Mana-*

gement VI. WIT Press, 649-657. (WIT Transactions on Ecology and the Environment; 145).

Kimmel, K., Mander, Ü. (2010). Ecosystem services of peatlands: Implications for restoration. *Progr. Phys. Geogr.*, 34, 4, 491-514.

Kimmel, K., Kull, A., Salm, J.-O., Mander, Ü. (2010). The status, conservation and sustainable use of Estonian wetlands. *Wetlands Ecol. Manage.*, 18, 4, 375-395.

Kull, A., Kull, A., Jaagus, J., Kuusemets, V., Mander, Ü. (2008). The effects of fluctuating climatic conditions and weather events on nutrient dynamics in a narrow mosaic riparian peatland. *Boreal Env. Res.*, 13, 243-263.

Kõiv, M., Kriipsalu, M., Vohla, C., Mander, Ü. (2009a). Hydrated oil shale ash and mineralized peat as alternative filter materials for landfill leachate treatment in vertical flow constructed wetlands. *Fresenius Env. Bull.*, 18, 2, 189-195.

Kõiv M., Vohla C., Mõtlep R., Liira M., Mander, Ü., Kirsimäe, K. (2009b). The performance of peat-filled subsurface flow filters treating landfill leachate and municipal wastewater. *Ecol. Eng.*, 35, 2, 204-212.

Kõiv, M., Liira, M., Mander, Ü., Mõtlep, R., Vohla, C., Kirsimäe, K. (2010). Phosphorus removal using Ca-rich hydrated oil shale ash as filter material – the effect of different phosphorus loadings and wastewater compositions. *Water Research*, 44, 18, 5232-5239.

Kõiv, M., Ostonen, I., Vohla, C., Mõtlep, R., Liira, M., Lõhmus, K., Kirsimäe, K., Mander, Ü. (2012). Reuse potential of phosphorus-rich filter materials from subsurface flow wastewater treatment filters for forest soil amendment. *Hydrobiologia*, doi: 10.1007/s10750-011-0944-5

Li, X., Mander, Ü. (2009). Future options in landscape ecology: development and research. *Progr. Phys. Geogr.*, 33, 1, 31-48.

Li, X., Mander, Ü., Ma, Z., Jia, Y. (2009). Water quality problems and potential for wetlands as treatment systems in the Yangtze River delta, China. *Wetlands*, 29, 4, 1125-1132.

Liira, M., Kirsimäe, K., Kuusik, R., Mõtlep, R. (2009a). Hydration of circulating fluidized-bed combustion boiler oil-shale ashes. *Fuel*, 88, 4, 712-718.

Liira, M., Kõiv, M., Mander, Ü., Mõtlep, R., Vohla, C., Kirsimäe, K. (2009b). Active filtration of phosphorus on Ca-rich hydrated oil-shale ash: does longer retention time improve the process? *Environ. Sci. Technol.*, 43, 10, 3809-3814.

- Maddison, M., Muring, T., Kirsimäe, K., Mander, Ü. (2009a). The humidity buffer capacity of clay-sand plaster filled with phytomass from treatment wetlands. *Build. Environ.*, 44, 9, 1864-1868.
- Maddison, M., Muring, T., Remm, K., Lesta, M., Mander, Ü. (2009b). Dynamics of *Typha latifolia* L. populations in treatment wetlands in Estonia. *Ecol. Eng.*, 35, 2, 258-264.
- Maddison, M., Soosaar, K., Muring, T., Mander, Ü. (2009c). The biomass and nutrient and heavy metal content of cattails and reeds in wastewater treatment wetlands for the production of construction material in Estonia. *Desalination*, 246, 1-3, 120-126.
- Mander, Ü. (2008a). Landscape planning. Jørgensen, S.-E., Fath, B. D. (eds.) *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier B.V., Amsterdam, 2116-2126.
- Mander, Ü. (2008b). Riparian zone management and restoration. Jørgensen, S.-E., Fath, B. D. (eds.) *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier B.V., Amsterdam, 3044-3061.
- Mander, Ü. (2008c). Watershed management. Jørgensen, S.-E., Fath, B. D. (eds.) *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier B.V., Amsterdam, 3737-3748.
- Mander, Ü., Järveoja, J., Maddison, M., Soosaar, K., Aavola, R., Salm, J.-O. (2012). Impact of the energy grass *Phalaris arundinacea* on fluxes of greenhouse gases in peat extraction areas. *GCBiology Bioenergy*. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01138.x
- Mander, Ü., Lõhmus, K., Teiter, S., Muring, T., Nurk, K., Augustin, J. (2008a). Gaseous fluxes in the nitrogen and carbon budgets of subsurface flow constructed wetlands. *Sci. Total Environ.*, 404, 343-353.
- Mander, Ü., Lõhmus, K., Teiter, S., Uri, V., Augustin, J. (2008b). Gaseous nitrogen and carbon fluxes in riparian alder stands. *Boreal Env. Res.*, 13, 231-241.
- Mander, Ü., Maddison, M., Soosaar, K., Karabelnik, K. (2012). The impact of intermittent hydrology and fluctuating water table on greenhouse gas emissions from subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment. *Wetlands*, 31, 6, 1023-1032.
- Mander, Ü., Mitsch, W. J. (eds.) (2009). *Pollution Control by Wetlands*. *Ecol. Eng.*, 35, 2, Special Issue, 153-340.
- Mander, Ü., Mitsch, W. J. (eds.) (2011). *Biogeochemical Aspects of Ecosystem Restoration and Rehabilitation*. *Ecol. Eng.* 37, 7, Special Issue, 1003-1089.
- Mander, Ü., Shirmohammadi, A. (eds.) (2008). *Transport and Retention of Pollutants from Different Production Systems*. *Boreal Env. Res.*, 13, 3, Special Issue, 177-284.

- Mander, Ü., Uuemaa, E. (eds.) (2010). Landscape Assessment for Sustainable Planning. *Ecol. Indic.*, 10, 1, Special Issue, 1-99.
- Mander, Ü., Uuemaa, E., Kull, A., Kanal, A., Maddison, M., Soosaar, K., Salm, J.-O., Lesta, M., Hansen, R., Kuller, R., Harding, A., Augustin, J. (2010a). Assessment of methane and nitrous oxide fluxes in rural landscapes. *Landsc. Urban Plann.*, 98, 3-4, 172-181.
- Mander, Ü., Uuemaa, E., Roosaare, J., Aunap, R., Antrop, M. (2010b). Coherence and fragmentation of landscape patterns as characterized by correlograms: a case study of Estonia. *Landsc. Urban Plann.*, 94, 1, 31-37.
- Mayes, W. M., Batty, L. C., Younger, P. L., Jarvis, A. P., Kõiv, M., Vohla, C., Mander, Ü. (2009). Wetland treatment at extremes of pH: A review. *Sci. Total Environ.*, 407, 13, 3944-3957.
- Moreno-Mateos, D., Mander, Ü., Pedrocchi, C. (2010). Optimal location of created and restored wetlands in Mediterranean agricultural catchments. *Water Res. Manage.*, 24, 11, 2485-2499.
- Moreno-Mateos, D., Mander, Ü., Comin, F., Pedrocchi, C., Uuemaa, E. (2008). Relationship between landscape pattern, wetland characteristics, and water quality in agricultural catchments. *J. Environ. Qual.*, 37, 2170-2180.
- Mõtsep, R., Sild, T., Puura, E., Kirsimäe, K. (2010). Composition, diagenetic transformation and alkalinity potential of oil shale ash sediments. *J. Hazard. Mater.*, 184, 1-3, 567-573.
- Nurk, K., Zaytsev, I., Talpsep, I., Truu, J., Mander, Ü. (2009). Bioaugmentation in a newly established LECA-based horizontal flow soil filter reduces the adaptation period and enhances denitrification. *Biores. Technol.*, 100, 24, 6284-6289.
- Põldvere, E., Karabelnik, K., Noorvee, A., Maddison, M., Nurk, K., Zaytsev, I., Mander, Ü. (2009). Improving wastewater effluent filtration by changing flow regimes – Investigations in two cold climate pilot scale systems. *Ecol. Eng.*, 35, 2, 193-203.
- Põldvere, E., Noorvee, A., Karabelnik, K., Maddison, M., Nurk, K., Zaytsev, I., Mander, Ü. (2010). The performance of pilot scale LWA-based hybrid soil filters in Estonia. *Desalination*, 250, 1, 361-367.
- Pärn, J., Mander, Ü. (2012). Increased organic carbon concentrations in Estonian rivers in the period 1992-2007 as affected by deepening droughts. *Biogeochemistry*, 108, 1-3, 351-358.
- Pärn, J., Pinay, G., Mander, Ü. (2012). Indicators of nutrients transport from agricultural catchments under temperate climate: A review. *Ecol. Indic.*, doi: 10.1016/j.ecolind.2011.10.002

- Pärn, J., Remm, K., Mander, Ü. (2010). Correspondence of vegetation boundaries to redox barriers in a Northern European moraine plain. *Basic Appl. Ecol.*, 11, 1, 54-64.
- Salm, J.-O., Kimmel, K., Uri, V., Mander, Ü. (2009). Global warming potential of drained and undrained peatlands in Estonia: a synthesis. *Wetlands*, 29, 4, 1081-1092.
- Salm, J.-O., Maddison, M., Tammik, S., Soosaar, K., Truu, J., Mander, Ü. (2011). Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. *Hydrobiologia*, doi: 10.1007/s10750-011-0934-7.
- Sha, C. Y., Mitsch, W. J., Mander, Ü., Lu, J. J., Batson, J., Zhang, L., He, W. S. (2011). Methane emissions from freshwater riverine wetlands. *Ecol. Eng.*, 37, 1, 16-24.
- Soosaar, K., Maddison, M., Mander, Ü. (2009). Water quality and emission rates of greenhouse gases in a treatment wetland. Brebbia, C. A., Popov, V. (eds.) *Water Resources Management III*. WIT Press, 105-125. (WIT Transactions on Ecology and the Environment; 125).
- Soosaar, K., Mander, Ü., Maddison, M., Kanal, A., Kull, A., Lõhmus, K., Truu, J., Augustin, J. (2011). Dynamics of gaseous nitrogen and carbon fluxes in riparian alder forests. *Ecol. Eng.*, 37, 1, 40-53.
- Sun, Y. G., Li, X. Z., Mander, Ü., He, Y. L., Jia, Y., Ma, Z. G., Guo, W. Y., Xin, Z. J. (2011). Effect of reclamation time and land use on soil properties in Changjiang River Estuary, China. *Chinese Geogr. Sci.*, 21, 4, 403-416.
- Zaytsev, I., Mander, Ü., Lõhmus, K., Nurk, K. (2011). Enhanced denitrification in a bioaugmented horizontal subsurface flow filter. *Ecol. Eng.*, 37, 7, 1050-1057.
- Teemusk, A., Mander, Ü. (2009). Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. *Build. Environ.*, 44, 3, 643-650.
- Teemusk, A., Mander, Ü. (2010). Temperature regime of planted roofs compared with conventional roofing systems. *Ecol. Eng.*, 36, 1, 91-95.
- Teemusk, A., Mander, Ü. (2011). The influence of green roofs on runoff water quality: A case study from Estonia. *Water Res. Manage.*, 25, 14, 3699-3713.
- Uibu, M., Kuusik, R., Andreas, L., Kirsimäe, K. (2011). The CO₂-binding by Ca-Mg-silicates in direct aqueous carbonation of oil shale ash and steel slag. *Energy Procedia*, 4, 925-932.
- Uri, V., Lõhmus, K., Mander, Ü., Ostonen, I., Aosaar, J., Maddison, M., Helmissaari, H.-S., Augustin J. (2011). Long-term effects on the nitrogen

budget of a short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) forest in abandoned agricultural land. *Ecol. Eng.*, 37, 6, 920-930.

Uemaa, E., Roosaare, J., Kanal, A., Mander, Ü. (2008). Spatial correlograms of soil cover as an indicator of landscape heterogeneity. *Ecol. Indic.*, 8, 783-794.

Vohla, C., Kõiv, M., Bavor, H. J., Chazarenc, F., Mander, Ü. (2011). Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands – a review. *Ecol. Eng.*, 37, 1, 70-89.

*Teaduspreemia põllumajandusteaduste valdkonna uurimistöde tsükli
“Elurikkuse ja selle funktsioonide seosed ruumiprotsessidega
kaasaegses põllumajandusmaastikus” eest*



Jaan Liira

Sündinud 11.10.1972 Pärnus

1990 Pärnu Hansagümnaasium

1994 Tartu Ülikool, bioloogia

1996 MSc, taimeökoloogia, Tartu Ülikool

1999 MSc, biostatistika, Limburgi Ülikool (Belgia)

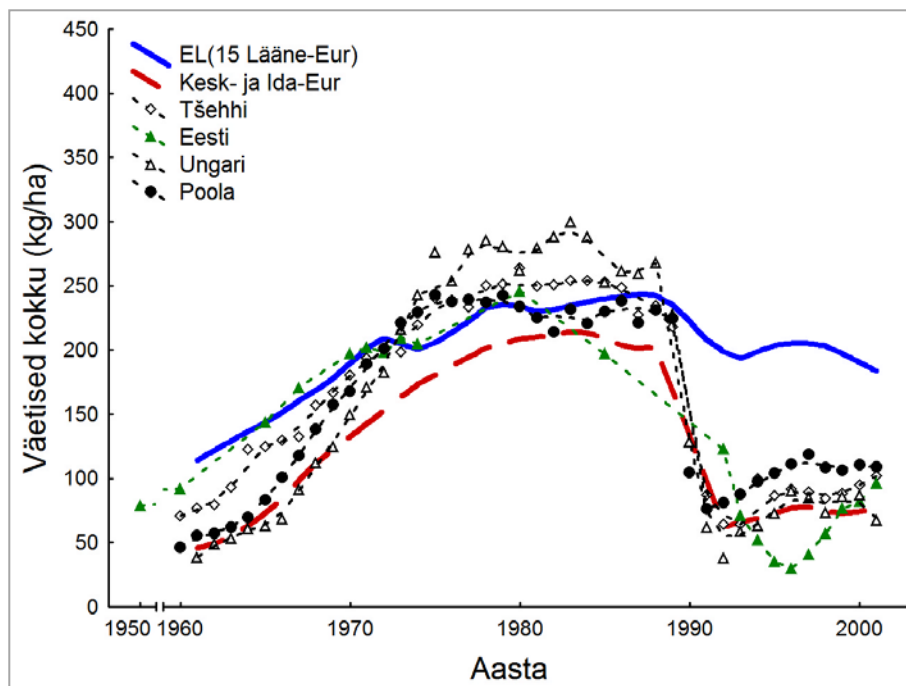
2000 PhD, Tartu Ülikool, taimeökoloogia ja ökofüsioloogia

1996–2001 Tartu Ülikooli botaanika ja ökoloogia instituudi laborant, vanemlaborant, teadur, alates 2002 ökoloogia ja maateaduste instituudi taimeökoloogia õppetooli vanemteadur

Avaldanud 70 teaduspublikatsiooni

REGIONAALNE TAUSTA-VARIATSIOON

Ajaloo oli inimene süsteemi vähetähtis osa, kuid aegade jooksul on ta muutunud ökosüsteeme kontrollivaks ja määravaks teguriks. Aastatuhandeid tagasi tekkinud põllunduslik maakasutus muutis maastikud avatuteks, luues samas uusi kooslusi ja ökosüsteeme. Paljud looduslikud süsteemid on asendunud inimõjutatud või inimekkeliste ökosüsteemidega. Põllumajanduslikud maastikud on Euroopa Liidu domineerivaimaks maakattetüübiks, haarates üle 45% Euroopa Liidu pindalast. Viimase sajandiga on toimunud põllumajandusliku tootmise kvalitatiivne hüpe, mis algas kunstväetiste kasutuselevõtu ja tootmise mehhaniseerimisega ning viis tootmise kasuteguri tõusule. Intensiivistumise tempo oli võrreldav Euroopa eri osades (joonis 1) kuni Ida-bloki majanduslanguseni 1990ndate alguses. Ühelt poolt põllumajandusliku maakasutuse intensiivistumine ja tootmise spetsialiseerumine, teiselt poolt ebasoodsate piirkondade sööti jätmine on põhjustanud arvukate liikide lokaalse või lausa regionaalse väljasuremise ning ökosüsteemide funktsioonide mitmekesisuse vaesumise (Sala jt, 2000; Stoate jt, 2009). Selle tulemusena on inimese fakultatiivne kontroll osa ökosüsteemide üle muutunud obligatoorseks, nõudes kas spetsiifilist mahehooldust või agressiivset kaitset. Esimeste hulka kuuluvad poollooduslikud ökosüsteemid ja teiste sekka tootvad põllumaad.



Joonis 1.

Väetiste kasutamise statistika poliitiliste piirkondade kaupa Euroopas ja valitud riikide kohta, põhinedes erinevatele andmetele. Joonisel on hästi näha ajalooline sarnasus erinevate piirkondade vahel kuni 1990ndateni, kui toimus Kesk- ja Ida-Euroopa riikides põllumajanduse kollaps. Samas on oluline ka maakasutuse intensiivsuse vähenemine Lääne-Euroopa riikides, arvatavasti keskkonnasõbralikuma tootmispõhimõtete leviku tõttu.

Aastaid tagasi alustatud Euroopa Liidu (EL) ühise põllumajanduspoliitika reform oleks pidanud vähendama põllumajanduse negatiivset mõju bioloogilisele mitmekesisusele ja vältima looduse jätkuvat degradeerumist (Kleijn jt, 2009). Selle poliitika osadeks on ka tootmise klassifitseerimine mahetootmiseks, keskkonna talumisläve lähedaseks majandamiseks (põllumajanduslik-keskkonna skeemid) ning intensiivtootmiseks. Kuid olukorra märgatavat paranemist ei ole toimunud, sest erinevus keskkonnasõbraliku majandamise ja aastakümnetega traditsiooniks muutunud intensiivtootmise vahel on ökoloogilises mõistes väike. Reaalsuses on Euroopa põllumajandusteadus jätkuvalt keskendunud traditsioonilistele probleemidele põllukultuuri produktiivsuse tõstmisel, ja keskkonnasõbralik majandamine tegeleb vaid üksikute valitud probleemsete maakasutusfaktoritega. Viimane ei arvesta, et seosed loodusliku mitmekesisuse ja põllumajandusliku maakasutuse vahel on väga kompleksed (Gaston jt, 2003; Kleijn, Sutherland, 2003; Liira jt, 2010b).

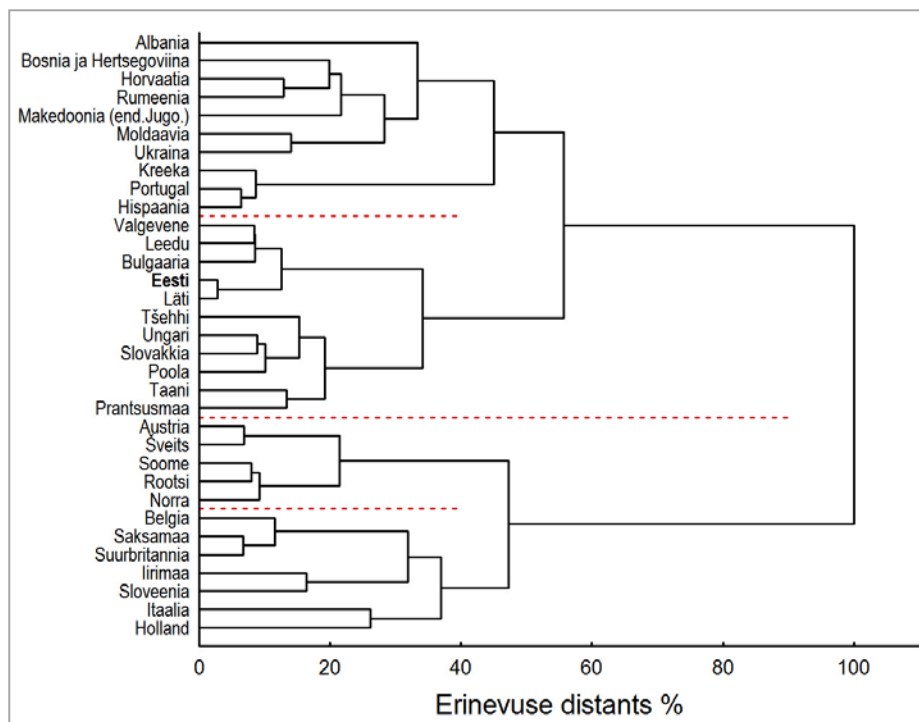
Geograafiliselt laiaulatuslike projektide tulemused on näidanud, et agraar-ökosüsteemide elurikkus on väga erinev suhteliselt ühetaolisena näivas parasvöötme Euroopas, seda nii riikide vahel kui ka riikide sees (Billeter jt, 2008; Flohre jt, 2008; Liira jt, 2010b). Varieerumise põhjusteks on nii regionaalne kliima ja edaafilised tingimused kui ka regionaalse maakasutuse traditsioon ja ajalugu (Dormann jt, 2008; Liira jt, 2008; Schmidt jt, 2009; Paal jt, 2011). Põllumajandusmaastike ja elurikkuse seoste uurimisel ning poliitiliste põhimõtete kujundamisel ei tohiks piirduda ühe piirkonna või riigi kogemusega, sest maakasutuse meetodikad on erinenud ja erinevad jätkuvalt regioniti. Seda isegi Euroopa parasvöötme piires, kas või Ida- ja Lääne-Euroopa vahel, kus isegi kahe suure bloki sees on maakasutuse traditsioonides suured erinevused (Herzog jt, 2006; Liira jt, 2008a). Näiteks Ida-bloki riikides kujunes pärast Teist maailmasõda maakasutuse pindalaline planeering erinevalt – ühelt poolt suurte põllumassiividega riigid, nagu Nõukogude Liit, Tšehhoslovakkia või Ida-Saksamaa, teiselt poolt riigid, kus talupoegade suure osatähtsuse tõttu säilitati väikesed 5–6 hektari suurused talumaaüksused, nagu Poolas ja Jugoslaavias. Vaatamata erakasutusega maatükkide väikesepindalalisele osakaalule oli suurepindalalise põllupoliitikaga riikides väiketootjatel põllumajandussaaduste tootmises tähtis roll kanda. Näiteks Balti vabariikides oli erakasutuses maaomandiks lubatud 0,3–0,4 ha, aga need pisikesed abitootmised andsid ligi veerandi mõne põllumajandussaaduse toodangust (Mäe, 1976).

Klasterdades Euroopa riike erinevate maakasutuse statistikute ja tootlikkuse näitajate järgi, selgus, et Euroopa riigid ei jagune sugugi poliitilise ajaloo põhjal, vaid geograafilis-ajaloolise mustri järgi (Liira jt, 2008). Kõigepealt võib riike jagada kaheks sisemajanduse kogutoodangu (SKT) alusel ja seejärel Ida-grupis geograafilise asukoha, eelkõige laiuskaadi järgi (joonis 2). Näiteks madala tootlikkusega, peamiselt endise Ida-bloki riikidest koosneva grupi sees eristuvad Lõuna- ja Põhja-Euroopa riikide blokid. Samas on Lõuna-grupis ka Vahemere piirkonna n-ö poliitiliselt Lääne-bloki riigid Kreeka, Portugal ja Hispaania ning Põhja-grupis on Prantsusmaa ja Taani. Tõenäoliselt eristuvad viimased kaks ülejäänud Lääne-Euroopa riikidest suure põllumaa osakaalu poolest.

PÕLLUMAJANDUSE MÕJUD

Põllumajanduse mõju looduskeskkonnale on uuritud peamiselt lokaalselt, kuid EL ühine põllumajanduspoliitika toimib üle-euroopaliselt. Põllumajandusega seotud üldistuste tegemiseks peaks arvestama keskkonnatingimuste ja maakasutuse suurt varieeruvust Euroopa piires, mistõttu on nõutavad suureskaalalised uurimused rahvusvaheliste projektivõrgustike raames.

Viimaste aastakümnete jooksul on olnud mitmeid projekte, mis on kesken-
dunud elurikkusele ja elurikkusega seotud ökosüsteemide funktsioonide (tee-



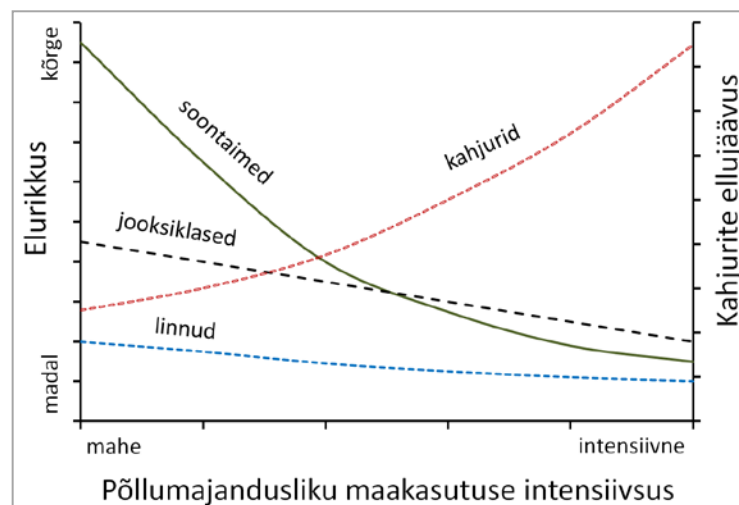
Joonis 2.

Euroopa riikide klasterduspuu, mille arvutamiseks on kasutatud erinevaid riikide majandust ja maastikke iseloomustavaid riiklikke statististikuid (detailid Liira jt, 2008a apendiks).

nuste) tegurite komplekssele uurimisele põllumajandusmaastikes. Neis projektides on samaaegselt keskendunud ökoloogiliste liigirühmade ja erinevate mõjur-faktorite seoste hindamisele maastiku erinevates skaalades, ning seda üle parasvöetmelise Euroopa. Kasutades EL Raamprogrammide ja Teadusfondide toetusprogramme, on käivitatud mitmeid rahvusvahelisi koostööprojekte. Eesti osalusega kompleksuurimustes on jälgitud elurikkust erinevates taksonoomilistes ja ökoloogilistes rühmades, nagu soontaimed, erinevad lüliljalgsed ja linnud.

Esimesena on kombeks keskenduda elurikkusele ja ökosüsteemi teenustele põldude sees. Näiteks on elurikkuse pakutava ökosüsteemse teenuse üheks ilmekamaks näiteks otsene või kaudne kahjurite bioloogiline kontroll – teenus, mille tähtsamateks pakujateks on selgrootud ja linnud (Geiger jt, 2010; Guerrero jt, 2011). Lehetäide hulk ja ellujäävus on suurem intensiivselt majandatud põldudel (joonis 3), kuid see tulem on märkimisväärselt määratud ka röövputukate ligipääsu olemasoluga põldudele, ehk siis ümbruskonna maastikust ja naaberkooslusest (Hendrickx jt, 2009; Thies jt, 2011; Winquist

jt, 2011). Samas on selgunud, et üks bioloogilise kontrolli teenust pakkuv rühm ei asendada teisi analoogse toimega rühmasid, vaid et erinevate kontrollrühmade mõjud on aditiivsed ning parima tulemuse tagab vaid kõikvõimalike osalusrühmade mitmekesisuse (elurikkuse) olemasolu (Schweiger jt, 2005; Thies jt, 2011). See seletab ka viimasel ajal laialdaselt kirjeldatud trende, et taimekaitsevahendite ja väetiste kasutamisel on laiemaid kõrvalmõjusid, seda nii elurikkuse komplekssete vähendajatena kui ka ökosüsteemsete teenuste nõrgendajatena põllul (Geiger jt, 2010; Winqvist jt, 2011).



Joonis 3.

Elurikkuse ja kahjurite elumuse seosed maakasutuse intensiivsusega põllumaadel.

MÕJUD MAASTIKUS JA MAASTIKUST

1990datest alates laienes põllumajandusökoloogia tähelepanu põlluservade elurikkusele ja sellest tulenevale põllumajanduslikule kasule. Peale põldude võib tänapäeva põllumajandusmaastikus leida mitmesuguseid sekundaarseid ehk hiljuti tekkinud põllulähedasi poollooduslike kooslusi, mis omandavad üldise elurikkuse kahanedes üha suuremat tähtsust. Sellisteks võimalikeks poollooduslike koosluste liikide jaoks asendusena toimivateks elu- ja kasvu-kohtadeks on kujunenud eri laadi põlluservad, kraavid, tee- ja metsaservad ning väikesepinnalised biotoobid, nagu kivikuhjad ja põlluvahe-metsaribad (Herzon, Helenius, 2008; Shreeve, Dennis, 2011). Need asenduskooslustega maastikuelemendid moodustavad rohevõrgustikke, mis võiksid toimida ka levikukoridoridena (Forman, 1995; Marshall jt, 2002). Ka Eesti põldude püsiserivate taimestiku kohta avaldatud kompleksed uurimused on näidanud, et mitmes intensiivsemalt majandatud piirkonnas pakuvad just need vähesed kitsad ja avatud ning poolavatud põlluservad ainsat kasvukohta tavalisematele

niiduliikidele (Aavik, Liira, 2008, 2009), mis on hakanud kaduma poollooduslike heina- ja karjamaade pindala drastilise vähenemise tõttu. Samas sõltub servade taimeestik lokaalsest maastiku- ja elupaigastiku mikrostruktuurist ning vaid teatud struktuuriga ja vähemalt 2meetrit laiades põlluservades on võimalik leida veidi rohkem loodusväärtuslikke liike (Aavik jt, 2008a; Aavik, Liira, 2009, 2010). Mujal tehtud uuringutes on leitud, et külvatud või sööti jäetud rohumaaribadesse ilmuvad sagedamini ja suuremates hulkades eelkõige tavalisemad putukaliigid, kuid täpsem liigiline kooslus on siiski sõltuv taimekoosluse koosseisust (Haaland jt, 2011). Põlluserva taimekooslust mõjutab tugevasti see, kuidas majandatakse külgnevat põldu, st peamiselt põllul kasutatav väetiste ja erinevate keemiliste taimekaitsevahendite kogus. Näiteks oleme leidnud Eesti mahedalt majandatud põldude servadest märksa rohkem kasvukohanõudlikke ja põllumajandusliku häirimise suhtes tundlikke liike kui traditsioonilisema kemikaalidel põhineva maakasutusega põlluservadest (Aavik jt, 2008a; Aavik, Liira, 2010).

Servaökoloogia kõrval kujunes suuremaskaalalisem teooria, mis lähtus maastikulise mosaiigi põhimõttest, st et põld on vaid üks mosaiigikilluke suuremast maastikukompleksist, mis on liigendatud erinevate servade ja ökoloogiliste ühenduskoridoridega ning põldude sisse jäänud looduskoosluste saarekestega (Opdam, 1990; Billeter jt, 2008; Hendrickx jt, 2009). Seejuures nende looduskoosluste jäänuksaarte elurikkusele toimivad traditsioonilised saarte biogeograafia protsessid (Cousins, 2006; Jüriado jt, 2006; Liira jt, 2012). Selle tuletiseks on jätkusuutliku maakasutuse ökoloogiline põhimõte funktsionaalselt mitmekesisest maastikus (Fahrig jt, 2011). Põllumajandusliku maakasutuse intensiivsus mõjutab liigirühmi, nende summaarset elurikkust ja ökosüsteemseid protsesse erinevates ruumiskaalades – osa neist lokaalselt põllul, teisi maakasutusüksuse (talu) piires ja mõnesid laiemas regionaalses skaalas. Mõju avaldub ka ökosüsteemi keerukuse erinevates astmetes (nt toitumishaelad). Niisiis tuleb loodussõbraliku maakasutust planeerides arvestada faktoreid erinevates skaalades.

Näiteks taimede puhul mõjuvad maakasutuse ja maastiku struktuuri muutused negatiivselt eelkõige mitmeaastase elutsükliga taimeliikidele, nende seas ka kлонаalselt levivatele ning omapärase ja kitsa kasvukohanõudlusega liikidele (Liira jt, 2008b). Seevastu üheaastase elutsükliga, sagedasi häiringuid hästi taluvad liigid, sealhulgas tavalised umbrohud ja prahipaigataimed, samuti kasvukoha suhtes vähenõudlikud liigid ehk generalistid, tunnevad end killustunud ning intensiivsemalt majandatud maastikes üha kodusemalt (Aavik, Liira, 2009). Tugevalt häiritud maastikes ja põlluservades kasvavad hästi ka paljud võõrliigid, nagu näiteks tõlkjas, lupiin ja kitsehernes.

Viimaste aegade uurimustulemused on korduvalt esile toonud püsielupaikade ja (pool)looduslike elupaikade olemasolu ning nende mitmekesisuse tähtsuse maastikes, elik kõik agroökosüsteemi osapooled sõltuvad koosluste seisundist põllul lokaalselt ja ümbritsevas maastikus laiemalt (Schweiger jt, 2005; Hend-

rickx jt, 2007, 2009; Billeter jt, 2008; Liira jt, 2008b; Aavik, Liira, 2009, 2010; Fahrig jt, 2011). See väide põhineb vaatlusel, et keskkonnasõbraliku või mahepõllumajandusliku maakasutuse eeldatav positiivne toime agraarökosüsteemidele ei ole pelgalt põllul kujundatava majandustegevuse määrata, vaid sõltub olulisel määral ka ümbritsevast maastikust (Geiger jt, 2010; Winqvist, 2011; Guerrero jt, 2012). Lisaks põldude sisse jäänud jäänuklooduse kaitse tõhustamisele peaks maaelu arengupoliitika rõhuma üleminekuliste ja poollooduslike koosluste kaitsele põllumajandusmaastikes, sest kaotatu taastamine on raske ja väga aeganõudev (Aavik jt, 2008b; Ejrnaes jt, 2008; Liira jt, 2009; Paal jt, 2011). Näiteks soontaimede, kui ka liikuvamate selgrootute ja samblike puhul on ilmnenud, et kaasaegse põllumajandusmaastiku elurikkuse püsimist ja seisundi paranemist limiteerivad liikide vähene levimisvõimekus ning vaid keskmise suurusega elupaikade laikude jätkuv olemasolu ja optimaalne paigutus maastikus (Hendrickx jt, 2007, 2009; Schweiger jt, 2007; Schmidt jt, 2009; Jüriado jt, 2011; Leppik jt, 2011; Liira jt, 2012). See rõhutab uuenduslikku ja senini raskelt hoomatavat poliitökonomilist tõsiasja – põllumajanduslike tootmismetoodikate muutmise toetused üksiti ei taga seatud ökoloogiliste süsteemide toime parandamise eesmärke. Vaja on erinevate looduslähedaste koosluste, eriti aga rohumaatüüpi (pool)avakoosluste killustunud fragmentide säilitamine ja laiendamine intensiivse põllumajandusliku maakasutusega piirkondades (Aavik jt, 2008a; Billeter jt, 2008; Liira jt, 2008b; Aavik, Liira, 2009, 2010; Jüriado, Liira, 2010; Jüriado jt, 2012). Poollooduslike koosluste elurikkuse taastamise kuluefektiivsete majandamismeetodite arendamisega alles tegeletakse (Aavik jt, 2008; Liira jt, 2011) ning hetkel veel teoreetilise ökoloogia valdkonda kuuluvad teadmised võivad osutada innovatiivseteks lahendusteks ka intensiivsete põllumajandusmaastike seisundi parandamisel, nagu näiteks põlluservade koosluste parendamisel (Liira jt, 2012).

RAKENDUS

Viimase aja uurimuste tulemused rõhutavad uue regionaalse maaelu arengukava põhimõtete paketi vajadust, ehk ökoloogiliselt optimeeritud maakasutuse planeerimispoliitikat, kus toetusskeemides osalemist ei tohiks käsitleda üksiku tootja või tema valitud põldude tasemel, vaid piirkondliku põldude kompleksi ja regionaalse tootjate grupi põhised (Kleijn jt, 2009). Üha enam on hakatud rõhutama, et maakasutuspoliitika ja -seadustiku arendamisel peab arvestama regionaalseid maakasutuse eripärasid ja looduskeskkonna omapärasid. Selline lähenemine on saanud võimalikuks tänu kaasaegsete meetodikate arenemisele, nagu GIS ja kompleks-andmebaasid. Maastikuökoloogiline planeerimine on hakanud levima valitud riikides Euroopas, kus toetuste suurus on osaliselt seotud naabrite piirkondliku maakasutusliku meelestatusega ja piirkondliku looduskeskkonnaga. Loodetavasti jõuab analoogne käsitlus ka Eesti põllumajandusmaastike poliitika planeerimisse ja toetusskeemidesse. Regionaalseid eripärasid arvestav põllumajanduspoliitika eeldab ühetaoliste

regulatsiooninormide asendumist piirkondlikult paindlike kriteeriumidega. Samal ajal ei tohi unustada ka iga piirkonna ajaloolist tausta, sest kaasaegse põllumajandusmaastiku jäänuk-elurikkuse seisund ja ökoloogiliste teenuste pakkumise võime on kohaliku traditsioonilise maakasutuse ajalooline pärand.

Lisaks ökoloogilisi teenuseid pakkuva süsteemi toimimise mõistmisele ja reguleerimisele on vaja hinnata rakendatavate meetmete tulemuslikkust. Selleks kasutatakse koosluste ja maastike elurikkuse seisundi seiret. Seire ei ole oma olemuselt midagi enam kui ajas korduv koosluse seisundi inventuur, kus kasutatakse keskkonnatingimusi ja elurikkuse seisundit kirjeldavat indikaatorite kompleksi. Kahjuks ei ole olemas universaalseid indikaatoreid ning neid valides tuleb seda kriitiliselt arvestada – indikaatorid peavad iseloomustama seiratava objekti või süsteemi seisundi võimalikult laia omaduste spektrit, olema tundlikud seiratavat süsteemi mõjutavate faktorite suhtes ja samaaegselt olema võimalikult lihtsalt ja kuluefektiivselt jälgitavad. Nii Eestis omapead kui ka koostööpartneritega Euroopast oleme arendanud meetodikaid erinevate majandustoimingute ja meedete seisundi ja toime hindamiseks ning ka kõrvalmõjude evalveerimiseks. Indikaatorite arendustöö üheks aluskiviks on ökoloogilisest teooriast üle võetud põhimõtte, et liikidel on oma funktsioonides ja reaktsioonides palju ühist. Selleks oleme kirjeldanud liikide reaktsioonimustreid ning seostanud neid trende liikide omadustega (Aavik, Liira, 2009; Liira jt, 2008, 2009; Hendrickx jt, 2009; Schmidt jt, 2009; Sepp, Liira, 2009). Seda teadmist seirete vaatlusmeetodikatesse rakendades saab tõsta seirete meetodikate robustsust, lihtsustada nende läbiviimist, säilitades või suurendades samaaegselt seirete kuluefektiivsust. Omandatud teadmiste põhjal on välja töötatud erinevate kooslustüüpide seiresüsteeme, näiteks maakasutuse intensiivsuse hindamiseks (Herzog jt, 2006; Billeter jt, 2008), metsa- ja põllumaamaastike komplekside muutuse hindamiseks (Peterson jt, 2004, 2008; Liira jt, 2006), metsa- ja niidukoosluste seisundi hindamiseks (Kohv, Liira, 2005; Ejrnaes jt, 2008; Liira jt, 2007, 2012; Liira, 2009; Liira, Sepp, 2009; Palo jt, 2011), rabade ja märgalade seisundi muutuste hindamiseks reostuse tagajärjel (Paal jt, 2010; Liira jt, 2010a).

TÄNUSÕNAD

Täna kõiki kolleege, endisi juhendajaid, juhendatavaid ja kaasvõitlejaid, kes on aidanud läbi aastate rühkida teadmiste ja selguse valguse poole. Minu tegemisi on toetanud erinevad sihtfinantseeritavad projektid SF0182569s03 ja SF0180012s09, ETF-grantid 5478 ja 7878, Euroopast vahendatud projektid (RP-5 GREENVEINS, ESF AGRIPOPEs, tippkeskus FIBIR) ja erinevad lepingud kohalike asutustega (Keskkonnaministeerium, Põllumajandusuuringute Keskus).

KIRJANDUS

Aavik, T., Augenstein, I., Bailey, D., Herzog, F., Zobel, M., Liira, J. (2008a). What is the role of local landscape structure in the vegetation composition of field boundaries? *Appl. Veg. Sci.*, 11, 375-386.

Aavik, T., Jõgar, Ü., Liira, J., Tulva, I., Zobel, M. (2008b). Plant diversity in a calcareous wooded meadow – management continuity and colonization debt. *J. Veg. Sci.*, 19, 475-484.

Aavik, T., Liira, J. (2009). Agrotolerant and high nature-value species - plant biodiversity indicator groups in agroecosystems. *Ecol. Indic.*, 9, 892-901.

Aavik, T., Liira, J. (2010). Quantifying the effect of organic farming, field boundary type and landscape structure on the vegetation of field boundaries. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 135, 178-186.

Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Baudry, J., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., De Blust, G., de Cock, R., Diekoetter, T., Dietz, H., Dirksen, J., Dormann, C., Durka, W., Frenzel, M., Hamersky, R., Hendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, A., Le Coeur, D., Maelfait, J. P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann, A., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M. J. M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., van Wingerden, W. K. R. E., Zobel, M., Edwards, P. J. (2008). Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *J. Appl. Ecol.*, 45, 141-150.

Cousins, S. A. O. (2006). Plant species richness in midfield islets and road verges – the effect of landscape fragmentation. *Biol. Conserv.*, 127, 500-509.

Dormann, C. F., Schweiger, O., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bugter, R., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., Cock, R. D., Blust, G. D., DeFilippi, R., Diekotter, T., Dirksen, J., Durka, W., Edwards, P. J., Frenzel, M., Hamersky, R., Fendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, A., Coeur, D. L., Liira, J., Maelfait, J. P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann-Legionnet, A., Schermann, N., Schmidt, T., Smulders, M. J. M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., Wingerden, W. v., Zobel, M. (2008). Prediction uncertainty of environmental change effects on temperate European biodiversity. *Ecol. Lett.*, 11, 235-244.

Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F. G., Crist, T. O., Fuller, R. J., Sirami, C., Siriwardena, G. M., Martin, J. L. (2011). Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecol. Lett.*, 14, 101-112.

Ejrnaes, R., Liira, J., Poulsen, R., Nygaard, B. (2008). When has an abandoned field become a semi-natural grassland or heathland? *Environ. Manage.*, 42, 707-716.

Flohre, A., Fischer, C., Aavik, T., Bengtsson, J., Berendse, F., Bommarco, R., Ceryngier, P., Clement, L. W., Dennis, C., Eggers, S., Emmerson, M., Geiger, F., Guerrero, I., Hawro, V., Inchausti, P., Liira, J., Morales, M. B., Oñate, J. J., Pärt, T., Weisser, W. W., Winqvist, C., Thies, C., Tschardtke, T. (2011). Agricultural intensification and biodiversity partitioning in European landscapes comparing plants, carabids, and birds. *Ecological Applications*, 21, 1772-1781.

Forman, R. T. T. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecol.*, 10, 133-142.

Gaston, K. J., Blackburn, T. M., Goldewijk, K. K. 2003. Habitat conversion and global biodiversity loss. *Proc. R. Soc. London B Biol. Sci.*, 270, 1293-1300.

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, Wolfgang W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tschardtke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L. W., Dennis, C., Palmer, C., Onate, J. J., Guerrero, I., Hawro, V., Aavik, T., Thies, C., Flohre, A., Hänke, S., Fischer, C., Goedhart, P. W., Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic Appl. Ecol.*, 11, 97-105.

Guerrero, I., Morales, M., Onate, J. J., Aavik, T., Bengtsson, J., Berendse, F., Clement, L., Dennis, C., Eggers, S., Emmerson, M., Fischer, C., Flohre, A., Geiger, F., Hawro, V., Inchausti, P., Kalamees, A., Kinks, R., Liira, J., Melendez, L., Pärt, T., Thies, C., Tschardtke, T., Olszewski, A., Weisser, W. (2011). Taxonomic and functional diversity of farmland bird communities across Europe: effects of biogeography and agricultural intensification. *Biodivers. Conserv.*, 20, 3663-3681.

Haaland, C., Naisbit, R. E., Bersier, L. 2011. Sown wildflower strips for insect conservation: A review. *Insect Conserv. Divers.*, 4, 60-80.

Hendrickx, F., Maelfait, J. P., Desender, K., Aviron, S., Bailey, D., Diekotter, T., Lens, L., Liira, J., Schweiger, O., Speelmans, M., VanDomme, V., Bugter, R. (2009). Pervasive effects of dispersal limitation on within- and among-community species richness in agricultural landscapes. *Global Ecol. Biogeogr.*, 18, 607-616.

Hendrickx, F., Maelfait, J. P., van Wingerden, W., Schweiger, O., Speelmans, M., Aviron, S., Augenstein, I., Billeter, R., Bailey, D., Bukacek, R., Burel, F., Diekotter, T., Dirksen, J., Herzog, F., Liira, J., Roubalova, M., VanDomme, V., Bugter, R. (2007). How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *J. Appl. Ecol.*, 44, 340-351.

- Herzog, F., Steiner, B., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bukacek, R., De Blust, G., De Cock, R., Dirksen, J., Dormann, C. F., De Filippi, R., Frossard, E., Liira, J., Schmidt, T., Stockli, R., Thenail, C., van Wingerden, W., Bugter, R. (2006). Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. *Eur. J. Agron.*, 24, 165-181.
- Herzon, I., Helenius, J. (2008). Agricultural drainage ditches, their biological importance and functioning. *Biol. Conserv.*, 141, 1171-1183.
- Jüriado, I., Liira, J. (2010). Threatened forest lichen *Lobaria pulmonaria* - its past, present and future in Estonia. *Forestry Studies*, 53, 15-24.
- Jüriado, I., Karu, L., Liira, J. (2012). Habitat conditions and host tree properties affect the occurrence, abundance and fertility of the endangered lichen *Lobaria pulmonaria* in wooded meadows of Estonia. *The Lichenologist*, 44, 263-276.
- Jüriado, I., Liira, J., Csencsics, D., Widmer, I., Adolf, C., Kohv, K., Scheidegger, C. (2011). Dispersal ecology of the endangered woodland lichen *Lobaria pulmonaria* in managed hemiboreal forest landscape. *Biodivers. Conserv.*, 20, 1803-1819.
- Jüriado, I., Suija, A., Liira, J. (2006). Biogeographical determinants of lichen species diversity on islets in the West-Estonian Archipelago. *J. Veget. Sci.*, 17, 125-134.
- Kleijn, D., Kohler, F., Baldi, A., Batary, P., Concepcion, E. D., Clough, Y., Diaz, M., Gabriel, D., Holzschuh, A., Knop, E., Kovacs, A., Marshall, E. J. P., Tschamtker, T., Verhulst, J. (2009). On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, 276, 903-909.
- Kleijn, D., Sutherland, W. J. (2003). How effective are European agri-environment schemes in conserving and promoting biodiversity? *J. Appl. Ecol.*, 40, 947-969.
- Leppik, E., Jüriado, I., Liira, J. (2011). Changes in stand structure due to the cessation of traditional land use in wooded meadows impoverishes epiphytic lichen communities. *The Lichenologist*, 43, 257-274.
- Liira, J. (2009). Olemasolevate koosluste seiremetoodikate hindamine ning soovitusi Natura2000 elupaikade seisundi seiremetoodika edendamiseks. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu.
- Liira, J., Aavik, T., Parrest, O., Zobel, M. (2008a). Agricultural sector, rural environment and biodiversity in the central and eastern European EU member states. *Acta Geogr. Debrec. Landsc. Environ. Ser.*, 2, 46-64.
- Liira, J., Feldmann, T., Mäemets, H., Peterson, U. (2010a). Two decades of macrophytes expansion on the shores of a large shallow northern temperate lake – A retrospective series of satellite images. *Aquat. Bot.*, 93, 4, 207-215.

- Liira, J., Issak, M., Jõgar, Ü., Mändoja, M., Zobel, M. (2009). Restoration management of a floodplain meadow and its cost-effectiveness – the results of a 6-year experiment. *Ann. Bot. Fennici*, 46, 397-408.
- Liira, J., Kohv, K. (2010). Stand characteristics and biodiversity indicators along the productivity gradient in boreal forests: Defining a critical set of indicators for the monitoring of habitat nature quality. *Plant Biosyst.*, 144, 211-220.
- Liira, J., Lõhmus, K., Tuisk, E. (2012). Old manor parks as potential habitats for forest flora in agricultural landscapes of Estonia. *Biol. Conserv.*, 146, 144-154.
- Liira, J., Püssa, K., Peterson, U. (2006). The radiance contrast of forest-to-clearcut edges on a medium resolution Landsat Enhanced Thematic Mapper satellite winter image. *Int. J. Rem. Sens.*, 27, 2753-2766.
- Liira, J., Schmidt, T., Aavik, T., Arens, P., Augenstein, I., Bailey, D., Billeter, R., Bukacek, R., Burel, F., De Blust, G., de Cock, R., Dirksen, J., Edwards, P. J., Hamersky, R., Herzog, F., Klotz, S., Kuhn, I., Le Coeur, D., Miklova, P., Roubalova, M., Schweiger, O., Smulders, M. J. M., van Wingerden, W. K. R. E., Bugter, R., Zobel, M. (2008b). Plant functional group composition and large-scale species richness in European agricultural landscapes. *J. Veget. Sci.*, 19, 3-14.
- Liira, J., Sepp, T. (2009). Indicators of structural and habitat natural quality in boreo-nemoral forests along the management gradient. *Ann. Bot. Fennici*, 46, 308-325.
- Liira, J., Sepp, T., Kohv, K. (2011). The ecology of tree regeneration in mature and old forests: combined knowledge for sustainable forest management. *J. Forest Res.*, 16, 184-193.
- Liira, J., Sepp, T., Parrest, O. (2007). The forest structure and ecosystem quality in conditions of anthropogenic disturbance along productivity gradient. *Forest Ecol. Manag.*, 250, 34-46.
- Liira, J., Settele, J., Zobel, M. (2010b). European biodiversity and its drivers – an “international” analysis. Settele, J., Penev, L. D., Georgiev, T. A., Grabaum, R., Grobelnik, V., Hammen, V., Klotz, S., Kotarac, M., Kühn, I. (eds.) *Atlas of Biodiversity Risk*. PENSOFT Publisher, Sofia, 18-21.
- Mäe, Ü. (1976). Kolhoosnikute, tööliste ja teenistujate isiklik abimajapidamine. Mets, E. (toim.) *Põllumeheteatmik 1976*. Valgus, Tallinn, 156-160.
- Marshall, E. J. P. 2004. Agricultural landscapes: Field margin habitats and their interaction with crop production. *J. Crop Impr.*, 12, 365-404.
- Opdam, P. (1990). Dispersal in fragmented populations: the key to survival. Bunce, R. G. H., Howard, D. C. (eds.) *Species Dispersal in Agricultural Habitats*. Belhaven, London, 3-17.

- Paal, J., Turb, M., Köster, T., Rajandu, E., Liira, J. (2011). Forest land-use history affects the species composition and soil properties of old-aged hillock forests in Estonia. *J. Forest Res.*, 16, 244-252.
- Paal, J., Vellak, K., Liira, J., Karofeld, E. (2010). Bog recovery in Northeastern Estonia after the reduction of atmospheric input. *Restor. Ecol.*, 18, 387-400.
- Palo, A., Hoder, D., Liira, J. (2011). Re-evaluation of stand indicators for the assessment of the representativity status of the Natura 2000 habitat type forests. *Estonian J. Ecol.*, 60, 209-224.
- Peterson, U., Liira, J., Püssa, K. (2008). Metsaga alade ning lageraiete ja nendega sarnaste häiringute kaugseire. Väljataga, K., Kaukver, K. (toim.) Kaugseire Eestis. Iloprint, Tallinn, 48-68.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sannwald, E., Hueneke, L. F., Jackson, R. B., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Schmidt, T., Arens, P., Smulders, M. J. M., Billeter, R., Liira, J., Augenstein, I., Durka, W. (2009). Effects of landscape structure on genetic diversity of *Geum urbanum* L. populations in agricultural landscapes. *Flora – Morph. Distr. Funct. Ecol. Pl.*, 204, 549-559.
- Schweiger, O., Maelfait, J. P., Van Wingerden, W., Hendrickx, F., Billeter, R., Speelmans, M., Augenstein, I., Aukema, B., Aviron, S., Liira, J. (2005). Quantifying the impact of environmental factors on arthropod communities in agricultural landscapes across organizational levels and spatial scales. *J. Appl. Ecol.*, 42, 1129-1139.
- Schweiger, O., Musche, M., Bailey, D., Billeter, R., Diekotter, T., Hendrickx, F., Herzog, F., Liira, J., Maelfait, J.-P., Speelmans, M., Dziöck, F. (2007). Functional richness of local hoverfly communities (Diptera, Syrphidae) in response to land use across temperate Europe. *Oikos*, 116, 461-472.
- Shreeve, T. G., Dennis, R. L. H. (2011). Landscape scale conservation: Resources, behaviour, the matrix and opportunities. *J. Insect Conserv.*, 15, 179-188.
- Stoate, C., Baldi, A., Beja, P., Boatman, N. D., Herzog, I., van Doorn, A., De Snoo, G. R., Rakosy, L., Ramwell, C. (2009). Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review. *J. Environ. Manag.*, 91, 22-46.
- Thies, C., Haenke, S., Schreber, C., Bengtsson, J., Bommarco, R., Clemen, L. W., Ceryngier, P., Dennis, C., Emmerson, M., Gagic, V., Hawro, V., Liira, J., Weisser, W. W., Winquist, C., Tschardt, T. (2011). The relationship bet-

ween agricultural intensification and biological control: experimental tests across Europe. *Ecol. Appl.*, 21, 2187-2196.

Winqvist, C., Bengtsson, J., Aavik, T., Berendse, F., Clement, L. W., Eggers, S., Fischer, C., Flohre, A., Geiger, F., Liira, J., Pärt, T., Thies, C., Tschardtke, T., Weisser, W. W., Bommarco, R. (2011). Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. *J. Appl. Ecol.*, 48, 570-579.

Teaduspreemia sotsiaalteaduste alal uurimuste tsükli “Identiteedid, konfliktne enesemääratlemine ja de facto riigid” eest



Eiki Berg

Sündinud 13.01.1970 Tartus

1988 Miina Härma Gümnaasium
1993 Tartu Ülikool, geograafia eriala
1995 MSc, inimgeograafia, Tartu Ülikool
1999 PhD, geoinformaatika, Tartu Ülikool

2003–2004 Riigikogu X koosseisu liige ja Euroopa Parlamendi vaatleja-
liige

Alates 2004 Tartu Ülikooli rahvusvaheliste suhete teooria professor

Töötanud lühiajaliselt külalisuurijana Kopenhaageni Rahu-uuringute Insti-
tuudis (COPRI), Müncheni Rakendusuuringu Keskuses (CAP), Helsingi
Kolleeģiumis, Taivani Rahvusvaheliste Suhete Instituudis ning Moskva
Kõrgema Majanduskooli juures

Avaldanud 50 teadusartiklit

SISSEJUHATUS

Põhimõte “me oleme suveräänsed, mistõttu kellelgi pole õigust meie üle valitseda meilt luba küsimata”, lõi Vestfaali rahujärgse rahvusvahelise ühis-
konna. Selle moodustasid riigid, mis olid valmis tunnustama üksteise suve-
räänsed õigusi tingimusel, et neile vastatakse samaga. Paraku tulid vastu-
olud suveräänsuse käsitlustes ilmsiks juba 1791. aasta Prantsuse põhisea-
dusega, mis deklareeris, et “Suveräänsus on üks, jagamatu ja võõranda-
matu; see kuulub rahvale”. President Woodrow Wilsoni 14 punkti avasid
aga veelgi kõnekamalt kujul rahvaste enesemääramise põhimõtte, seda küll
valikuliselt ja üksnes Euroopa kontinendi anastatud rahvaid puudutades.
Teise maailmasõja järgselt avaldus rahvaste enesemääramine dekolonisat-
sioonis, samal ajal kui näiteks 1975. a Helsingi julgeoleku ja koostöökon-
verentsi lõppakt sätestas üheselt riikide territoriaalse terviklikkuse ja sõja-
järgsete piiride puutumatus nõude.

Suveräänsuskriisi haripunkt saabus külma sõja lõppedes, mil ÜRO peasekretär Boutros Boutros-Ghali tegi 1992. aastal oma "Tegevuskavas rahu nimel" kolm ettepanekut, puudutades nendega otseselt rahvusvahelise ühiskonna olemust. Esiteks, riigid peaksid jätkuvalt olema rahvusvahelise ühiskonna nurgakiviks, kuigi nende õigus oma võimu teostada kodanikkonna ja territooriumi üle ei saa olla absoluutne. Teiseks, ÜRO ei tohiks sulgeda oma uksi uutele liikmetele, kuigi riikluse levimine etnilisel tasandil muudab rahu, julgeoleku ja majandusliku heaolu tagamise veelgi raskemaks. Kolmandaks, vastuolude ilmnemisel territoriaalse terviklikkuse ja rahvusliku enesemääramise vahel tuleks esmalt lähtuda inimõiguste austamisest ja etniliste vähemuste kaitsesest. Eeltoodu ühtaegu lõimib ja vastandab Külma sõja järgses rahvusvahelises ühiskonnas tooniandvaid põhimõisteid ja printsiipe suveräänsusest, territoriaalsest terviklikkusest ja rahvaste poliitilisest enesemääramisest. Õigem oleks konstateerida vältimatuid kompromisse õiguslike normide ja empiirilise tegelikkuse vahel ning näha valikulisi katseid legitimeerida siirdeid rahvusvahelises ühiskonnas.

Lühidalt öeldes, kui minevikus sõltus riikide suveräänsuse tunnustamine seadusandluse maksvuses ning kontrollis territooriumi ja elanikkonna üle, samuti nende suutlikkuses astuda rahvusvahelistesse suhetesse teiste suveräänsete üksustega (Montevideo Konventsioon Riikide Õigustest ja Kohustustest 1933), siis tänased suveräänsuspraktikad välistavad iseseisvustootlused ka siis, kui empiirilised tingimused selleks on täidetud. ÜRO Peasamblee Resolutsioon 1514 (1960) näeb iseseisva riikluse tekke võimalust läbi rahvusliku enesemääramise vaid koloniseeritud rahvastele. Riikide lagunemine annab võimaluse endistele föderatsioonisubjektidele; 'heastav' setsessioon (*remedial secession*) võib tulla kõne alla tõsiste inimõiguste rikkumiste korral või ka siis, kui kõik konflikti reguleerimise võimalused võimu jagamiseks on ammendatud.

Nii või teisiti, ka siis, kui piiratud võimaluste struktuuris on lubatavusi, jääb 'peremeesriikidele' kaalukas roll eraldumiste võimaldamisel ja uute tärkavate suveräänide tunnustamisel. Tahtmatus teha kompromisse õiguslike normide (territoriaalse terviklikkuse printsiip) ja empiirilise tegelikkuse (eraldumiskatse rahvusliku enesemääramise nimel) vahel annab tulemuseks pikaajalised 'külmutatud konfliktid'. Samas kompromissid ilma legitiimsuse aluseta kirjeldavad võimujagamise mehhanisme paberil, millel tegelikkusega pole mingit pistmist. Mõlemal juhul on garanteeritud luhtunud riikide (*de facto* lõhestatud ja *de jure* 'riik-riigis' poliitiliste üksustena) vohamine rahvusvahelises ühiskonnas.

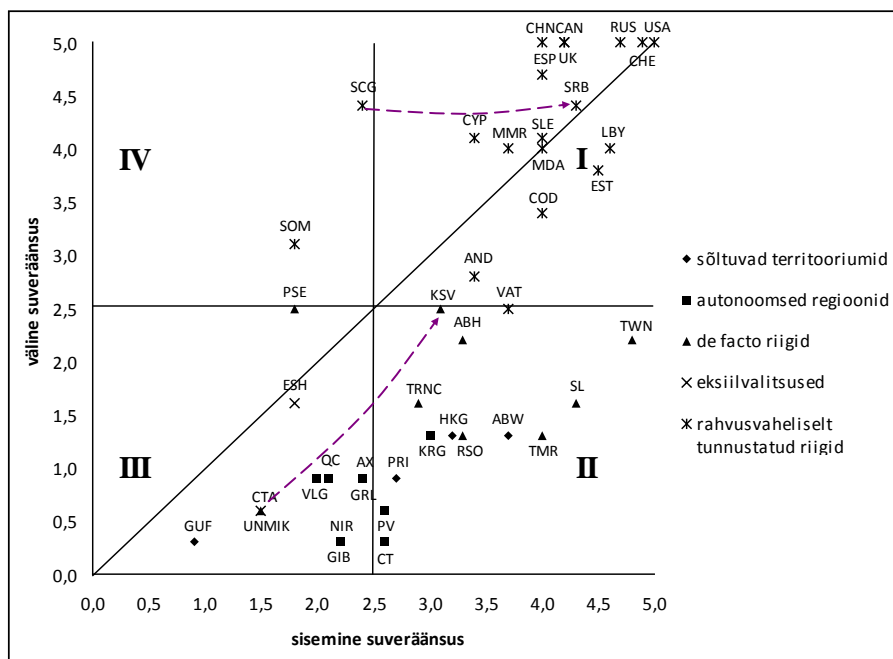
Käesolev uurimustsükkel (2008-2011) seadis ees märgiks analüüsida võimujagamist konfliktijärgsetes ühiskondades; mõõdistada ja kaardistada eri-

nevate poliitiliste üksuste suveräänsustasemeid, integreeritust, sõltuvust ja legitiimsust. Uurimistöö tulemusena saab rääkida rahvusvahelise ühiskonna õiguslik-normatiivsest piiratusest ning suhtelise/empiirilise/tegeliku suveräänsuse maksvusest; *de facto* riikide sõltuvuse määrast ning nende rahvusvahelise ühiskonnaga integreeritusest; 'peremeesriikide' ja neist eralduda soovivate poliitiliste üksuste sisemisest legitiimsusest konflikti lahenduste väljavaadete otsimisel ja/või välise rahvusvahelise tunnustuse taotlemisel ning viimaks ka 'Kosovo sündroomi' mõjust rahvusvahelise ühiskonna fragmenteerumisele. Mõned tähelepanekud siinkohal.

MILLISEL SUVERÄÄNSUSEL ON ROHKEM ÜHIST TEGELIKKUSEGA?

Tavapärase juriidiline ja absolutistlik suveräänsuse käsitlus räägib riikidest ja ainult riikidest rahvusvahelises ühiskonnas, ignoreerides empiirilisi ja relatiivseid käsitlusi, mis jätaksid tõlgendus- ja seletusruumi ka teistsugustele poliitilistele toimijatele. Juriidiline mäng suveräänsusega toodab juurde ebaõnnestunud riike, sest rahvusvahelise tunnustamise kontekstis pole oluline riikluse empiiriline mõõde. Suveräänsuse mõõdistamine ja mõõtmistulemuste kaardistamine võimaldab võrrelda suveräänsustasemetega erinevusi rahvusvaheliselt tunnustatud riikidel, *de facto* riikidel, autonoomsetel piirkondadel, sõltuvatel territooriumidel ja eksiilvalitsustel. Kasutades lihtsat intervallilise hinnangu meetodit, saab kvantitatiivselt mõõdistada suveräänsuse sisemisi (sümboolsed tunnused, valitsemine, rahasüsteem, territoorium ja elanikkond) ja väliseid (osalus, julgeolekustruktuurid, diplomaatilised suhted, rahvusvaheliste organisatsioonide liikmelisus) tunnuseid. Summeerides mõõdetavad tulemused ja viies need 5-pallisele skaalale, saame graafiku, mida diagonaalis läbib 'tasakaalujoon' sisemise ja välise suveräänsuse vahel (vt joonis 1).

Graafik jaguneb neljaks lahtriks, millest I ja III on 'tasakaalu lahtrid' (sise- ja välissuveräänsus on omavahel tasakaalus) ning II ja IV on 'tasakaalutuse lahtrid'. Esimesse lahtrisse kuuluvad peamiselt rahvusvaheliselt tunnustatud riigid. Teise lahtrisse kuuluvad *de facto* riigid ja autonoomsed piirkonnad (nt Hongkong, Puertoriiko, Iraagi Kurdistan, Baskimaa ja Kataloonia). Kolmanda lahtri moodustavad enamasti sõltuvad territooriumid. Neljandasse graafiku lahtrisse paigutuvad luhtunud riigid – Serbia ja Montenegro, ning Somaalia. Graafikul eristuvad ka mitmed piiripealsed juhtumid, mis ei paigutu selgelt ühessegi lahtrisse. Sellisteks erandlikeks juhtumiteks on esimese ja teise lahtri vahel paiknevad Vatikan ja Kosovo ning kolmanda ja neljanda vahel positsioneeriv Palestiina. Katkendlik joon tähistab kahe juhtumi puhul muutust ajas – Kosovo (UNMIK 2004) ja Kosovo (KSV 2009); Serbia ja Montenegro (SCG 2004) ja Serbia (SRB 2009).



Joonis 1.

Suveräänsuse kaardistamine (Berg, Kuusk, 2010). Sõltuvad territooriumid: Aruba (ABW), Prantsuse Guiana (GUF), Gibraltar (GIB), Gröönimaa (GRL), Hongkong (HKG), Puertoriiko (PRI); Autonoomsed piirkonnad: Ahvenamaa (AX), Baskimaa (PV), Kataloonia (CT), Flandria (VLG), Iraagi Kurdistan (KRG), Põhja-Iirimaa (NIR), Quebec (QC); *De facto* riigid: Abhaasia (ABH), Kosovo (KSV), Kosovo-2004 (UNMIK), Palestiina (PSE), Somaalimaa (SL), Lõuna-Osseetia (RSO), Taivan (TWN), Transnistria (TMR), Põhja-Küprose Türki Vabariik (TRNC); Eksiilvalitsused: Tiibet (CTA), Lääne-Sahaara (ESH); Rahvusvaheliselt tunnustatud riigid: Andorra (AND), Kanada (CAN), Hiina (CHN), Kongo DV (COD), Küpros (CYP), Eesti (EST), Liibüa (LBY), Moldova (MDA), Myanmar (MMR), Venemaa (RUS), Serbia (SRB), Serbia ja Montenegro-2004 (SCG), Sierra Leone (SLE), Somaalia (SOM), Hispaania (ESP), Šveits (CHE), Ühendkuningriigid (UK), Ameerika Ühendriigid (USA), Vatikan (VAT).

MIKS VÕIMU JAGAMINE EBAÖNNESTUB?

Pikaajalised lahendamatu konfliktid on kahe ühildamatu eesmärgi tulemiks: see on põhjustatud vähemuse soovist luua iseseisev riik või enamuse soovist tagada olemasoleva riigi territoriaalne terviklikkus. Võimu jagami-

ne konfliktijärgsetes situatsioonides ebaõnnestub reeglina seetõttu, et tavapärased käsitlused suveräänsuse jagamatusest, territoriaalsest puutumatusast ja eksklusiiivsest välisest tunnustamisest asetatakse 'sunniviisiliselt' kaasaegsete normatiivsete tegutsemisjuhiste konteksti. Võimu ei ole võimalik jagada, kui seda piirab suveräänsuse ja territoriaalsuse jagamatuse norm.

Kaks vastandlikku suveräänsuskäsitlust (tunnustatud valitsuste või 'valgustatud' rahva vaatenurgast) ühes silmnähtavate vastuoludega faktide ja normide vahel näib ületamatuna (Berg, Ben-Porat, 2008; Berg, 2009ab). Ühest küljest pole rahvusvahelisel ühiskonnal huvi suveräänsust ja territoriaalset terviklikkust puudutavaid norme revideerida – pretsedendi loomine viiks Pandora laeka avamiseni ja soovimatu ebastabiilsuse kasvuni. Teisalt ei ole post-modernsed lahendid asjakohased modernsete tüliküsimuste lahendamisel, ilma et rahvusvaheline õigus ise annaks kaasaegsema sisu suveräänsusele, territoriaalsusele ja piiride puutumatussele. Kolmandaks puudub asjaosalistel endil soov rakendada keerukaid võimujagamise mehhanisme olemasoleva riigi piirides – eralduja ei soovi loobuda verehinnaga kättevõidetud territooriumidest ega usalda 'peremees-riigi' ja rahvusvahelise ühiskonna julgeolekutagatist; 'peremees-riik' ei soovi aga loobuda rahvusvahelise õigusega tagatud monopolist olla rahvusvaheliselt esindatud konfliktieelses sisus ja vormis ega jagada võimu nendega, keda faktiliselt ei kontrollita.

Null-summa mäng jätab Küprosel ja Moldovas mõlemad teoreetilised võimalused avatuks – *status quo ante* eesmärgi 'peremees-riigile' ja *de facto* iseseisvuse eraldujale, ning 'külmutab' võimujagamise edaspidiseks. Ajaloo teame, et Küprose leppedemokraatia muutus teovõimetuks kolm aastat pärast iseseisvuse väljakuulutamist (1960), paralüüeeriti seoses Türgi interventsiooniga (1974) ja ühepoolse iseseisvuse väljakuulutamisega (1983) ning on seniajani elanud varjusurmas, vaatamata välistele reanimeerimiskatsetele (Annani rahuplaan 2004). Moldova Vabariigi keskvoim pole Dnestri jõe vasakkaldal suutnud ennast kehtestada kogu iseseisvumisaja vältel. Transnistria on valmis ühinema Moldovaga vaid võrdse osapoolena lepingulisel alusel, mis annaks võimujagamisel eluliselt tähtsates küsimustes vetoõiguse mõlemale lepingupartnerile. Daytoni rahulepe (1995), mis järgib samal ajal üldtunnustatud territoriaalse terviklikkuse printsiipi, on jaganud Bosnias võimu väliste näpunäidete järgi, kuid pole saavutanud oodatud legitiimsust konflikti osapoolte vahel. Bosnia-Hertsegovina on 'paberriik', mis rahvusvahelise ühiskonna jaoks pakub "hundid söönud – lambad terved" varianti, kuid siiski jääb viletsaks kompromissiks faktide ja normide vahel, sest nõrka legitiimsust saab kompenseerida vaid rahvusvaheline järelvalve ja ebademokraatlik valitsemine.

MIDA ARVATA *DE FACTO* RIIKIDE INTEGREERITUSEST JA SÕLTUVUSE MÄÄRAST?

De facto riigid on ebaselge poliitilise staatusega rahvusvahelise tunnusteta maad, mis ei taha hästi sobituda kaasaegse rahvusvahelise õigusliku raamistikuga. Enamik neist paiknevad suurvõimude rivaalsustsoonides ning sõltuvad suuremal või vähemal määral oma kaitsva patrooni julgeoleku tagatistest ja majandusabist. Ülejäänud maailma silmis on tegemist paikadega, mis ametlikult ei eksisteeri. Tavakäsitlustes on nende saatuseks läbiräägitav reintegratsioon või vägivaldne reinkorporatsioon 'peremeesriiki'. Esimesel juhul on vähe usutav, et konfliktised osapooled ise sellise lahenduseni jõuaksid; välise abi korral sünniks aga juurde luhtunud 'paberriik'. Teisel juhul oleks konflikti eskaleerumine, uued inimohvrid ja etniline puhastus vältimatud negatiivsed kaasnähted (nt Krajina Serbia Vabariigi likvideerimine Horvaatia poolt 1995, Tamil Eelami likvideerimine Sri Lanka keskvalitsuse poolt 2009).

Rahvusvahelise ühiskonna silmis võiksid *de facto* riigid leida mõistmist üksnes oma praeguses *status quo* seisundis. Iseseisvumine on raskendatud seoses kitsendava õigusliku raamistikuga ja ülejäänud riikide üldlevinud poliitilise vastumeelsuse tõttu. Reintegratsiooni väljavaade on aga paraku samavõrd udune või siis soovimatute tagajärgedega. Samas on need poliitilised üksused reaalselt olemas ning läbi poliitiliste ja majanduslike suhete kaasatud rahvusvahelise ühiskonna tegemistesse. Integreeritus ja sellest johtuv suhete normaliseerumine ilma juriidilise tunnustamiseta varieerub poliitiliste üksuste lõikes ja avaldub neljal erineval viisil: *de facto* riikide olemasolu eitamine, boikott, sallimine, osaline tunnustamine.

Lihtsa intervallilise hinnangu meetodil saab mõõta rahvusvahelise ühiskonna avatust *de facto* riikide jaoks ning nende endi soovi olla integreeritud ülejäänud maailmaga. Selleks analüüsisime poliitilist integratsiooni iseloomustavaid tunnuseid (rahvusvaheline tunnustus, välisesindused, rahvusvaheliste organisatsioonide liikmelisus, rahvusvaheliste rahuvahendajate tegevus, välispatrooni olemasolu), majanduslikku integratsiooni iseloomustavaid tunnuseid (väliskaubanduse maht elaniku kohta, väliskaubanduspartnerite arv) ning kommunikatsiooni- ja suhtluskanaleid iseloomustavaid tunnuseid (õhuliiklus, postiteed, piiriülene liikumine, telekommunikatsiooni rahvusvahelised kodeeringud). Summeerides mõõdetavad tulemused saame 'normaliseerimisindeksi' 10-pallisel 'tunnustamise skaalal' (vt tabel 1).

Saadud tulemused võimaldavad eristada rahvusvaheliselt tunnustamata *de facto* riikide integratsioonimäära suhtes rahvusvahelise ühiskonnaga. Nii selgub, et mitte ükski neist pole täielikult ignoreeritud, enamik kuulub boi-

kotitsooni (Abhaasia, Mägi-Karabahhia, Transnistria, Somaalimaa), üksikuid sallitakse (Põhja-Küpros) ning mõned on ka osaliselt tunnustatud (Taiwan ja Kosovo).

Tabel 1

De facto riikide suhteline positsioneerimine ‘tunnustamise skaalal’
(Berg, Toomla, 2010).

0 – 2,5: täielik eitamine	mitte ühtegi <i>de facto</i> riiki			
2,6 – 5: boikott	Mägi-Karabahhia	Transnistria	Somalimaa	Abhaasia
5,1 – 7,5: sallimine	Põhja-Küpros			
7,6 – 10: osaline tunnustamine	Taiwan		Kosovo	

Kuigi boikotitsoonis paiknev Transnistria on end ühepoolset iseseisvaks kuulutanud ning eesmärgiks seadnud rahvusvahelise tunnustuse leidmist, on patrooniga suhete ja sõltuvuste iseloom just see, mis võimaldab hinnata taotluse tõsiseltvõetavust. Rahvusvahelised vaatlejad täheldavad Transnistria suurt sõltuvust Venemaast (nt sõjaline toetus, soodsamad gaasitariifid, abi pensioni maksmisel) ning käsitlevad seda piirkonda üks-üheselt Venemaa marionetina. Vaieldamatu on tõsiasi, et Venemaa 14. armee sekkus otseselt Moldova setsessionistlikku konflikti 1992. aastal, või et Venemaa roll on olnud määrav konflikti kulgemise ja suuna defineerimisel, initsieerides rahuplaane (näiteks “Kozaki memorandum” 2003). Samas väärriks Transnistria-Venemaa omavaheliste suhete ja sõltuvuste käsitlemine põhjalikumalt analüüsi, et üldlevinud seisukohti tõestada või siis ümber lükata.

Siinkohal analüüsitakse indikaatoreid, millest osa on mõõdetud kvantitatiivselt, osa kvalitatiivselt; seega on tegemist kombineeritud meetodikaga. Kvantitatiivsetest andmetest on abiks eelkõige olemasolevad statistilised andmed, samal ajal kui kvalitatiivsete näitajate puhul võetakse arvesse erinevate analüütikute varasemad kirjutised ning küsitletud ekspertide arvamused. Ühe oodatava tulemusena peaksid selguma need faktorid, mille alusel on võimalik vasallriigiks olemist mõõta. Samuti peaks selguma lähte-positatsioon, millest tulenevalt saaks Transnistria konflikti mõista. Setsessionistlik konflikt üheskoos rahvuslik-territoriaalse enesemääratlemisega, mis otsib ka rahvusvahelist tunnustust, on sootuks midagi muud kui riikidevaheline konflikt, mille varjus toimib riikluse ülesehitamise sildi all võõrriigi okupatsioon.

De facto riigi sõltuvuse ulatus (I^1)

		Tugev	Nõrk
Patrooni huvi (I^2)	Tugev	Vasallriik $I^1 \geq 0,5$ $I^2 \geq 0,5$	Patrooni täieliku mõju alla langev <i>de facto</i> riik $I^1 < 0,5$ $I^2 \geq 0,5$
	Nõrk	Patrooniga nõrgalt seotud <i>de facto</i> riik $I^1 \geq 0,5$ $I^2 < 0,5$	De facto riik $I^1 < 0,5$ $I^2 < 0,5$

Joonis 2.

Transnistria positsioneerimise sõltuvuse maatriksil (Kamilova, Berg, 2012).

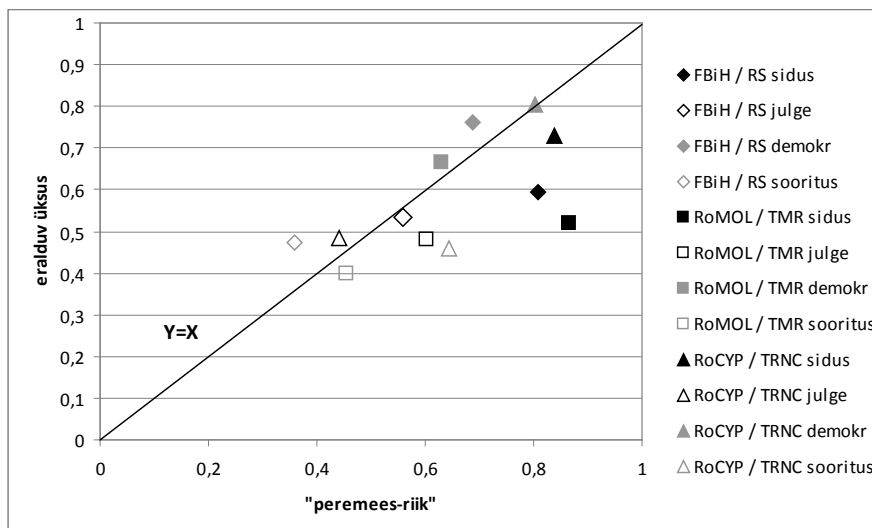
Uurimuse tulemuste kohaselt on võimalik hinnata Transnistriat patrooni täieliku mõju alla langevaks *de facto* riigiks. Empiiriline uurimus näitas, et Transnistria on sõltuv oma patroonist Venemaast mitmes valdkonnas ning ka Venemaal endal on kindel huvi sõltuvussuhet säilitada. Erinevate sõltuvuste ulatust määrav koefitsient ($I^1=0,49$) on mõnevõrra madalam kui patrooni huvile viitav koefitsient ($I^2=0,79$). Sellest tulenevalt võib öelda, et Transnistria sõltuvused patroonist ei ole veel liiga sügavad, seega võiks selle sõltuvuse olemust klassifitseerida vasallriigiks olemise algaasiks. Võimalik, et just selle asjaolu ignoreerimine või mittemärkamine rahvusvaheliste osalejate poolt on põhjuseks, et Transnistria konflikt pole senini lahendust leidnud.

KUIDAS MÕJUTAB LEGITIIMSUSE MÄÄR KONFLIKTI LAHENDAMISE VÄLJAVAATEID?

Poliitilise legitiimsuse uurimine nelja erineva aspekti kaudu (sotsiaalne sidusus, turvalisus, demokraatlikkus ja režiimi sooritus) nii 'peremees-riikides' kui ka neist eralduda soovivates territoriaalsetes üksustes pakub lisateavet nende vastanduvate enesemääratlemise õigustatuste kohta Küprosel, Moldovas ning Bosnia-Hertsegovinas. Uurimuse lähte-eelduseks oli legitiimsusnäitajate mõõdetavus ning nelja erineva legitiimsusindeksi koostamine, mõõtmaks legitiimsust, mis tuleneb sotsiaalsest sidususest, turvalisusest, demokraatlikkusest ja režiimi sooritusest. Indeksise koostamisel

lähtuti paralleelselt kolmes riigis ja kuues regioonis läbi viidud avaliku arvamuse küsitlustest (kevad 2009). Asetades 'peremees-riikide' indeksite väärtused x-teljele ja eralduvate üksuste vastavad väärtused y-teljele, võime konstateerida kui palju ja mil määral 'peremees-riikide' legitiimsustasemed kalduvad olema kõrgemad võrreldes neid eralduvate üksuste näitajatega (vt joonis 3)

Sotsiaalset sidusust mõõdavad kuulumine kogukonda (riik, ühiskond, etniline grupp), piirkonnaga seotus, patriotism, konflikti (eelistatud) lahendus. Homogeenne, ühtse identiteediga, tugevalt juurdunud, kodumaa-kaitsevalmis ühiskond annab sidususe komponendi režiimi legitiimsusele. Julgeolekut mõõdavad usaldus teiste inimeste suhtes, sisemiste (teine etniline grupp) ja väliste ohtude (teise etnilise grupi patroon, oma patroon) tunnetamine. Madal ohutunnetus lisab režiimile legitiimsust ja hindab selle väljavaateid turvalisusega tegelemisel. Demokraatliku poliitilise süsteemi eelistused avaldavad otsust mõju režiimi legitiimsusele. Demokraatlikkust mõõdavad inimeste hoiakud usuorganisatsioonide seadustõlgenduste osas, kodanikuõigustest, poliitilisest pluralismist ja sõjaväe tegevusvabadusest. Režiimi sooritust mõõdab inimeste rahulolu demokraatia, poliitiliste institutsioonide, majanduselu, tervishoiusüsteemi toimimisega. Võrdlevas perspektiivis saab hinnata konfliktsete osapoolte ettekujutusi vastaspoole majanduslikust olukorrast. Teise poole positiivsem väljavaade on märk 'oma' režiimi madalast sooritusest.



Joonis 3.

Legitiimsustasemete erinevused 'peremees-riikides' ja neist eralduda soovivates üksustes (Berg, 2012).

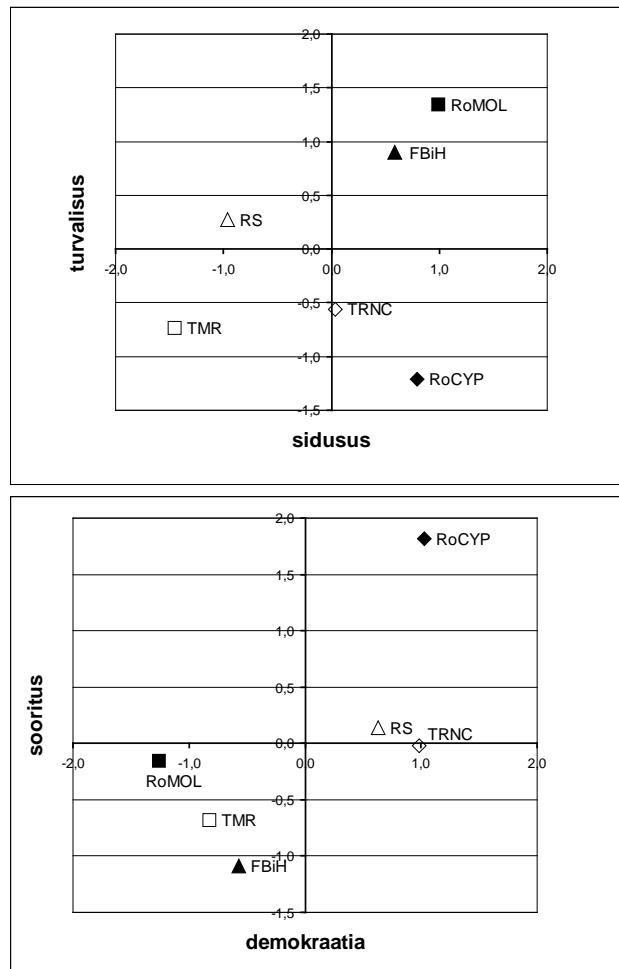
Üldjuhul on 'peremees-riigid' suurema legitiimsusvaruga, kuigi Bosnia-Hertsegovinas on legitiimsusmäär mõlemas poliitilises üksuses (Republika Srpska ja FiBH) võrdväärne. Samuti võib täheldada legitiimsusmäärade ebasoodsat vahekorda, mis raskendab reintegratsiooni võimalusi Moldovas, ning ootamatuid sarnasusi, mis toovad lõhestatud Küprose konfliktseid osapooli teineteisele lähemale. Eraldi väärrib mainimist Transnistria erakordselt suur sõltuvus Venemaast kui oma patroonist, mis muudab traditsioonilise võimujagamismehhanismi kasutuks.

Konflikti osapoolte sisemise legitiimsuse mõõdistamine, erinevate legitiimsusnäitajate teisendamine standardmuutujateks ning võrdlemine 'sidususe/turvalisuse' ja 'demokraatia/soorituse' skaaladel võimaldab tuvastada need paarid, mis on üksteise suhtes lähenemas, ja need paarid, mis kaugenevad, sõltuvalt 'peremees-riikide' ja eralduvate riikide omavahelistest positsioneeritustest. Siinkohal kehtib reegel, et mida suurem on suhteline kaugus konfliktsete paaride vahel 'sidususe/turvalisuse' skaaladel, seda vähem usutavam on taasühinemise perspektiiv. Kolmest võrdlusalusest paarist on Moldova/Transnistria omavaheline kaugus suurim ja Küprose/Põhja-Küprose oma vähim; Bosnia regioonid jäävad kahe vahele. 'Demokraatia/soorituse' skaalal kehtib vastupidine järeldus: demokraatlikul ja kõrge usaldusnivooga Küprosel on suuremad teoreetilised võimalused taasühendada madalama legitiimsustasemega Põhja-Küprost. Integratsioonil on paraku vähe šansse, kui integreerija (FBiH) on vähem demokraatlik ja nõrgema sooritusega kui integreeritav (RS) või kui mõlemad konfliktsete osapooled on ühtmoodi suure demokraatia ja sooritusdefitsiidiga (Moldova ja Transnistria) (vt joonis 4).

Bosnia-Hertsegovina on säilitanud küll territoriaalse terviklikkuse, kuid on vastamisi setsessionistlike väljakutsetega, mis ühtpidi on seotud välise integratsioonisurvega ja teistpidi nende Daytoni rahuleppe (1995) sätetega, mis tegid Bosnia serblaste haldusalast 'riigi riigis' Republika Srpska nime all. Mõlemad Bosnia (kon-)föderatsiooni subjektid eksisteerivad inimeste teadvuses üksteisest lahus ning muutuvad eraldi seisvatena veelgi rohkem nähtavaks, kui majandusprobleemid süvenevad ja ühisinstitutsioonid lakkavad efektiivselt toimimast. Vaikiva enamuse asemel on häälekalt oma positsioone nõudmas 'vähemus', ehk see grupp inimesi, kelle arvates Bosnia-Hertsegovina pole legitiimne riiklik moodustis (Berg, Solvak, 2011).

Taga-Kaukaasia konfliktikolletes tuleb eralduda soovivate üksuste puhul esile märgatav legitiimsusdefitsiit (Berg, Mölder, 2012). Fookusgrupi intervjuud aitasid välja selgitada, et ellujäämisvajadus ja iseseisvusootus on need esmatahtsad elemendid Abhaasia ja Mägi-Karabahhia režiimide legitimeerimisel ka siis, kui demokraatiast ja sooritusest jääb vajaka. Mõlemal asjaosalisel on pikk tee demokratiseerimisel käia, et teenida välja suveräänsus rahvusvahelise ühiskonna silmis. See aga ei tähenda veel seda,

et Gruusia/Aserbaidžaaani territoriaalne õigustatus Abhaasia/Mägi-Karabahhia üle oleks legitiimsem kui nende tärkavate suveräänide õigustatus rahvuslikule enesemääramisele. Eriti veel Rahvusvahelise Kohtu otsuse valguses (2010, juuli), mis ei vaidlustanud Kosovo eraldumiskatse legitiimsust Serbia vastuseisule vaatamata.



Joonis 4.
Standardiseeritud
muutujad: 'sidusus/
turvalisus' ja 'demo
kraatia/sooritus'
(Berg...).

Eeltoodu kokkuvõttena võib esile tuua vajaduse võtta arvesse sisemise legitiimsuse aspekte jagatud ühiskondades/lõhestatud riikides. Legitiimsus on tihedalt seotud etniliste gruppide ja institutsioonide vahelise usaldusega, eeldades seda, et leppimine ja riikluse ülesehitamine tulevikus sõltub inimeste usaldusest varasemasse režiimi sooritusse. Samal ajal ei tuleks mittelegitiimsete režiimide iseseisvustootlusi käsitleda automaatselt õigustama-

tutena, samuti nagu legitiimsete režiimide taasühinemistaotlused ei pruugi ilmtingimata olla inimeste silmis õigustatud. Kui nii, siis legitiimsuskriteeriumil oleks rohkem kaasa rääkida konflikti ohjamises võrreldes tavapärase võimujagamise skeemidega.

MIDA ON KOSOVO ÕPPETUNNIST ÕPPIDA?

Kosovo iseseisvusdeklaratsioon (17. veebruar 2008) ja sellele järgnenud reaktsioonid tekitasid 'uue' võimalusteakna 'peremees-riikidest' eralduda soovijatele. Kosovost sai ühtedele kurjakuulutatav, teistele jällegi paljulubav eeskuju. Paljude arvates loodi selle praktikaga pretsedent, mis toob kaasa rahvaste enesemääramisõiguse ja riikide absoluutse ja võõrandamatu suveräänsuse ümbersõnastamise. Eraldi väärib arutelu teema, kas Kosovo pretsedent iseenesest ühes *de facto* riikide sisemise legitiimsuse näitajatega võimaldab tänastel anomaalialtel leida paremini oma koht rahvusvahelises ühiskonnas.

Rahvusvaheline ühiskond jätkab senist üldlevinud praktikat, mille tulemusena iseseisva riikluse tunnustust jagub valikuliselt ja väga vähestele. Kosovo juhtumi unikaalseks (*sui generis*) kuulutamine ei lahenda igikestvaid vastuolusid rahvaste enesemääramisõiguse ja riikide territoriaalse terviklikkuse nõude vahel. Rahvusvaheline õigus jätab rohkelt võimalusi tõlgendusvabaduseks ning poliitiliste huvide domineerimiseks. Selle normatiivsed juhised aitavad pigem (taas)toota luhtunud riike kui et näitavad 'rohelist tuld' eraldumiskatsetele. Eraldujad riskivad sellega, et üksnes soodsate poliitiliste asjaolude kokkulangemisel võib kõne alla tulla ka rahvusvaheline tunnustus.

Genotsiidijärgne heastav (*remedial*) lähenemine ja väärtuspõhine suveräänsuse väljateenimine (*earning sovereignty*) ei ole universaalsed üldtunnustatud põhimõtted, ning leiavad seetõttu ka valikulist instrumentaalset rakendust. Lääs (siiski mitte kõik ELi liikmesriigid) tunnustab täna Kosovo iseseisvust ja Gruusia territoriaalset terviklikkust. Venemaa seevastu tunnustab Abhaasia ja Lõuna-Osseetia iseseisvust ja Serbia territoriaalset terviklikkust. Nii lääneriigid kui Venemaa on retoorikas ühel meelel – humanitaarinterventsioon on õigustatud juhul kui 'peremees-riigid' ei suuda oma suveräänsuse praktiseerimisest tulenevaid kohustusi täita, kuid praktikas käituvad risti vastupidiselt. Hiina arvates, on aga mõlemad leerid eksiteel ning rahvusvahelise õiguse alustalasid murendamas.

Nii nagu tunnustust ei jagu ühtmoodi kõigile taotlejatele, ei ole ka eralduvad üksused valmis tingimusteta joonduma vastloodud pretsedendi järgi oma võitlustes suurema suveräänsuse nimel (vt tabel 2). Põhja-Küpros nägi Kosovo pretsedendis uut võimalust ühinemisläbirääkimiste alustamiseks võrdsuse põhimõttel. Transnistria üritas veenda rahvusvahelist ühiskonda uues konfliktilahenduse formaadis, mis varasemate pingutuste luhtumise

korral võiks pöörduda ametliku lahutuse vormistamisega. Bosnia serblased said Kosovo näol endale uue malaka, et nuhelda neid, kes jutlustavad Bosnia liitriigi tsentraliseerimise vajadusest ning Daytonis kokkulepitu revideerimises.

Tabel 2

Eralduvate üksuste suveräänsustaotlused Kosovo mõju valguses (Berg, 2009b).

Eralduvad üksused	Eraldamise ajend	Tõuge eraldumisele	Riikluse idee	Kuidas saavutada tunnustus?	Kosovo mõju
Põhja-Küpros	enesekaitse	sundlahutus (Türgi interventsioon)	võrdväärne partnerlus ühisriigis	Rahvusvaheline vahendus-tegevus (ÜRO, EL)	<i>uus</i> tõuge taasühinemise läbirääkimisteks
Transnistria	enesekaitse	NLiidu lagunemine	assotsiatsioon patrooniga	rahvahääletus	<i>uus</i> konfliktilahendamise mudel
Republika Srpska	enesekaitse	nurisünnitus (sõjajärgse Bosnia ühisriigi loomine)	Daytoni rahulepingu-järgse <i>status quo</i> hoidmine	heidutus	<i>uus</i> võimalus koguda poliitilist kapitali ja survestada läbirääkimisi

MILLES SEISNEB ANTUD UURIMUSE PRAKTILINE VÄÄRTUS?

Esiteks, kui rahvusvahelises praktikas järgitaks lisaks juriidilistele normdokumentidele ja päevapoliitilistele valikutele ka empiirilisi asjaolusid, siis oleks uute tähtsate suveräänide rahvusvaheline tunnustamine rohkem sõltuv nende suutlikkusest toimida iseseisva riigina, välistades sel moel võimalused luhtunud riikide sünniks.

Teiseks, kui välistada lõhestatud riikide jõuline taasühendamine, väljastpoolt pealesurutud mittelegitimne võimujagamine konflikti osapoolte vahel ning uute tähtsate suveräänide rahvusvaheline tunnustamine, siis pakub *status quo* kinnistamine ja *de facto* riikide integreerimine rahvusvahelise ühiskonnaga üsna häid võimalusi suhete normaliseerimiseks ja pikemas perspektiivis ka rahu tagamiseks.

Kolmandaks, *de facto* riigid eksisteerivad paratamatult oma välispatroonide eeskoste all. Küll aga võib olla erinev nende enesemääratlemise siht ja sõltuvuse määr, millest omakorda sõltub ja varieerub ka konflikti iseloom ning sellele võimaliku lahenduse otsimine. Rahvuslik enesemääramine omariik-

luse loomise nimel viitab siseriiklikule setsessionistlikule konfliktile. Enesemääramise soovi avaldumine välispatrooniga liitumisel lisab paraku välise mõõtme ning muudab konflikti riikidevaheliseks tüliõunaks. Viimase puhul on ainuüksi mõte võimu jagamisest konfliktsete osapoolte vahel täiesti ebapraktiline soovunelm.

Neljandaks, sisemise legitiimsustaseme võrdlus 'peremees-riikides' ja neist eralduda soovivates üksustes, annab selgema ettekujutuse taasühendamise perspektiivist. Samas tuleks lähtuda asjaolust, et mittelegitiimsete režiimide (paljudel juhtudel eralduda soovivad üksused) iseseisvustootlused ei ole automaatselt õigustamatud, nagu ka see, et legitiimsete režiimide (reeglina 'peremees-riigid') taasühinemispoliitika ei oma inimeste silmis tingimusteta toetust.

Viiendaks, Kosovo kaasusega süvenes konfliktus rahvusvahelise õiguse põhimõistete suhtes ja kahanes rahvusvahelise ühiskonna valmidus olemasolevat õiguslikku raamistikku reformida. Lisaks rahvusvaheliselt tunnustatud riikidele said ka tunnustamata riigid tuult tiibadesse selle kaasuse interpreteerimisel ning oma erahuvide maksmapanemisel. Kosovo kaasust ei tuleks võtta mõõdupuuna rahvusvahelise õiguse muutumises. Selles mõttes on tegemist tõepoolest unikaalse (üks kord juhtuva, olulisi tagajärgi jätmata) juhtumiga.

KIRJANDUS

Berg, E. Merging together or drifting apart? Revisiting political legitimacy issues in Cyprus, Moldova, and Bosnia and Herzegovina. Under review in *Geopolitics*.

Berg, E. 2009a. Compromising with facts, clashing with norms: Revisiting territoriality and sovereignty in Cyprus, Moldova and Bosnia. Diez, T., Tocci, N. (eds.) *Cyprus: A Conflict at the Crossroads*. Manchester University Press, London, 165-179.

Berg, E. 2009b. Re-examining sovereignty claims in changing territorialities: Reflections from 'Kosovo Syndrome'. *Geopolitics*, 14, 2, 219-234.

Berg, E. 2012. Parent states versus secessionist entities: Measuring political legitimacy in Cyprus, Moldova, and Bosnia and Herzegovina. *Europe-Asia Studies*, (ilmumas).

Berg, E., Must, E. 2010. What makes sovereignty a relative concept? An empirical approach to international society. *Political Geography*, 29, 1, 40-49.

Berg, E., Ben-Porat, G. 2008. Introduction: Power-sharing vs. partition. Themed section on partition/conflict resolution. *Nations and Nationalism*, 14, 1, 29-37.

Berg, E., Mölder, M. 2012. Who is entitled to earn sovereignty? Legitimacy and regime support in Abkhazia and Nagorno-Karabakh. *Nations and Nationalism*, 18, 4, (ilmumas).

Berg, E., Solvak, M. 2011. Muted differences: Entrenching legitimacy of the Bosnian statehood? *Cooperation and Conflict*, 46, 4, 460-481.

Berg, E., Toomla, R. 2009. Forms of normalization in the quest for *de facto* statehood. *Int. Spect.*, 44, 4, 27-45.

Kamilova, S., Berg, E. 2012. How can *de facto* state be distinguished from the puppet state? Analysis of Transnistrian-Russian relations and dependences. Kasekamp, A. (ed.) *The Estonian Foreign Policy Yearbook 2011*. The Estonian Foreign Policy Institute, Tallinn, 151-182.

*Teaduspreemia humanitaarteaduste alal uurimuste seeria
“Võim ja arhitektuur. Eesti Vabariigi esindusarhitektuur
1918–1940” eest*



Mart Kalm

Sündinud 3. september 1961 Tallinnas

1979 Tallinna Reaalkool

1984 Tartu Ülikool, kunstiajalugu

1991 kunstiteaduse kandidaat, Üleliiduline Arhitektuuri ja Linnaehituse Ajaloo ja Teooria Instituut (Moskva)

1998 kunstiteaduse doktor, Eesti Kunstiakadeemia

1984–1985 Tallinna 56. Keskkooli ajalooõpetaja

1985–1990 Ehituse TUI arhitektuuriosakonna arhitekt, nooremteadur

1990–1991 Paul Getty stipendiaat (London, Viin, Tallinn)

1991–1992 Eesti Arhitektuurimuuseumi vanemteadur

Alates 1992 Eesti Kunstiakadeemias: vanemõpetaja, dotsent, professor, vanemteadur, aastast 2007 kunstikultuuri teaduskonna dekaan

2010 Eesti Teaduste Akadeemia liige

2002 Eesti Vabariigi Valgetähe IV klassi teenetemärk

Avaldanud üle 70 teaduspublikatsiooni, sh 7 monograafiat. Kahe rahvusvahelise kunstiteaduse- ja arhitektuurialase ajakirja toimetuskolleegiumi liige. Juhendanud 1 doktori- ja 11 magistritööd, hetkel juhendamisel 3 doktoritööd.

VÕIM JA ARHITEKTUUR

EESTI VABARIIGI ESINDUSARHITEKTUUR 1918–1940

Eesti riik sündis suhteliselt tühjale kohale. Tallinn oli olnud vaid kubermangulinn ja seega polnud siin olemas pealinna taristut. Uue riigi toimimiseks vajaliku arhitektuurse keskkonna loomine, olemasolevate hoonete ümbermõtestamises ja -kujundamises või uute ehitamises avaldub ruumiline enesekehtestamine, kogu vaevarikas esindusarhitektuuri diskursuse formeerimine kuni vabariigi hävinguni on olnud käesoleva uurimuste tsükli keskne uurimisprobleem. Kui üldiselt on esindusarhitektuuri diskursus konservatiivne, siis Eestis mitte nii üheselt, sest kõikus üllatuslikult avangardi ja äärmise vana-meelsuse vahel, mis teebki uurimisülesande erakordselt põnevaks.

18. sajandi kubermanguvalitsuse hoone, st Toompea lossi väljakule avanev idatiib oli tsaariajast pea ainus haldushoone, kus võimu asukoha kontinuiteedi alusel jätkas valitsus. Esiialgu paigutati suurem osa kujunevaid riigiasutusi Toompea endistesse aadlipaleedesse, sest Eesti riigi tekkega privileegid kaotanud baltisaksa aadel oli sunnitud müüma oma linnaresidentsid.

Suurimad ettevõtmised olid iseseisvuse joovastusest sündinud rahvusvaheliseltki tähelepanuväärse ekspressionistliku Riigikoguhuone ehitamine Toompea lossi kohe 1920–22. Järgmine suur riigiasutuste püstitamine toimus 1930. aastatel, valdavalt konsolideeruvaal vaikival ajastul, mil ehitati ulatuslikult ümber Toompea loss, Oru loss ja Kadrioru kujundati valitsemiskeskus. Kui Riigikoguhuone ehitamise ajal häbeneti endiste valitsejate ajaloolist arhitektuuri ja taheti luua moodsat eestilikku alternatiivi, siis 1930. aastatel asuti otustavalt ära kasutama ajaloolise stiiliarhitektuuri retoorilist potentsiaali võimu teenistuses.

UURITUSEST JA MEETODIST

Sõdadevahelise Eesti vabariigi esindusarhitektuuri uurimine oli kaua pidurdatud. Seda ühtepidi arusaadavalt poliitilistel põhjustel, teistpidi aga seetõttu, et uuem, XX sajandi arhitektuur jõudis Eestis arhitektuuriajalookirjutuse huvivälja alles hiljuti ja paraku pole jõutud veel paljut uurida. XX sajandi arhitektuurist kirjutamise diskursus tervikuna oli pikalt modernismikeskne (Pevsner, 1936; Giedion, 1941) ja alles 1970. aastatel ilmet võtnud postmodernistlik maailmapilt tõi kaasa avarama arhitektuurikäsitluse, kus leiti koht ka modernistlikust peavoolust kõrvale jäävale arhitektuurile (Frampton, 1980; Curtis, 1982). Nii modernismi kriitika kui ka 1980. aastate poliitiline liberaalseerimine soodustasid avangardile rohkem või vähem vastanduva totalitaarse arhitektuuri uuringuid (Lane, 1968; Kopp, 1978; Borsi, 1987; Monnier, 1990; Åman, 1992; Vigato, 1994; Art and Power, 1996; Les années 30, 1997; Paperny, 2002), mis tänaseks on suhteliselt vaibunud v.a maades, kus oma pärand on mõtestamata (Архитектура..., 2010).

Vaatamata eelöeldule pole Eestis sõdadevahelisest esindusarhitektuurist päris vaikitud. Riigikoguhuone pälvis erialaringkondade tunnustuse kohe (Kompus, 1927; Kühnert, 1926, 1927). Kuna Nõukogude Eesti kasutas sama arhitektuuri edasi, siis paremaks haldamiseks võeti need hooned mälestistena kaitse alla ja modernistlik arhitektuuriajaloolane professor Leo Gens tunnustas neid alati (Gens, 1965, 1969, 1977).

Minu tee eestiaegse esindusarhitektuurini on kulgenud piki mitut rada. Riigikoguhuonega puutusin esmakordselt kokku Tartu Ülikoolis 1984 arhitekt Herbert Johansonist diplomitööd kirjutades. Arhitekt Alar Kotlist kandidaadiväitekirja ja monograafiat kirjutades (Kalm, 1994) tuli läbi töötada Toompea lossi 1935. a ümberehitus ja Kadrioru kantseleihoone (Kalm, 1990). Uusi tahke esindusarhitektuurile lisas tegelemine Eesti Panga hoonetega (Hallas-Murula jt, 2004). Süvenemine on aga sündinud nende hoonete restaureerimisest,

kus restaureerimisarhitekt vajab mälestisel arhitektuuriajaloolisi uuringuid alusandmetena enne projekteerimise asumist. 1990. aastate restauratsiooni õhkonnas tuli korrastada sõjaeelses Eesti Vabariigis loodud esindusarhitektuur kui üks taastatud riigi legitiimsuse tõendus. Muinsuskaitse vaatepunktist oli see väga soodus lähtepunkt, mis hoidis tagasi muidu sageli esinevat põhjendamatu moderniseerimiskirge. Suurim ettevõtmine oli Riigikoguhuone restaureerimine (Kalm, 1998ab), peagi aga järgnes pika perioodi jooksul Kadrioru kantseleihoone korrastamine (Kalm, 2003). Kuivõrd Kadriorus jätkavad Pätsi kabinetis tänase Eesti presidendid, siis nende ümberkorraldusmõtete vaoshoimine on olnud keerulisem. Klassikalise arhitektuuriajaloo seisukohalt on arhitektuuriajalooliste õiendite ja muinsuskaitse eritingimuste koostamine rakendusteadus. Samas on mul hea meel nende oluliste välitööde läbiviimise üle. Osalemine restaureerimisprotsessis on õpetanud nägema enam, tajuma ruumi palju põhjalikumalt, toonud esile tohutult palju materjali, mida arhiivis jooniseid ja dokumente uurides või lihtsalt ruumi vaadeldes ei märka, mistõttu rakendusteadus on aidanud rajada vundamenti süvenenumale akadeemilisele uurimusele.

Arhitektuurist kirjutamisel pean oluliseks ruumi vastastikust seost poliitilise ja majandusliku keskkonnaga. Võim toodab arhitektuuri samavõrd kui arhitektuur taastoodab võimu. Mitte pidades arhitekti traditsioonilise kunstiajaloo võtmes suureks loojaks, tunnistan siiski arhitekti kunstilise intentsiooni olemasolu, mis tekib aga alati ja ainult konkreetsetes kontekstis, vastasmõjudes, kus arhitekt oma konkreetse *habitusega* on teiste tegutsejate partner. Uurijahuvi ulatub tellija majanduslikku kandepinda vähem või rohkem tajuvast ehitusmõttest ehitatu retseptisoonini. Tunnistades stiiliajaloo formaalesteetilist piiratust, pean seda esindusarhitektuuri diskursuse teatud eritluste väljatoomisel siiski kasutusväärseks tööriistaks teiste lähenemiste seas. Ruumi kontseptualiseerimisel pole oluline üksnes selle valmimisjärgne seisund, vaid ka paindlikkus kohanemisel aja jooksul teisevate vajadustega.

TOOMPEA LOSS

DEMOKRAATIA SÜMBOL – RIIGIKOGUHOONE

Parlament oli uue riigi see institutsioon, millele olemasolevast hoonefondist kõige vähem sobivat leidis. Asutav Kogu tuli kokku “Estonias”, suurimas ja moodsaimas, tegelikult ainukeses selge eesti identiteediga saalhoones Tallinnas (Künnapu jt, 1997), kuid riigiasutus ei saanud tööle jääda eraomandis seltsimajja. Kui Lätis kohendati baltisaksa aadli omavalitsuse maja, Liivimaa rüütelkonna hoone, arhitekt Eižens Laube poolt uue seimi tarbeks (Pujäte, 1999), siis Tallinnas paigutati Eestimaa rüütelkonna hoonesse välisministerruum. Parlamendihoone, kui Prantsuse revolutsioonis sündinud demokraatiat representeeriv võrdsete saadikute amfiteatriga hooneliik (*l'Assemblée nationale*) (Kemp, 1994: 208-214), levis 19. sajandil üle Euroopa, kus viimase suurema lainena kerkisid 1920. aastatel Versailles' süsteemiga tekkinud uutes

riikides uued parlamendihooned (Pevsner, 1976: 36), st Tallinna kõrval Helsingis (Nikula, 1990: 73-97; Hakala-Zilliacus, 2002) ja Varssavis (Wierzbicka, 1997).

Tallinnas otsustati ehitada Riigikoguhuone (Kalm, 1998: 55-80; Zobel jt, 2008: 83-125) Toompea lossi südamikku, kunagise ordulinnuse tuumiku moodustanud konvendihoone varemetele. Konvendihoone oli viimase sajandi teeninud vanglana ja 1917. a veebruarirevolutsiooni ajal süütas lossi tunginud rahvas selle põlema. Seejärel aga lagunesid põlenud müürid ilmastiku käes valitsuse akna all. Asutav Kogu võttis vastu otsuse ehitada konvendihoone müüridele uus rahvaesinduse hoone, mis kerkis sinna hämmastavalt ruttu 1920–22. Arvestades toonast sõjajärgset kaost, oli see vaevaline ettevõtmine, nagu värvikalt kirjeldab oma mälestustes arhitekt Edgar Kuusik (2011: 481-485), lisaks püsiv ebapüsiva opositsiooni kriitika. Ühtepidi võib parlamendikomisjonidest ja arhitektuurivõistlusest hoidumine tunduda robustse lähene misena, kuid võib-olla tänu sellele saavutati enamat kui uusklassitsistlik vaevaliste sammaste ja amfiteatriga tüüpiline demokraatia sümbol, mida uuemaid Berni ja Belgradi parlamendihooneid eeskujuks seades oli Jaan Tõnisson lootnud saada (Tõnisson, 1922).

Riigikoguhuone projekteerisid arhitektid Herbert Johanson ja Eugen Habermann. Viimane oli toona siseministeeriumi ehitusvalitsuse juhataja ja sai ülesande just selle ametikoha tõttu. Habermann oli alustanud vahetult enne maailmasõja puhkemist tööd Tallinna linnavalitsuses, kuid valmis maju polnud kummalgi ette näidata. Võib öelda, et Riigikoguhuone projekteerimine usaldati tundmatutele, seni end veel tõestamata arhitektidele ja see oli lihtsalt õnnelik juhus, et riigikogu sattus neile, kellest said järgnevatel aastatel eesti juhtivad arhitektid, tänased suurimad klassikud. Vanemaid ja end juba tõestanud arhitekte sel hetkel eestlaste seas veel õieti polnudki, kui 1910. aastatel alustanud Karl Burman ja Artur Perna välja jätta. Teistpidi oli eesti toonane poliitiline eliit veel nii kitsas ring, et kõik kõrgharidusega eestlased olid võrgustikus teada.

Johanson ja Habermann on tüüpilise *habitusega* eesti esimese põlve arhitektid, nn riialaste põlvkonna alustalad (Kalm, 2001: 67). Nad olid sajandivahe tusel õppinud Tallinna Reaalkoolis ja jätkasid arhitektuuriõpinguid Riia Polütehnilises Instituudis. 1905. a revolutsiooni järel kadusid nad igaks juhuks Riist Saksamaale, kus täiendasid end saksa tippkoolides, Johanson Darmstadtis ja Habermann Dresdenis. See oli aeg, mil Dresdeni arhitektuuriüliõpilaste ringist võrsus ekspressionistlik kunstirühmitus *Die Brücke* ja Darmstadtis kerkis kuulus Joseph Maria Olbrichi *Hochzeitsturm* ning viimaseid päevi veetis juugendit kuulutanud *Künstlerkolonie*. Kui veel juurde arvestada, et Habermann töötas oma professori, tuntud saksa arhitekti Fritz Schumacheri büroos, siis tuleb tunnistada, et nad olid rohkem kui teised eestlastest arhitektuuritendengid kokku puutunud toonase Euroopa tippkultuuri uuendusmeel susega. Riialaste põlvkonnale iseloomulikult pöörduti 1910. a paiku Sak-

samaalt tagasi Riiga kooli lõpetama ja töötati seejärel esimesed aastad sealsete baltisaksa arhitektide juures. Selle põlvkonna suur ülesehitustöö algas pärast Vabadussõja lõppu, kui eri paigust naasnuina Tallinnas tööle asuti.

Õige võtme leidmine Riigikoguhuonele oli antud asukohas paras pätkel saksa ja vene pärandi vahel (Kalm, 2010b). Toompea lossi põhja-, lääne- ja lõunakülg olid siis veel säilitanud keskaegse ordulinnuse ilme, ainult idatiib, kubermanguvalitsuse hoone, mille keskelt oli läbikäik õue uue parlamendi juurde, esindas 18. sajandi klassikalist paleearhitektuuri (arhitekt Johann Schultz). Ei ristirüütlike ordulinnuse rohmakas gootika ega tsaaririigi asehalduri palee hilisbarokk polnud arhitektuur, millele ehitada uus eesti identiteet. Puhta eesti arhitektuurina kogeti toona vaid palkehitud, millega selles kontekstis polnud palju peale hakata. Nii enneolematule institutsioonile, nagu Eesti oma rahvaesindus, oli loogiline valida toonane moodsaim arhitektuur, milleks saksa kultuuriruumis kujunenud arhitektide jaoks oli paratamatult ekspressionism. See oli intelligentne lahendus, sest uus Riigikoguhuone arhitektuur eristas uue eestlaste identiteediga maja vanematest, kuid täpselt niipalju, et siiski sulandus sajandites kujunenud keskkonda.

Kuigi Riigikoguhuone arhitektuuri üldlahenduses domineerib 1920. aastate arhitektuurile iseloomulik karm ja raskepärane traditsionalism (Kalm, 2001: 88-111), on ekspressionistlikud võtted üllatavalt tugevad. Juba algselt terasalli fassaadi karniis koosneb traditsiooniliste võtete asemel tagurpidi mustadest püramiididest, vestibüüli lagi aga moodustub betoonist õõnespüramiididest, millest iga tipus säras 40 W puhas elektrikipn, trepi käsipuid toetavad tavaliste balustrite asemel laiaks litsitud rombide kujulised. Eriti efektne on aga suur istungitesaal, mille seinad on ultramariinsinised, avad roostepruunid ja lagi sidrunkollane. Valgus tuleb varjatud sakmelise karniisi tagant. Sakmemotiivid korduvad nii aknapõskedel kui kummis lae voltides. Ekspressionismi geomeetriselid kubismist mõjutatud moodsad ornamendid ja vormideformatsioonid peegeldasid vahetult I maailmasõja järgset olukorda, kus klassikaline ornament oli end ammandanud, aga modernismi dekoorivaba lagedus polnud veel saabunud (Pehnt, 1973).

Riigikoguhuone sakmemaaailmad lubavad end hõlpsasti tõlgendada parlamendisümbolika vaimus. Vestibüüli lae tipus valgusallikaga õõnespüramiidid hoiavad relevantsetena arhitektuuriloos pika ajalooga kristalli kujundi (Bletter, 1981: 20-43). Õõnsuste ühtlane pilv traditsioonilise hierarhilise kompositsiooni asemel osutab uue ühiskonna saadikute võrdsusele. Rahvasaadikud asuvad seal sotsiaalse püramiidi tipus ja neist peab kiirgama valgust rahvale. Lae kristalliline struktuur hoonet sisse juhatavas osas võib näidata teed selgele ja korrastatud mõtlemisele, mida seadusandjailt oodatakse. Kogu maja sakmetes vastanduvad kaks tahku, mis osutavad, et iga asja tuleb eri külgedest kaaluda. Saali lae voltides võib näha seadusepõllu kündmise metafoori. Avapõskede kujundamine sakmetest soomusjaks pinnaks võib osutada sea-

dustelt nõutavale vettpidavusele või ka kaitsvale olemusele. Kohati ilmneb sakkidest ka välgu motiiv, mis võiks rääkida seaduste vältimatust toimest.

Riigikoguhuone moodne arhitektuur ehmatas nii saadikuid kui avalikkust, kuigi enamasti suudeti tunnistada, et maitseküsimuste üle ei vaielda. Usuti, et varsti on raha rohkem ja siis kaunistatakse imelikult lage maja. Suuresti jäi see tegemata, sest sellisele arhitektuurile oli raske midagi lisada. Mida aeg edasi, seda enam selgus Riigikoguhuone unikaalne olemus, sest ühelgi teisel rahval ekspressionismimõjulist parlamendihoonet pole. Ka Eesti riigile jäi see iseseisvumise ehmatusest sündinud originaalsuse puhang nii esimeseks kui viimaseks.

TOOMPEA LOSSI KUJUNDAMINE MOODSAKS VALITSEMISKESKUSEKS

Toompea lossi moderniseerimine kasvava riigiaparaadi mahutamiseks aktuaalseerus juba 1920. aastate lõpul. Nii nagu 1930. aastate I pool oli heitlik riigi juhtimises, nii ei saanud ka lühiaegsete valitsuste all enamik ehitusmõtteid teoks.

Aastast 1921 olid riigivanemad elanud Toompeal väheldases aadlipalees Lossi plats 7 (Kompus, 1928; Maiste, Oolup, 1995), kuid vahepeal 1931–32 seati siin paariks aastaks, kuni valmis Kadrioru loss, sisse ametikorter. Selleks kasutati endise kuberneriga korteri anfilaadi peakorrusel valgest saalist põhjas. Korter sisustati antiikmööbliga ja sinna kolis riigivanem Karl Einbund (hilisem Kaarel Eenpalu).

Pärast presidentsiaalse Kadrioru väljaehitamist seati 1938 Toompea lossi anfilaadi sisse peaministri ametikorter, kuhu asus Kaarel Eenpalu (Zobel jt, 2008: 131-132). Selleks valmis lossiga kontrastselt moodne mööbel Pärnu linnaarhitekti Olev Siinmaa kavandite järgi (Kalm, 2012: 248-253). Sellesse kuulunud salongi garnituur on tänaseni alles ja asub algse asukoha suhtes kõrvalruumis, Riigikogu esimehe kabinetis.

1935. aastal ehitati Toompea lossi lõunatiib välja siseministeriumiks (A. Kotli) (Zobel jt, 2008: 146-156). Vaid meeletult sügavad aknaorvad interjööris reedavad, et tegu on kunagise kindlusmüüri, sest kogu uus arhitektuur lähtub neobarokselt 1767-73 kubermanguvalituse hooneks ümberehitatud baroksest lossi idatiivast. Paleestamine osutab, millise suuna oli võtnud eesti riiklik esindusarhitektuur. Sellega tuli kaasa ka uue lõunafassaadi esine ühte pinda seatud haljasala, mida poliitilistel põhjustel hakati nüüd Kuberneriga aia asemel Lossiaiaks kutsuma. Haljaku tugimüüri kujundas Kotli linnuse lääneseina laadi jätkates. Edelanurgale kujundas ta kaitsearhitektuuri loogikat tõlgendava tornja mahu, kuhu istutas sisse rahvuslikule tõlgendamisele kutsuma tamme, mis seal küll kaua vastu ei pidanud. Seega pikenesid 1935. a rekonstruktsiooni käigus eri kõrgustel mõlemad varasema arhitektuuri teemad.

1935–36 kujundati uuesti Toompea lossi Valge saal, kus valitsus istungeid pidas (Zobel jt, 2008: 132-146). Johann Schultzi kõrgetasemeline stukist trofeekimpudega varaklassitsistlik kujundus (1773) asendati Johann Ostrati ja

Artur Perna toretsevalt historitsistliku kujundusega, kus laes on vägevat stukki ja ripuvad tšehhi kristalllühtrid, seinu katavad kunstmarmorist paneelid vaheldumisi puistega. Uus eeldatavalt oma identiteediga kujundus ei ole vanast-võõrast eestilikum, sest palee kontekstis puuduvad eestilikud jooned. Tegu on üsna eklektilise stiilide seguga, lihtsameelselt abstraktse pseudoajaloolisusega, mis vastas ajalooliste kõrgklassideta rahva ettekujutusele võimust ja rikkusest (Kalm, 2002). Ei ole selge, miks tugevamate arhitektide (Karl Burmani, Erich Jacoby, Konstantin Bölow ja Eugen Benardi, Alar Kotli) enamasti küll sama eklektilised kavandid kõrvale heideti, kuid on mõistetav, et puudus lugu, mida klassikaliste vahenditega jutustada.

1930. aastate lõpus tegeleti ka Lossi platsi ja kogu Toompea ümberkujundamisega, kuid neid ehitusmõtteid ei jõutud teostada.

ORU LOSS

Pätsi aja ajalooliste stiilide lembust näitab kõige ilmekamalt riigivanema suveresidentsi sisseseadmine Oru lossi Toilas (Kalm, 2010a: 375). Peterburi suurkaupmehe G. Jelissejevi 1898 valminud itaaliapärase historitsistliku luksusvilla (arhitekt Gavril Baranovsky) ostsid Eesti tööstusringkonnad revolutsiooni järel Pariisi pagenu omanikult ja kinkisid 1935 riigile. Lossi asukoht jõeoru kohal kõrgel pangal vaatega merele on Eestimaa kohta erakordselt maaliline. Vähetähtis pole ka see, et kaupmehevilla ei seostunud baltisakslaste rüütlimõisatega, mis eestlastes oleks valulisi reaktsioone tekitanud. Kindlasti oleks samaks otstarbeks leidunud ka ehtsates ajaloolistes stiilides vanemaid mõisahooneid, mida toonane haritud maitse pidas oluliselt väärtuslikumaks, kuid majanduslik ja poliitiline eliit ei osanud vahet teha ja Oru neorenessansi külluslikkus tundus nii ahvatlev. Kuigi Poolas ehitati arhitekt Adolf Szyszko-Bohuszi poolt 1929-31 suveresidentsiks uus funktsionalistlik loss (Zamek, 2005), oli maailmasõja järel elulaadi demokratiseerudes jõude endiste suurnike arhitektuuri kõikjal võtta ja näiteks Lätis seati Ulmanisele suveresidentsiks Oruga samaaegne õllepruuli von Büngneri villa Dauderi (arh Friedrich Seuberlich) ning Soomes muudeti Naantali lähedane kindluslik Kordelini villa (arh Lars Sonck) riiklikuks Kultarantaks.

Suhteliselt uus ja korras maja oli saadud koos neostiilse sisustusega, nii et juurde tekitatud eestipärased kujundused pidid koha sisse võtma keldri-korrusel. Olev Siinmaa lisas sealsesse eesti tuppa laetalad, peeruhoidjaid meenutavad küünlajalad ja Voldemar Melliku modelleeritud keraamiliste atlantidega suurekaarelise kamina ning talupojamööbli, mis kokku loovad rohkem *bierstube* meeolelu (Kalm, 2012: 224-234). Eestimaa ilu tuli nautida uutel paeterrassidel. Mondäänse ja rahvusliku tasakaalu tagasid kaktuste kollektsooniga kasvuhoone ja pangalt laskuv kodumaiste rannataimedega kivik-aita. 1939 valmisid lossikompleksi peasissepääsuna nn karuvärvad, kus värvapostide otsa paigutati skulptor Herman Halliste raiutud laternaid hoidvad graniitkarud.

Oru lossi juurde ehitatud uued arhitekt Roman Koolmari kavandatud abihooned olid hierarhia madalama astmena üsnagi moodsad, mereäärne vannimaja päris funktsionalistlik. Ohvitseride elamu pakkus klassikalise kompromissi: soliidset kõrge kivikatusega heledal majal olid modernistliku supelarihitektuuri laiad, osalt lintigi moodustavad aknad ja hoogsalt kaarduv veranda koos õhuliselt reelingpiirdeliste rõdudega. Kui Oru lossikompleks hävis sõjas, siis sealsete uusehitistega sarnane riiklik esindusarhitektuur on säilinud Välisministeeriumi Keila-Joa suvilates, mida alates 1935 kavandas samuti arhitekt Koolmar. Riikliku propagandana paigutati külalistele Eestist positiivse kuvandi loomiseks vabalt mereäärsesse männikusse kõrge katusega, kuid laiaknalised ja rõduküllased majad.

KADRIORG

LOSS

Eesti aja algul anti Peeter I rajatud, kuid pärast tsaaririigi kokkuvarisemist peremeheta jäänud Kadrioru loss (arh Nicola Michetti, 1718–25) kujuneva Tallinna muuseumi käsutusse (Kuuskemaa jt, 2010). Ent Rootsi kuninga Gustav V 1929. a riigivisiidi eel tõsteti Eesti Kunstimuuseum sealt välja ja ajutiselt sisustati loss absolutistlikul Prantsusmaal kujunenud reeglite kohaselt nii, et peasaalist ühele poole jäävas osas elab lossi peremees ja teine pool kuulub kuningale, kui ta peaks tavatsema oma vasalli väisata. Ehkki sajandeid tagasi oli Eesti kuulunud ka Rootsi kroonile, polnud riigivanem Rootsi kuninga vasall, kuid kompleksides noor vabariik ei teadnud paremat lahendust. Kunstimuuseumi väljatõstmine võib tunduda brutaalne akt, kuid eesti kunsti oli toona veel palju vähem ja uue muuseumihoonega tegeleti 1930. aastatel usinasti (Gens, 1988) ning Kadrioru loss tundus oma tsaarlikus päritolus väarikaim kuningliku külalise jaoks.

Kadrioru loss jäetigi riigi kätte ja järgmistel aastatel püüti renoveerida suvelossi (Kuuskemaa, 1991), mida ehitamisest saati polnud põhjalikult korrastatud. Eriti keeruline oli suure saali lae restaureerimine. Osa ümber- ja pealeehitamise plaanidest õnnestus avalikkusel tagasi tõrjuda, kuid 1933 lisati lossi tagaküljele Aleksandr Wladovsky projekti järgi söögisaal (Kalm, Saar, 2010). Siiski oli selge, et anfilaadse ruumistruktuuriga paleesse on bürooruume päris raske sisse seada ja saavutades autoritaarse võimu, hakkas Päts taotlema Kadrioru valitsemiskeskuse väljaehitamist.

KANTSELEIHOONE

Peamine ettevõtmine oli teljeliselt lossi taha, barokset Miraaži tiiki likvideerides kerkinud neobarokne Presidendi kantselei hoone, mida kustuti ka Administratiivhooneks (arh A. Kotli, 1937-38). Maja pidi väljendama 1938. a uue konstitutsiooniga tekkinud presidendi institutsiooni, millele osutab ka koosolekusaali Richard Wunderlichi kavandatud suure laua intarsia “Anno Domini 1938” (taastatud). Seega nägi Eesti riigi ilus valitsemine välja nii, et

Kadrioru lossis elav president läheb läbi klassikalises stiilis iluaia, kus võib-olla nuusutab tee peal uut Berliinis aretatud lõheroosat roosisorti “Staatspräsident Konstantin Päts”, tööle ajalooühinguliselt dekoreeritud, kuid sisuliselt moodsasse kantseleihoonesse, kus asuvad ka tema lähemate abiliste ametikorterid. Modernsusele viitasid esimese korruse Nokia kummiplaadist põrandad ja koosolekusaali Saksamaalt ostetud Eesti esimene sundventilatsioon. Võimu pidid demonstreerima peaukse ees Voldemar Melliku pronksi valatud riigivapi leopardid (hävinud), mis ühtepidi olid küll väga üldlevinud sümbolid, teistpidi aga lõpuks ometi midagi konkreetselt Eesti riigiga seotut. 18. sajandi prantsuse jt kõrgstiilide ühinguühendustes interjöörides on jutustus Eestist kõige paremini sisse põimitud koosolekusaali, kus Günther Reindorffi intarsias uksepealsed tutvustavad rahva elatusalasid ja presidendi seljataha mõeldi riigi- ja maakonnavappidega vaip. Külgseinale aga plaaniti kududa Arne Mõtuse võidukavandi järgi suur piltvaip, mis kujutas muistseid Eesti vanemaid viikingite saadikuga lepingut sõlmimas. Ehkki oda üleandmise tseremoonia oli fiktiivne, rääkis see äsja ilmunud professor Jüri Uluotsa kontseptsioonide vaimus muinasaja lõpu tsiviliseeritud eestlastest, kes ilma riigitagi käituvad sõdimise asemel diplomaatiat edendades. See oli maksimaalne suure ajaloo heroilisus, mida talurahva minevikust välja imeda suudeti.

LOSSIPARK JA RAHVAPARK

Ilusa kodumaa näidise ideed teenis Kadrioru pargi rekonstrueerimise pretse-denditu ulatus. Barokkpargi taastamise asemel oli eesmärk luua rahvuslike sugemetega rahvaparki (Tamm, 2003: 70-74). Berliinist Ludwig Späthi aiaäärast tellitud projektid töötati pargi entusiastliku direktori, Konstantini venna Peeter Pätsi juhtimisel kohalike jõudude poolt ümber. Luigetiigi kõrvale rajati 1936 Albert Undriste kavandi järgi eesti vöökirja mustriga suvelillede peenrad. Toonaste ideede eklektilisust näitab asjaolu, et Kotli kavandatud kõlakojade (1937, lammutatud) juurde kujundati nii kodumaistest taimedest kiviktaimla kui püstitati Alatskivi mõisast toodud Belvedere Apollo malmkoopia. Omaette sektsiooni moodustas ujulatega Lastepark (ka Noortepark, paviljon Villem Seidra), mis toob paratamatult meelde suurte juhtide kombe käia laste päid silitamas. 1939 hakati tõsiselt plaanima vabariigi 25. aastapäevaks 1943. aastal Kadriorus suurt iluaiandusnäitust koos selleks püstitatavate näidishädalalõpumajade, näidistalu, loomaia ja muuga, mis kokku moodustanuks õitsva Eestimaa metafoori.

KIRJANDUS

Åman, A. (1992). Architecture and Ideology in Eastern Europe during the Stalin Era. An Aspect of Cold War History. The Architectural History Foundation, New York; The MIT Press, Cambridge, Mass., London.

Art and Power. Europe under the Dictators 1930-45 (1996). Thames and Hudson, London.

Bletter, R. H. (1981). The interpretation of the glass dream – expressionist architecture and the history of the crystal metaphor. *J. Soc. Architect. Hist.*, 40, 1, 20-43.

Borsi, F. (1987). *The Monumental Era. European Architecture and Design 1929-39*. Rizzoli, New York.

Curtis, W. jr. (1982). *Modern Architecture Since 1900*. Phaidon, London, New York.

Frampton, K. (1980, 2011). *Moodne arhitektuur. Kriitiline ajalugu*. Eesti Kunstiakadeemia, Tallinn.

Gens, L. (1965). *Eesti arhitektuuri ajalugu*. Peatoim. H. Arman. Eesti Raamat, Tallinn, 433-458.

Gens, L. (1969). *Tallinna ajalugu*. Koost. R. Pullat. Eesti Raamat, Tallinn, 235-245.

Gens, L. (1977). *Eesti kunsti ajalugu, 1kd, II*. Peatoim. I. Solomõkova. Kunst, Tallinn, 281-292.

Gens, L. (1988). *Eesti Kunstimuseumi hoone projekteerimise ajaloost*. Kogude Teatmik. Artiklid 1986. Eesti Kunstimuseum, Tallinn, 16-27.

Giedion, S. (1941). *Space, Time & Architecture: the Growth of a New Tradition*. Harvard University Press.

Hakala-Zilliacus, L.-M. (2002). *Suomen Eduskuntatalo. Kokonaistaideteos, Itsenäisyysmonumentti ja Kansallisen Sovinnon Representaatio*. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki.

Hallas-Murula, K., Kalm, M., Karmo, M. (2004). *Eesti Panga ajaloolised hooned = Historic Buildings of Eesti Pank*. Eesti Pank, Tallinn.

Kalm, M. (1990). *Presidendi kantselei interjöörid*. *Kunst ja kodu*, 59/90, 25-31.

Kalm, M. (1994). *Arhitekt Alar Kotli. Monograafia*. Kunst, Tallinn.

Kalm, M. (1998a). *Riigikoguhuone kui arhitektuuriteos*. *Riigikogu. Riigikogu kantselei & Rahvusraamatukogu*, Tallinn, 55-80.

Kalm, M. (1998b). *Restauro della Sala del Parlamento. Restoration of the Parliamentary Hall*, Tallinn. *Domus*, 810, 66-71.

Kalm, M. (2001). *Eesti 20. sajandi arhitektuur*. Sild, Tallinn.

Kalm, M. (2002). *To national identity from invented historic architecture: an aspect of the state architecture of the Estonian Republic 1918-1940*. *Centropa. J. of Central European Architecture and Related Arts*, 2, 3, 212-220.

- Kalm, M. (2003). Pätsi pärand Kadriorus. Presidendi kantselei interjööride rekonstruktsioon. *Maja*, 1, 36, 71-75.
- Kalm, M. (2010a). Pätsi ilusa Eesti ehitamine. Eesti kunsti ajalugu 5. kd. 1900-1940. Koost. M. Kalm. Eesti Kunstiakadeemia, Tallinn, 369-389.
- Kalm, M. (2010b). Der estnische Weg zwischen dem deutschen und dem russischen Erbe. Zur Architektur des Parlamentsgebäudes auf dem Domberg in Tallinn. Aufbruch und Krise. Das östliche Europa und die Deutschen nach dem Ersten Weltkrieg. Hrg-s B. Störckuhl, J. Stüben, T. Weger. Oldenbourg, München, 631-645. (Schriften des Bundesinstituts für Kultur und Geschichte der Deutschen nach dem Ersten Weltkrieg; 41).
- Kalm, M. (2012). Rannalinn, seenrõdu ja viinakapp. Pärnu linnaarhitekt Olev Siinmaa. Eesti Arhitektuurimuuseum, Eesti Kunstiakadeemia, Tallinn.
- Kalm, M., Saar, J. (2010). Akademismi viimased kantsid. Amandus Adamson ja Aleksandr Wladovsky. Eesti kunsti ajalugu 5. kd. 1900-1940. Koost. M. Kalm. Eesti Kunstiakadeemia, Tallinn, 83-94.
- Kemp, W. (1994). The theater of Revolution: a new interpretation of Jacques-Louis David's Tennis Court Oath. Bryson, N., Holly, M. A., Moxey, K. (eds.) *Visual Culture. Images and Interpretations*. Wesleyan University Press, 208-214.
- Kompus, H. (1927). Eesti ehituskunsti teed. Eesti kunsti aastaraamat II 1926. Eesti Kultuurkapitaali Kujutavate Kunstide Sihtkapitaali väljaanne, 47-58.
- Kompus, H. 1928. Riigivanema kodu. *Taie*, 1, 24-35.
- Kopp, A. (1978, 1985). *L'architecture de la période stalinienne*. Presses universitaires de Grenoble et École nationale supérieure des Beaux-Arts, Grenoble.
- Kuusik, E.-J. (2011). Mälestusi ja mõtisklusi I-V. Eesti Päevaleht, Akadeemia, Tallinn.
- Kuuskemaa, J. (1991). Kadrioru lossi kohandamine Eesti Vabariigi esindushooneks. *Kogude Teatmik*. Artiklid 1989. Eesti Kunstimuuseum, Tallinn, 28-39.
- Kuuskemaa, J., Murre, A., Kalm, M., Polli, K. (2010). Kadriorg. Lossi lugu = Palace's story. Eesti Kunstimuuseum, Kadrioru Kunstimuuseum, Tallinn.
- Kühnert, E. (1926). Der Neubau für die estländische Staatsversammlung im Schloß zu Reval. *Deutsche Bauzeitung*. 60. Jahrgang, 51 vom 26, 6, 417-424.
- Kühnert, E. (1927). Riigikogu hoone uusehis Tallinna Toompää lossis. Eesti kunsti aastaraamat II 1926. Eesti Kultuurkapitaali Kujutavate Kunstide Sihtkapitaali väljaanne, 93-105.
- Künnapu, L., Maiste, J., Põldmäe, M. (1997). *Estonia Teater = Teatteri = Theatre*. Estonia Edita, Helsinki.

- Lane, B. M. (1968). *Architecture and Politics in Germany, 1918-1945*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Les années 30. L'architecture et les arts de l'espace entre industrie et nostalgie. (1997). Sous la direction de J.-L. Cohen. Éditions du patrimoine, Paris.
- Maiste, J., Oolup, U. (1995). *Ein Haus auf dem Domberg: die Residenz des deutschen Botschafters in Estland*. Tallinn.
- Monnier, G. (1990). *Histoire critique de l'architecture moderne en France 1918-1950. Architecture, culture, modernité*. Philippe Sers, Paris.
- Nikula, R. (1990). *J. S. Sirénin eduskuntatalo*. Suomen eduskunta. Helsinki, 73-97.
- Paperny, V. (2002). *Architecture in the Age of Stalin. Culture Two*. Cambridge University Press.
- Pehnt, W. (1973). *Expressionist Architecture*. Praeger, New York etc.
- Pevsner, N. (2007). *Kaasaegse disaini pioneerid William Morrisest Walter Gropiuseni*. Eesti Kunstiakadeemia, Tallinn.
- Pevsner, N. (1936, 1976). *A History of Building Types*. Thames & Hudson, London.
- Pujāte, I. (1999). *The Saeima building and its halls. Saeimas Nams. The House of the Latvian Parliament. Chancellery of the Republic of Latvia Saeima*, Rīga, 10-55.
- Zamek Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej w Wiśle = The Castle of the Polish President in Wisla*. (2005). Ed. J. Purchla. Krakow.
- Zobel, R., Maiste, J., Kalm, M. (2008). *Toompea loss. Riigikogu kantselei*, Tallinn.
- Tammet, T. (2003). *Eesti pargi- ja aiaarhitektuur 1920.-30. aastatel*. Tallinn. (Eesti Kunstiakadeemia Toimetised; 11).
- Tõnisson, J. (1922). *Riigikogu-hoone avamise puhul*. Postimees, 10. sept.
- Vigato, J.-C. (1994). *L'Architecture régionaliste. France 1890-1950*. Norma, Paris.
- Wierzbicka, B. (1997). *The Sejm and the Senate. Architecture and Interiors. Chancellery of the Sejm*, Warsaw.
- Архитектура сталинской эпохи. Опыт исторического осмысления*. (2010). Сост. Ю. Л. Косенкова. КомКнига, Москва.

RIIGI TEADUSPREEMIADE KOMISJONI KOOSSEIS

Kinnitatud Vabariigi Valitsuse korraldusega 31.12.2010 nr 516

ESIMEES

Richard Villems akadeemik, Eesti Teaduste Akadeemia president

LIIKMED

Magnus Ilmjärv	Tallinna Ülikooli vanemteadur
Ülle Jaakma	Eesti Maaülikooli professor
Jaak Järv	akadeemik, Tartu Ülikooli professor
Ülo Langel	Stockholmi Ülikooli professor
Irja Lutsar	Tartu Ülikooli professor
Ergo Nõmmiste	Tartu Ülikooli professor
Tiiu Paas	Tartu Ülikooli professor
Anu Realo	Tartu Ülikooli vanemteadur
Martin Zobel	akadeemik, Tartu Ülikooli professor
Tõnis Timmusk	Tallinna Tehnikaülikooli professor
Enn Tõugu	akadeemik, Tallinna Tehnikaülikooli juhtivteadur
Rein Vaikmäe	Tallinna Tehnikaülikooli professor
Urmas Varblane	akadeemik, Tartu Ülikooli professor
Andres Öpik	Tallinna Tehnikaülikooli professor

EESTI VABARIIGI
TEADUSPREEMIAD

2012

TALLINN, 2012