

SCHOLA BIOTHEORETICA XLVI

SCHOLA GEOLOGICA XVI

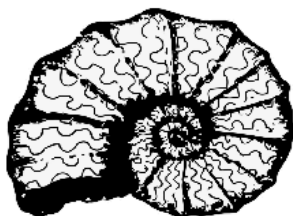
*TIHEDALT KOOSELAMISE TEOORLA*

*2020*



EESTI LOODUSEUURIJATE SELTS

*SCHOLA BIOTHEORETICA ET  
GEOLOGICA XLVI/XVI*



# Tihedalt kooselamise teooria

TARTU 2020

SCHOLA BIOTHEORETICA XLVI

SCHOLA GEOLOGICA XVI

*Living densely together*

2020

Toimetajad: *Lauri Laanisto, Raul Markus Vaiksoo, Kairi Põldsaar, Oive Tinn, Kalevi Kull*

Keeletoimetaja: *Silvia Sökk*

Kaanepilt ja kaanekujundus: *Vahram Muradyan*

Vinjetid pärinevad keskaegsetest käsikirjadest

Tiitellehe ja Kohtumiste vinjett: *Evelyn Grzinich*

Küljendus: *Lauri Laanisto*

Autoriõigused: *autorid, toimetajad, Eesti Looduseuurijate Selts*

ISSN: Schola Biotheoretica 1736-4167

ISSN: Schola Geologica 1736-3241

Trükkinud *Sulemees*



# Sisukord

Saateks .....	9
<i>Martin Liira</i> – Kogu aeg tihedasti koos ümber oma väikse mere .....	13
<i>Marko Mägi</i> – Linnastumisega kaasnev asustustiheduse mõju lindudele .....	17
<i>Tanel Vahter</i> – Riigipööre mullaökosüsteemis .....	23
<i>Kalevi Kull</i> – Elus keha .....	33
<i>Oive Tinn</i> – Pioneeride esimestest jälgedest sügavusse kaevunud elukorruste ja jäljeldideni .....	65
<i>Sirgi Saar</i> – Inimtekkeline ülerahvastatus ja üksluisus taime- maailmas .....	71
<i>Tõnu Viik</i> – Tähed tihedalt koos kerasperves .....	81
<i>Kaarel Orviku</i> – Kuidas elada harmoonilises kooskõlas ranniku- loodusega. Tähelepanekuid Eesti liivarandade hingeelust .....	93
<i>Päärn Paiste</i> – Antropotseen ja tihedalt kooselamise roll .....	115
<i>Erik Puura</i> – Ajaloolise peolaua otsinguil ehk teadlase unenägu ...	123
<i>Peeter Laurits</i> et al. – Flora! (sünopsis) .....	127
<i>Kalevi Kull ja Raul Markus Vaiksoo</i> – Bioloogia klassika tõlked eesti keelde .....	131
Kohtumisi .....	147
<i>Viktor Masing</i> – Alexander von Humboldt Tartus .....	149
<i>Toomas Tiivel</i> – Koos suurtega, meenutusi .....	157
<i>Kalevi Kull</i> – Õpetaja ja sõbra Tõnu Mölsiga .....	167
Table of Contents .....	179

# Kava

## **25. september – reede**

Lahkumine Tartust Vanemuise alumisest parklast kell 13.00

Lahkumine Tallinna Taltech'i peahoone eest parklast 13.30

14.45-15.15 Kohastumine ja settimine

15.15-15.45 Avaturgutus

16.00-21.00 I Sessioon: elus ja eluta

16.00-16.15 – avasõnad

16.15-16.45 – Oive Tinn

16.45-17.30 – Kalevi Kull

17.30-18.00 – Alan Tkaczyk

18.00-18.45 – Erik Puura

19.00-20.00 Õhtusöök

20.00-... – Peeter Laurits ja Andres Lõo

## **26. september – laupäev**

7.00-8.00 – Silmadlahtikäik

8.30-9.30 – Hommikusöök

09.30-10.30 II Sessioon: märg ja soolane

09.30-10.00 – Martin Liira

10.00-10.30 – Kaarel Mänd

10.30-11.00 Vaheturgutus

11.00-12.30 III Sessioon: linn ja loodus

11.00-11.30 – Marko Mägi

11.30-12.00 – Veljo Runnel

12.00-12.30 – Tanel Vahter

12.30-13.15 Lõuna

13.30-17.00 Väljasõit ja Moritz von Engelhardti kivi avamine Viisus

17.15-18.45 IV Sessioon: areng ja kujunemine

17.15-18.00 – Peeter Hõrak

18.00-18.30 – Mihkel Kunnus

18.30-19.15 – Kalle Kirsimäe

19.30-20.30 Õhtusöök

20.30 –... Tõnu Viik

## **27. september – pühapäev**

7.00-8.00 – Silmadlahtikäik

8.30-9.30 – Hommikusöök

9.30-12.00 V Sessioon: ajad ja kombed

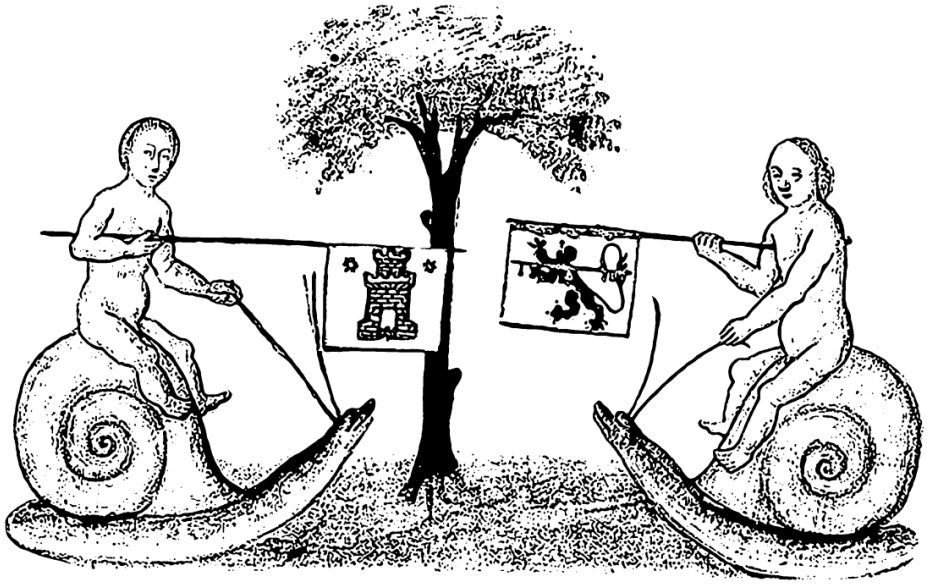
09.30-10.15 – Päärn Paiste

10.15-11.00 – Peeter Talviste

11.00-11.30 – arutelu ja lõppsõnad

12.00-13.00 Lõpulõuna

13.30 Naasmine (bussid Tartu ja Tallinna suunas)



# Saateks

---

Elureeglid on eranditega. Teoreetilise bioloogia 46. kevadkooli, mis oli kavandatud toimuma 2020. aasta aprilli lõpus, ei olnud üleriigilise karantiini tõttu luba kevadel pidada, ja nii lükkus see erandina sügisesse. Sügisesel ajal pidi peetama ka geoloogia 16. sügiskool. Selle korraldajad panid ette seekord, erandina, teha need kaks kooli koos.

Geoloogial ja bioloogial on tõepoolest loomulik ühisosa. Õpetus surnud organismide jäänustest ja elust kaugemas minevikus – paleontoloogia, peaks olema ehe bioloogia osa, ent kuulub traditsiooniliselt geoloogia alla. Stratigraafia, õpetus maakoore kihtidest ja geoloogilistest perioodidest – ehe geoloogia haru, teeb kõik peamised eristused organismirühmade alusel, mis ühes või teises kihis või perioodil elanud, s.o siis bioloogia põhjal. Elu evolutsiooni õpetus – puhas bioloogia valdkond, on võimetu ilma geoloogide tööta.

Nii ka Eestis. Üks varasemaid – Darwini-eelseid – evolutsiooniõpetuse alaseid töid, mis Eestimaa teadlase kirjutatud, on geoloog Alexander Keyserlingilt.\* Või seegi, et looduskaitse, mis justkui bioloogide põhjendada, sai Eestis käima lükatud geologi, Gregor Helmerseni poolt. Bioloogide kevadkooli ja geoloogide sügiskooli on aga hulk aastaid sidunud kaks paleontoloogi – Ivar Puura ja Oive Tinn. Viimati

---

\* Keyserling, Alexander von 1853. Note sur la succession des êtres organisés. *Bulletin de la Societe geologique de France*, 2. ser., 10: 355–358.

ka geoloog Rein Einasto – ökoloogia, ja Lauri Laanisto paleo-  
füsioloogia kaudu.

Käesoleva *Schola* teema – tihedalt kooselamise teooria –  
sai kevadkooli korraldajate poolt välja mõeldud juba 2019.  
aasta sees. Vahetult enne, kui koos elamise tihedusest sai kõiki  
uudiskünniseid igapäevaselt ületav teema. Geoloogidki  
pidasid seda teemat vastuvõetavaks. Siin kogumikus ongi nad  
segiläbi ilma *bio* ja *geo* vahele piiri panemata.

Praegusaegsed looduslikud kooslused tunduvad oma  
tiheduse poolest ammugi väga püsivas tasakaalus. Ent kui  
ammu – geoloogilises ajamastaabis – on selline elukoosluste  
tihedus saavutatud? Kas on sellest olnud suuremaid kõrvale-  
kaldeid? Üksikute liikide puhul on asustustihedus ometi väga  
suuresti võinud kõikuda. Inimtiheduse kasv Antropotseenis ja  
selle praegune katastroofiline määr teeb meie teema koguni  
aktuaalseks. Muidugi on elul ka lahendusi. Tihedam kooselu  
sünnitab keerukamaid suhtestruktuure, loob linnu, muudab  
morfoloogiat. Kõige tihedamalt on elu koos organismide kehas.  
Kui suur saab see päristihe elu olla? Need ja teised probleemid  
on ses koolis arutluse all.

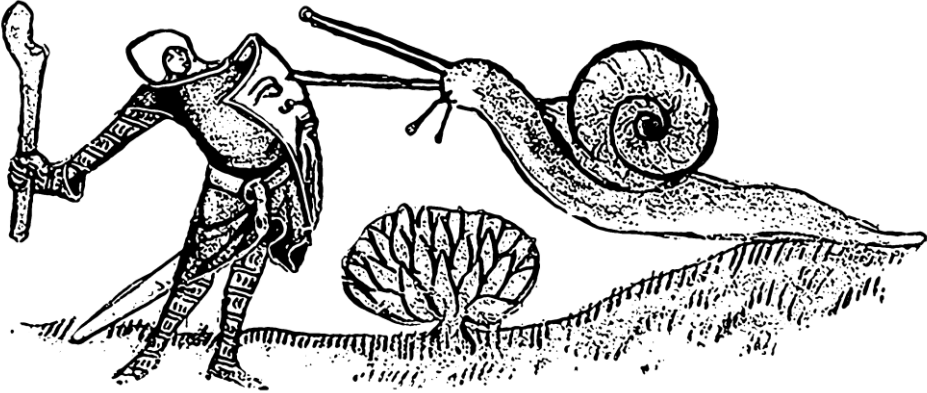
Meie kogumik, mis, nagu ikka, koolis suuliselt  
peetavate ettekannetega vaid osaliselt kattub, sisaldab peale  
teaduslike arutluste ka kunsti ja teaduse ajalugu. Nagu ikka.  
Lisandunud on uus, ja loodetavasti püsijääv rubriik „Kohtu-  
misi“, kus meenutatakse ja kirjeldatakse Eesti teaduse ja eesti  
teadlaste kokkupuuteid maailma (loodus)teaduse suurkuju-  
dega. Käesolevast kogumikust leiab ajalooliste allikate põhjal  
valminud kirjelduse sellest, kuidas Alexander von Humboldt  
Tartus käis (Viktor Masingu poolt kirja panduna), ja Tom  
Tiiveli meenutusi kohtumistest Lynn Margulise ja John Tyler

## Tihedalt kooselamise teooria

Bonneriga. Andke meile sedasorti kohtumistest teada ning tähendage need üles. Neid pole kunagi liialt tihedasti...

toimetajad Kalevi Kull, Lauri Laanisto, Kairi Põldsaar  
Oive Tinn ja Raul Markus Vaiksoo

*septembris 2020*





# Kogu aeg tihedasti koos ümbes oma väikse mere

---

**Martin Liira\***

Läänemere esimesed nimed olid ladinakeelsed *Mare Suebicum* ja *Mare Balticum*. *Balticum* tulevat mõnede autorite arvates ladinakeelsest sõnast *balteus*, mille eestikeelne tõlge on „vöö“. Meie Läänemeri, saksa keeles Ostsee, rootsi keeles Östersjön, vene keeles Балтийское море, soome keeles Itämeri, poola keeles Morze Bałtyckie, läti keeles Baltijas jūra, võru keeles Ödagumeri, ulatub Lõuna-Taani laiuskraadist peaaegu põhjapolaarjooneni. Ta eraldab Skandinaavia poolsaare ülejäänud Mandri-Euroopast. Oma suuruselt on Läänemeri Musta mere järel maailma teine riimveekogu. Poolsuletud ja suhteliselt madal Läänemeri oli kohtumispaigaks teda ümbritsevatele rahvastele juba enne viikingite aega. Keskajal sõitsid siin Põhja-Euroopa sadamate vahet suure kaubanduslik-poliitilise liidu – Hansa Liidu – kaubalaevad. Hilisemad sajandid nägid siin mitut sõda Läänemeres domineerimise õiguse pärast. Läänemere riigiti erinevad nimed kinnitavad „vööna“ ümber mere elavate rahvaste elu- ja kohtumispaiga tähtsust.

---

\*TÜ, ÖMI, martin.liira@ut.ee

Praegune Läänemeri on geoloogiliselt noor, poolsuletud riimveeline meri, mis on ühendatud Põhjamerega läbi kitsaste Taani väinade. Läänemeri koos Kattegati ja teiste Taani väinadega laiub tervikuna üle 420 000 km<sup>2</sup> suurusel alal. Kaks peamist Läänemere ühendust Atlandi ookeaniga on Taani väinad, Öresund ja Belti meri (Suur- ja Väike-Belt); nende kaudu toimub Läänemere suhteliselt vähene veevahetus Atlandi ookeaniga. Valgala ehk maa-ala, millelt vesi Läänemerre voolab, on *ca* 1,7 miljonit km<sup>2</sup>, mis on enam kui neli korda suurem Läänemere pindalast ja kus elab peaaegu 85 miljonit inimest. Läänemere põhja morfoloogia on peamiselt jäätumiseelse päritoluga, kuid merepõhja on uuristatud ja deformeeritud ka liustike poolt viimaste jäätumiste ajal. Meri on madal, põhjalõuna suunal umbes 1600 km pikk, koosneb mitmest ainulaadsete omadustega ja varieeruva merepõhja morfoloogiaga alamvesikonnast. Alamvesikondi iseloomustavad mitmed gradiendid: bioloogiline mitmekesisus, liigiline koostis, vee temperatuuri ja soolsuse järkjärguline muutus lõunast põhja suunas. Bioloogiline mitmekesisus on kogu Läänemeres üldiselt väike ja paljud organismid elavad taluvuse piiri lähedal. Eespool toodud omadused muudavad Läänemere ökosüsteemi eriti tundlikuks keskkonnamõjude suhtes. Kõige tõsisemaks keskkonnaprobleemiks Läänemerel peetakse eutrofeerumist.

Läänemere eutrofeerumist põhjustab veekogu rikastumine inimtekkeliste toitainetega; 20. sajandil on lämmastiku sissekanne Läänemerre suurenenud kolm korda ja fosfori sissekanne on kasvanud koguni viiekordselt. Kuna teadlikkus eutrofeerumise kahjulikest tagajärgedest on suurenenud, on lämmastiku heide Läänemerre vähenenud aastatel 1994–2010 16% ja fosfori heide 18%. Sellest hoolimata pole vee kvaliteet ootuspäraselt paranenud. Toitainete kontsentratsioonid ei ole

vähenenud. Pinnavees on mõõdetud endiselt suured klorofüll A kontsentratsioonid. Eelneva ulatusliku toitainete sissekande tagajärjel on fosfor kogunenud merepõhja setetesse, kust vabaneb järk-järgult tagasi vette. Sellist fenomeni nimetatakse sisemise fosfori koormuseks. Märkimisväärsed fosforikogused settes võivad olla seotud redokstundlike rauaühenditega või fikseeritud enam-vähem labiilsetesse orgaanilistesse vormidesse. Need vormid on potentsiaalselt liikuvad ja võivad lõpuks sattuda vette. Fosfori vabanemisega setetest on seotud paljud tegurid, kuid suurima mõjuga on põhjalähedase vee väike lahustunud hapniku sisaldus – hüpoksia.

Hüpoksia (määratletud kui põhjalähedase vee hapnikusisaldus  $< 2 \text{ mg/l}$ ) on üle maailma kasvav probleem, alates ca 1960. aastatest on nn „surnud tsoonid“ ranniku merevetes plahvatuslikult laienenud. Hüpoksia on levinud nähtus ka Läänemere rannikualadel, kus kõrge temperatuur suvekuudel tekitab kihistumise ning takistab vee vertikaalset segunemist. Läänemere basseini sügavates osades soodustab vertikaalne soolusgradient veesamba kihistumist, võimaldades püsiva hüpoksia teket. Korduvad hüpoksilised sündmused halvendavad ökosüsteemi vastupidavust ning mõjutavad lämmastiku ja fosfori regenererimiskiirust. Füüsikalised protsessid, mis kontrollivad kihistumist ja hapniku uuenemist põhjalähedases vees, on olulised hüpoksia tekkimise ja säilimise piirajad. Kliima kontrollitud soolase vee sissevool Läänemere Põhjamere Taani väina kaudu on kriitiline kontrollifaktor, mis reguleerib hüpoksia ruumilist ulatust ja kestust.

XX sajandi kaheksakümnendate aastate algusest alates on soolase vee sissevoolu sagedus Läänemere järsult langedud: 5–7 suurelt sissevoolu sündmuselt kümnendi jooksul vaid ühele sissevoolule kümnendi jooksul. Selle tõttu on laialdased

anoksilised tingimused saanud Läänemere keskosas tava-päraseks seisundiks. Üksikud suuremad Läänemerre sisse-voolu sündmused 1993. ja 2003. aastal katkestasid ainult ajutiselt anoksilisi merepõhja lähedasi keskkonnaolusid. Kuigi 2014. aasta detsembris kanti Läänemerre suures koguses soolast ja hapnikurikast vett, on selle mõju olnud siiski lühiajaline.

Praegused kliimamuutused toovad endaga tõenäoliselt kaasa õhu ja mere temperatuuri tõusu Läänemere piirkonnas, kuhu suureneb nii magevee sissevool sademete näol kui ka süsihappegaasi absorbeerimine, põhjustades merevee hapestumist. Teadmine, mil viisil mõjutavad eespool toodud prognoosid ja muud võimalikud tulevikumõjud (nt elanikkonna kasv) Läänemere hüpoksia arengut ning meie kodumere üldist ökoloogilist seisundit, on hädavajalik, et suuta hinnata ökoloogilisi muutusi Läänemeres ning vajaduse korral planeerida leevendusmeetmeid. Läänemere elukeskkonna säilitamine on kõigi meie, kes me koos tihedasti Läänemere ümber elame, koostöö.

## **Kirjandus**

- Conley, Daniel J., *et al.* 2009. Hypoxia-related processes in the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology* 43(10): 3412–3420.
- HELCOM, 2015. Updated Fifth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-5.5). *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 145.
- Puttonen, Irma 2017. *Phosphorus in the Sediments of the Northern Baltic Sea Archipelagos – Internal P Loading and Its Impact on Eutrophication*. PhD thesis, Åbo Akademi University.

# Linnastumisega kaasnev asustustiheduse mõju lindudele

---

Marko Mägi\*

Linnade linnurohkus, sageli ka liigirikkus, on suurem kui linna ümbruse maastikel, sest linnade laienemine ja maastikku muutev inimõju (nt põllundus, metsandus) on tänaseks nii kiire, et loodusmaastike lindudel ei ole võimalik piirkonnas muul viisil elada, kui kohaneda linnaeluga või lokaalselt välja surra. Suured muutused on toimunud n-ö tavaliste liikidega, näiteks on Inglismaal kuldnokki (*Sturnus vulgaris*) võrreldes 1965. aastaga täna metsades 92% ja põllumaadel 66% vähem (Crick *et al.*, 2002). Inglismaa maapiirkondades elutsevate koduvarblaste (*Passer domesticus*) arv kahanes lühikese aja jooksul (1979–1983) 38% ning langus on jätkunud ka viimastel aastatel. Kuid ka linnas on koduvarblasi vähemaks jäänud – Inglismaa äärelinnade aedades oli neid kümne aasta eest umbes 60% vähem kui aastal 1990 (Cannon *et al.*, 2005, Robinson *et al.*, 2005). Paljud linnud on loodusmaastike hävides leidnud viimse pelgupaiga tiheasustusaladel ning seetõttu väärivad need alad

---

\*TÜ, ÖMI, marko.magi@ut.ee

senisest märksa enam tähelepanu ka looduskaitseks. Ja mitte ainult lindude, vaid ka taimede tõttu, sest paljusid Euroopa ja ka USA haruldasi taimi võib kohata just linnades või nende lähikonnas; Austraalia linnades kohtab kohalikke ohustatud taimi ja loomi oluliselt rohkem kui looduses. Liikide kaitsmisel linnades peab siiski arvestama, et väljasuremisvõlg ei pruugi olla linnadesse veel jõudnud.

Lindude arvukus linnas ületab inimeste oma, näiteks ligikaudu poole miljoni elanikuga Sheffieldis Inglismaal on ühe elaniku kohta keskmiselt 1,18 pesitsevat ja 1,13 mittepesitsevat lindu (Fullet *et al.*, 2009), mis tähendab, et linnas on midagi, mis muudab selle evolutsiooniliselt suhteliselt uudse keskkonnaga kohanemise hõlpsaks. Kohanemist soodustavatest teguritest kohtab teaduskirjanduses sagedamini kolme: rikkalik toidubaas, sobilike pesitsuskohtade rohkus ning väike kisklus.

Neist kolmest võib toidubaasi (või ka linna koondunud energia hulka, mille sekka tuleb arvata lisaks toidule ka päikesekiirguse neeldumine hoonetes, hoonete tarbitav energia, poodides ringlevad produktid jne) pidada esmaseks magnetiks, mis meelitab linde uude keskkonda ning soodustab kiiret kohanemist keskkonna ja inimesega, keda peetakse siiski otseseks ohuks. Näiteks on viimase 50 aastaga antropogeense toidu kerge kättesaadavuse tõttu kasvanud Palearktise linnades oluliselt harakate (*Pica pica*) arvukus (Jerzak, 2001). Poolas Zielona Góra linnas kasvas aastail 1982–1996 harakate arvukus kolm korda kiiremini kui linna lähikonnas (Jerzak, 2001), sest lisaks rikkalikule toidulauale, mida linnud täiendasid ka prügikastidest, soodustas linna mikrokliima harakate sigimist: pesitsus algas oluliselt varem kui maapiirkonnas, mistõttu oli harakatel võimalus pärast ebaõnnestunud esimest pesitsust samal hooajal veel uuesti pesitseda.

Arvukuse suurenedes kasvab asustustihedus, näiteid selle kohta on palju. Näiteks pesitsevad Poolas Łódźi linna parkides rasvatihased kaks korda tihedamalt kui linna lähistel metsas (Gładalski *et al.*, 2016). Sheffieldis kasvas pärast II maailmasõda harakate arvukus kiiresti, mida seostatakse vaenamise lõppemisega, sest inimeste tähelepanu oli suunatud sõja-järgseil aastail linnuprobleemidelt mujale; aastail 1943–1976 kasvas harakate asustustihedus linnas ligi kolm korda (Tatner, 1982).

Linnas elades peavad linnud tulema toime suurenenud asustustiheduse negatiivsete mõjudega. Kuigi näiliselt on linnas toidurohkus, siis sõltuvalt liigi vajadustest, võib kvaliteetset toitu nappida, eriti pesitsusperioodil, sest poegade parima kasvu tagab kvaliteetne nokaesine. Näiteks rasvatihase pojale on liblikaröövikud kõrgeima väärtusega toit, kuid neid ei pruugi linnas jaguda, sest taimestik ei soosi liblikate rohkust. Esimene eksperimentaalne tõend kvaliteetse toidu nappusest linnas pärineb Ungari linnast Veszprém, kus linnaparkide ja linnalähedase metsa rasvatihaste pesitsust uurides selgus, et linnas sirgunud poegade edukus oli oluliselt väiksem metsas elavate liigikaaslaste omast, kuid saavutas sama taseme, kui linnud said energiarikast lisatoitu (Seress *et al.*, 2020).

Liigsuure asustustiheduse klassikaline negatiivne näide on parasiitide ja haiguste võimalik kiirem levik, millega tuleb kohaneda kas füsioloogiliselt või käitumuslikult. Näiteks kasutavad üle 80% México koduvarblastest ja aed-karmiinleevikestest (*Carpodacus mexicanus*) pesa ehitamisel tänaval vedelevaid sigaretikonisid – neis sisalduv nikotiin pärsib tõhusalt pesaparasiite, kuid samal ajal kajastub nikotiini negatiivne mõju poegade tervisenäitajates (Suárez-Rodríguez *et al.*, 2012).

Kui jätta kõrvale linnas elavad inimkaaslevad loomad (koerad ja kassid), siis on kiskjate arvukus linnas suhteliselt väike, seda vähemalt linna arengu algetapil, sest üldjuhul on kiskjate ja röövlindude inimpeglikkus suurem nende saakloomade omast, kuid aja jooksul suudavad kiskjad linnaeluga kohaneda ja nende arvukus võib kasvada suuremaks kui loodusmaastikul. Kiskjate puudumist linnas võib pidada põhjuseks, miks Lõuna-Ameerika rohumaadel maapinnas urgudes pesitsevad koopakakud (*Athene cunicularia*) on kolinud linnadesse elama: linnades on koopakakkude pesitsustihedus seitse korda suurem kui rohumaadel, sest linnas on võrreldes rohumaaga ligikaudu kuus korda vähem kiskjaid (Rebolo-Ifrán *et al.*, 2020). Kuna koopakakud on rohumaade üha intensiivsema majandamise tõttu piirkondlikult ohustatud, siis võivad just linnad saada liigi oluliseks refuugiumiks.

Linnades suurenevad sotsiaalsed liigisiseseid (ka liikidevahelised) kontaktid, mille tulemusel võivad kiiresti levida uudsed käitumisviisid. Hästi on teada Inglismaa sini-tihaste (*Cyanistes caeruleus*) seas 1940. aastatel levinud komme trepile jäetud piimapudelite fooliumkorkide katki nokkimine, et pääseda ligi koorele. Samuti on teada Inglismaal harakate seas levinud komme trepile jäetud munakarpide rüüstamisest (Tatner, 1982).

Sotsiaalsete kontaktide suurenemine võib mõjutada ka lindude sigimisstrateegiat ja edu. Nimelt võib pesakonnas sirguda järglane, kes on viljastatud võõra isaslinnu poolt. Liigisisese pesaparasitismi puhul ei ole välistatud, et pesas sirgub järglane, kel pole geneetilist seost ei teda kasvatava isa ega emaga. Sõltuvalt linnuliigist varieerub paariväliste suhete arv, kuid üldiselt on linnud inimesele sarnaselt sotsiaalselt monogaamsed. Röövlindude seas võib võõra isase viljastatud järglasi



olla üsna palju, USAs Wisconsinis põhja-tanukullil (*Accipiter cooperii*) näiteks 19,3% poegadest (võõra isasega soetatud poeg sirgub igas kolmandas pesas; Caballero *et al.*, 2020). Samal ajal USA Kesk-Lääne linnades pesitsevate rabapistrike (*Falco peregrinus*) seas ei ole paarivälise poegade esinemine kuigi sage. Näiteks pesitseb Chicago piirkonnas 90% rabapistrikest pärast 1960. aastate DDT laastavast mõjust taastumist kõrghoonetel, kus nende asustustihedus on oluliselt suurem kui looduses. DNA-analüüsid näitavad, et paariväliseid suhted tuleb ette harva (vaid ühes pesas 35-st sirgus paarivälise poeg) ning et paari- ja pesapaigatruudus on suur: sigimiskordade vahel vahetub partner 9,8%-l kordadest, pesakoht aga vaid 4,9%-l juhtudest (Caballero *et al.*, 2020). Võimalik, et rabapistrike truudus on võrreldes keskmise röövlinnu omast suurem, sest fülogeneetiliselt ei ole nad neile lähedased (pigem on pistrikulased lähedasemad värvuliste).

## **Kirjandus**

- Caballero, I. C.; Bates, J. M.; Hennen, M.; Ashley, M. V. 2016. Sex in the city: Breeding behavior of urban peregrine falcons in the Midwestern US. *Plos One* 11: e0159054.
- Cannon, A. R.; Chamberlain, D. E.; Toms, M. P.; Hatchwell, B. J.; Gaston, K. J. 2005. Trends in the use of private gardens by wild birds in Great Britain 1995–2002. *Journal of Applied Ecology* 42: 659–671.
- Crick, H. Q. P.; Robinson, R. A.; Appleton, G. F.; Clark, N. A.; Rickard, A. D. 2002. Investigation into the causes of the decline of starlings and house sparrows in Great Britain. *BTO Research report* No. 290. Thetford: British Trust for Ornithology.
- Fuller, R. A.; Tratalos, J.; Gaston, K. J. 2009. How many birds are there in a city of half a million people? *Diversity and Distributions* 15: 328–337, DOI: 10.1111/j.1472-4642.2008.00537.x
- Gładalski, M.; Wawrzyniak, J.; Bańbura, M.; Kaliński, A.; Markowski, M.; Skwarska, J.; Zieliński, P.; Bańbura, J. 2016. Long-term changes in population density of nest-box breeding Great Tits and Blue Tits in two contrasting habitats in Central Poland. *Polish Journal of Ecology* 64: 399–408
- Jerzak, L. 2001. Synurbanization of the magpie in the Palearctic. In: Marzluff, J. M.; Bowman, R.; Donnelly, R. (eds.), *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*. Boston: Springer.
- Rebolo-Ifrán, N.; Tella, J. L.; Carrete, M. 2017. Urban conservation hotspots: predation release allows the grassland-specialist burrowing owl to perform better in the city. *Scientific Reports* 7: 3527.
- Robinson, R. A.; Siriwardena, G. M.; Crick, H. Q. P. 2005. Size and trends of the house sparrow *Passer domesticus* population in Great Britain. *Ibis* 147: 552–562.
- Seress, G.; Sándor, K.; Evans, K. L.; Liker, A. 2020. Food availability limits avian reproduction in the city: An experimental study on great tits *Parus major*. *Journal of Animal Ecology* 00: 1–11.
- Suárez-Rodríguez, M.; López-Rull, I.; Garcia, C. M. 2012. Incorporation of cigarette butts into nests reduces nest ectoparasite load in urban birds: new ingredients for an old recipe? *Biology Letters* 9: 20120931.
- Tatner, P. 1982. Factors influencing the distribution of Magpies *Pica pica* in an urban environment. *Bird Study* 29: 227–234.

# Riigipööre mullaökosüsteemis

---

**Tanel Vahter\***

Nii nagu inimühiskonnad, on ka ökosüsteemid pidevas muutumises. Muutused tulenevad kas sisemise entroopia kasvust, väliste tegurite mõjust või pelgalt põlvkondade vahetumise ning muutuvate keskkondade tõttu. Muutus muutuse enda pärast – suktessioon, kui nii võib öelda. Enamasti on muutused ühiskondades ja ökosüsteemides pidevad, tasahilju aset leidvad väikeste sündmuste jadad, mis ühiskonna või ökosüsteemi liikmeid nende eluajal oluliselt ei mõjuta. Vahel, enamasti küllalt harva, viib väikeste sündmuste jada aga suurte raputusteni, kus vana asendub uuega ning endine elukorraldus kistakse pöörasesse keerisesse, kust ta lõpuks välja sülitatakse ja uuele kohale asetatakse. Milline see koht olema saab, on juba omamoodi ökoloogiline küsimus. Palju on nii muutujaid kui ka teadmata faktoreid, valitseb olelusvõitluse suur segadus ning ansamblireeglite loogika (Diamond, 1975) lendab mõneks ajaks prügikasti.

Kuhu uus tasakaalupunkt tekib, polegi ehk niivõrd põnev küsimus. Võimatu ülesandena näiv väljakutse tapab

---

\*TÜ, ÖMI, tane.vahter@ut.ee

vaatlejas motivatsiooni selle üle pingsalt juurelda. Küllap ta kuskile tuleb ning siis selgub, kuidas omadega hakkama saada. Aja kulgedes jõuavad end taaskehtestada reeglid ja kokkulepped, tekivad normid ja standardid. Ühiskond või ökosüsteem nihkub individualistlikust ellujäämisrežiimist taas suurema koostöö, kooselu ja kooseksisteerimise vagasse vette. Eks pisemaid naginaid tule ikka ette, ent suuremad jamad on selleks korraks läbi. Vana maailmakorra viljelejad on kas minema pühitud või virelevad oma päevade lõpuni ökosüsteemi marginaalses perifeerias. *Riigipööre* on õnnestunud.

Mis saab aga siis, kui riigipööre nurjub? Kas ökosüsteem vajub raputatult ja värisevana tagasi oma vanasse sängi? Tuues taas paralleeliks inimühiskonnad, on ajalooliselt levinud sogases vees kisklevate oportunistide aina korduvad katsed omakorda uut maailmakorda kehtestada. Iga nurjunud katsega lõhestatakse ühiskonda veelgi. Kooselu ja kooseksisteerimine läheb nigelalt, reegleid ja kokkuleppeid ei suudeta sõlmida, valitseb anarhia. Küsimusest *kuidas* saab küsimus *kes*. Igapäevaelu jääb tahaplaanile, kannatab intelligents.

Autori erialaspetsiifikast lähtudes üritab järgnev osa tuua paralleele nurjunud riigipööretest ökosüsteemides läbi mullaökosüsteemi prisma põllumajanduse tingimustes. Täpsustavalt tuleb siin ära mainida, et edasine käsitlus keskendub peaaesjalikult organismidele, nende liigirikkusele ja kooslustele, mitte mullaökosüsteemi erinevatele hüvedele või funktsioonidele. See on oluline, kuivõrd antropogeensetes ökosüsteemides ei tarvitse liigirikkus olla üheselt seotud pakutava funktsiooniga, olgu selleks näiteks saagikus (Chacón-Labela jt, 2019) või mulla süsinikusisaldus (Nielsen jt, 2011). Sestap ei taotle siin väljaõeldu kasutatavate põllumajanduspraktikate

ümber vaatamist, vaid pakub ühe nägemuse kirjeldatud mustrite tõlgendamiseks.

Muld on põllumajanduslikus maakasutuses pidevalt häiritav ökosüsteem, kus ükski nn riigikord ei saa eksisteerida katkematult loodusliku suksessiooni tingimustes. Põllumajanduse eripäraks on pidev otsingulisus ning riskide maandamine läbi külvikordade ning agrotehnoloogia arengu. Võitjad on need, kes oma põldudest maksimumi välja pigistavad, ent kehvade otsuste või aastate tõttu kohe mängust välja ei lange. Peamiselt on selle saavutamise vahendiks mitmekesine tootmine, kus kultuurid ning saadaolevad inim- ja masinressursid on hajutatud nii ajas kui ka ruumis. Vahelduvad nii põllul kasvatatavad taimeliigid, nendega seotud taimekaitse- ja väetusrežiim kui ka kultuuride otstarve, näiteks toiduviljade vaheldus lühiajaliste rohumaade või vahekultuuridega. Eraldi ära mainimist väärivad tugevat ökoloogilist tausta kandvad viljelusviisid, näiteks maheviljelus (Mäder jt, 2002; Verbruggen jt, 2010) ning otsekülvi tehnoloogiad (Hobbs, 2009), mille üks põhieesmärkidest on kaitsta ka mullaökosüsteemi ning seal paiknevat elurikkust.

Agroökoloogia kui teadussuund on keskendunud elurikkuse uurimisele põllumajandusliku maakasutuse tingimustes. Katseliselt on välja sõelatud terad sökaldest ning tuvasutatud elurikkusele pigem head ja pigem halvad praktikad. Nii on selgeks tehtud, et kündmine on mullaorganismide mitmekesisusele pigem kahjulik (Kraut-Cohen jt, 2020), samal ajal kui rohumaade osakaal külvikorras on seotud pigem suurema elurikkusega (Albizua jt, 2015). Mullaviljakusele mõjuvad hästi ka nn vahekultuurid, mis pärast põhikultuuri koristamist mulda kaitsevad ning toiteelementidega rikastavad (Finney jt, 2016). Lisaks on leitud, et orgaaniliste väetiste kasutamine on

mullaelustiku mitmekesisusele positiivsema toimega kui mineraalsed väetised (Geisseler, Scow, 2014). Sellest tulenevad ka agroökoloogilised soovitusel vähem künda ning kaasata külvikorda liigirikkad rohumaad, võimaluse korral tuleks kasvatada ka vahekultuure ning kasutada orgaanilisi väetisi. Soovitusi järgides saamegi kokku elurikkust soodustava põllumajanduse teoreetilise võrrandi: mitmekesine kultuuride valik vaheldumas lühiajaliste rohumaadega; kui kultuuri agrotehnoloogia seda võimaldab, siis kasutatakse otsekülvi või minimeeritud harimise tehnoloogiaid; kasvatatakse vahekultuure, mis enamasti künnipõhiselt mulda viiakse; orgaaniliste väetiste kättesaadavusel neid ka kasutatakse.

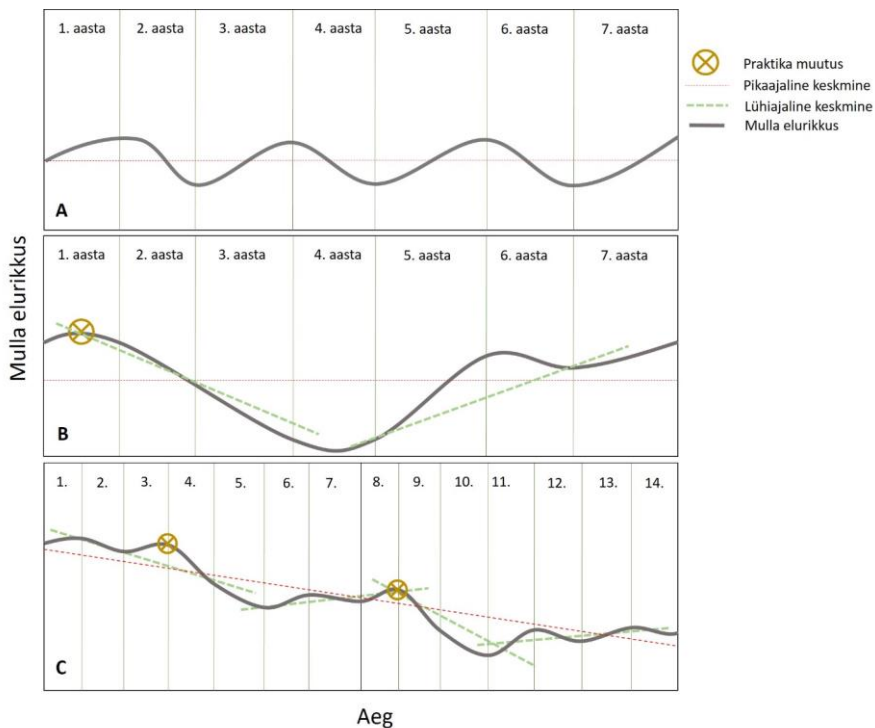
Mis toimub samal ajal mullas? Kultuuride vahetumine on mullaelustikule suur raputus, eriti kui näiteks mükoriisat moodustav kultuur asendub mittemükoriisse rapsi või rüpsiga (Valetti jt, 2016). Taime, kui mullaökosüsteemi inseneri, vahetumine leiab aset ka loodusliku suksessiooni puhul, kuid põllumajanduses on vahetus järsk ning täielik. Uus maailmakord on ühelt poolt resolootne, kuid samas lühiajaline. Künnipõhise maaharimise puhul kujuneb välja sellega kohastunud mulla-elustik, kelle omadused võimaldavad mullahäiringust hoolimata oma elutsükli lõpule viia (Schnoor jt, 2011). Seeneriigis on need näiteks kiiresti paljunevad ning pigem väheldasema seeneniidistikuga liigid (Hart, Reader, 2002). Otsekülvi tingimustes peaksid seejärel eelise saama aeglasema kasvuga ning niidistikku rohkem investeerivad liigid, kes siis ruderaalsemad liigid välja konkureeriks. Kui möödunud-aastane otsekülvi põld aga vahekultuuri järel üles künda, on riigipööre mullas taas kord nurjunud ning valitsuse moodustamiseks ja suksessiooni juhtimiseks keegi mandaati ei saa. Sama teooriat võib rakendada ka orgaaniliste ja mineraalsete

väetiste kasutamise puhul, kus esimesel juhul vajatakse ka orgaanilise aine lagundajaid, teisel juhul aga pigem transporti-jaid kes füsioloogilisele stressile vastu peaks. Eriti markantseks võib kujuneda olukord siis, kui teraviljade künnipõhine külvikord vaheldub lühiajalise rohumaa - ühtäkki muutub nii väetusrežiim, mullahäiringu iseloom kui ka peremees-taimede identiteet. Peaaegu sama kiirelt kui maailmakord muutus, küntakse lühiajaline rohumaa taas üles ning häiringu-järgne mullaelustiku kooslus hakkab pidama olemusvõitlust jälle uutes tingimustes.

Mida teeb sellistel juhtudel mullaelustiku liigirikkus? Võib arvata, et juhul kui liigifond looduslike ökosüsteemide näol on maastiku tasemel suur, siis jätkub stohhastiline liikide minek ja tulek. Kuna spetsialistide jaoks on muutused liialt kiired, kujuneb kooslus peaaesjalikult ruderaalidest, kes siis „Kes aias?“ ringmängu stiilis koosluses kohti vahetavad. Juhul kui maastikud on ümbruskonnas ühetaolised ning elurikkuse doonorlad paiknevad väljaspool liikide levimispiire, peaks järgnema elurikkuse allakäiguspiraal. Küllap see aga peatub uue riigikorra kehtestamisega viimaste ja kõige sitkemate ellujääjate poolt.

Selline teoreetiline elurikkuse dünaamika (joonis 1) võib põhjustada vastuolusid aktsepteeritud (kuid siiski vähe rakendatud) retoorikas, kus võimaluse korral tuleks kõiki uuritud ning elurikkusele positiivselt mõjunud majandamis-meetmeid ka rakendada. Põhiline probleem peitub selles, et paljud neist meetmetest on oma olemuselt lühiajalised või ei sobi külvikorras pidevalt kasutamiseks, näiteks sügisesed vahekultuurid või haljasväetised, orgaaniliste väetiste kasutamine siis kui selleks võimalus on, kombineeritud künni-intensiivsus kultuurist ja umbrohusituatsioonist johtuvalt ning

lühiajalised rohumaad. See võib tingida olukorra, kus puhasmõju võib olla küll positiivne, kuid pidev praktikate vahetus tingib pikaajaliselt negatiivse mõju. Oma osa on selles ka mulla elurikkuse seirevõrgu ja meetoodika puudumisel, mistõttu ei ole tegelikult võimalik hinnata, kas rakendatavad elurikkust toetavad praktikad ka seda tegelikult teevad.



Joonis 1. Mulla elurikkuse dünaamika teoreetiline kujutus üheaolise häiringurežiimi puhul (A); ühekordse muutuse puhul (B); järjestikuste muutuste puhul (C).



Kas selline mõttemäng ka tõepõhja kannab, ei oska veel päriselt öelda. Nii Eestis algatatud projektis „Põllumajandusliku maakasutuse mõju mullaelustikule: seemed mulla bioloogilise seisundi indikaatorina“ (juht: Inga Hiiesalu, Tartu Ülikool) kui ka mujal Euroopas (ERA-NET Cofund Biodiversa3 projekt SoilMan: „Mullaelustiku mitmekesisuse poolt mõjutatud ökosüsteemide hüved – teadmised ning majandamine“) korraldatavatest uuringutest oleme sarnaseid mustreid kirjeldamas. Mõned tunnustatud keskkonnasäästlikud põllumajanduspraktikad kas ei oma mullaelustikule soovitud efekti või mõjuvad selle liigirikkusele suisa negatiivselt. Arvatavasti peitub tõde, nagu ökoloogias kombeks, mitme faktori koosmõjus ning kehtib usutavalt vaid uuritud aladel. Tõendite lisandudes, olgu siis kirjeldatud teooria poolt või vastu, tuleb aga säilitada teaduslikku maailmavaadet ning nendest lähtuvalt ka praktikaid kujundada. Omaette küsimus on põllumajanduslike ökosüsteemide pakutavad hüved. Kui oleme nõus, et 1 miljon hektarit Eestimaad pakub vaid toitu, siis polegi kõik eelnev ehk kuigi tähtis.\*

---

\* Autor tänab kolleege Maarja Öpikut, Siim-Kaarel Seppa ja Inga Hiiesalu avardavate mõtiskluste eest. Lisaks tänab autor ka kirjutisele aluse pannud projektide rahastajaid; „KIK keskkonnaprogramm“ SLTOM19092 (15499) „Põllumajandusliku maakasutuse mõju mullaelustikule: seemed mulla bioloogilise seisundi indikaatorina (15.12.2018–9.12.2020)“, Inga Hiiesalu, Tartu Ülikool, loodus- ja täppiseaduste valdkond, ökoloogia ja maateaduste instituut; ERA-NET Cofund Biodiversa3 projekt SoilMan LTOM17031 „Mullaelustiku mitmekesisuse poolt mõjutatud ökosüsteemide hüved – teadmised ning majandamine (1.01.2017–31.05.2020)“, Maarja Öpik, Tartu Ülikool, loodus- ja täppiseaduste valdkond, ökoloogia ja maateaduste instituut.

## **Kirjandus**

- Albizua, A.; Williams, A.; Hedlund, K.; Pascual, U. 2015. Crop rotations including ley and manure can promote ecosystem services in conventional farming systems. *Applied Soil Ecology* 95: 54–61.
- ChacónLabella, J.; García Palacios, P.; Matesanz, S.; Schöb, C.; Milla, R. 2019. Plant domestication disrupts biodiversity effects across major crop types. *Ecology Letters* 22(9): 1472–1482.
- Cody, M. L.; MacArthur, R. H.; Diamond, J. M. 1975. Ecology and evolution of communities. Cambridge: Harvard University Press.
- Finney, D. M.; White, C. M.; Kaye, J. P. 2016. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agronomy Journal* 108(1): 39–52.
- Geisseler, D.; Scow, K. M. 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms: A review. *Soil Biology and Biochemistry* 75: 54–63.
- Hart, M. M.; Reader, R. J. 2002. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 153(2): 335–344.
- Hobbs, P. R. 2007. Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? *The Journal of Agricultural Science* 145(2): 127.
- Kraut-Cohen, J.; Zolti, A.; Shaltiel-Harpaz, L.; Argaman, E.; Rabinovich, R.; Green, S. J.; Minz, D. 2020. Effects of tillage practices on soil microbiome and agricultural parameters. *Science of the Total Environment* 705: 135–141.
- Mäder, P.; Fliessbach, A.; Dubois, D.; Gunst, L.; Fried, P.; Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296(5573): 1694–1697.
- Nielsen, U. N.; Ayres, E.; Wall, D. H.; Bardgett, R. D. 2011. Soil biodiversity and carbon cycling: a review and synthesis of studies examining diversity–function relationships. *European Journal of Soil Science* 62(1): 105–116.
- Schnoor, T. K.; Lekberg, Y.; Rosendahl, S.; Olsson, P. A. 2011. Mechanical soil disturbance as a determinant of arbuscular mycorrhizal fungal communities in semi-natural grassland. *Mycorrhiza* 21(3): 211–220.
- Valetti, L.; Iriarte, L.; Fabra, A. 2016. Effect of previous cropping of rapeseed (*Brassica napus* L.) on soybean (*Glycine max*) root mycorrhization,

nodulation, and plant growth. *European Journal of Soil Biology* 76: 103–106.

Verbruggen, E.; Rölling, W. F.; Gamper, H. A.; Kowalchuk, G. A.; Verhoef, H. A.; van der Heijden, M. G. 2010. Positive effects of organic farming on belowground mutualists: largescale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytologist* 186(4): 968–979.



# Elus keha

---

## Kalevi Kull\*

*„A very different version of North America cradled a huge, landlocked, saline sea. This sea teemed with microbial life. All this life served a single tremendous organism.“*

Pratchett, Baxter 2012: 13

Meri kui üks organism. Kooslus kui üks organism. Üks suur organism. Mis mõttes organism, mis mõttes üks?

*„Elu aga on midagi muud kui ettevaatus.*

*Elu on midagi hoopis muud kui ettekäänded.*

*Elul ei ole midagi ühist eelarvamusetega.*

*Elu laulab lakkamatult.*

*Loodus loob loojumatu id meloodiaid.“*

Artur Alliksaar („Laul lauludest“, Päikesepillaja)

Tähelepanu väärrib üks elu olemusse ulatuv paradoks: ökosüsteem, elu üleni kandev ruum, on – või vähemalt saab olla – aineliselt suletud,<sup>†</sup> samas kõik organismid ja rakud, elu täis kehad, on aineliselt avatud – ega vist saagi aineliselt suletud

---

\*TÜ, FLFI, kalevi.kull@ut.ee

<sup>†</sup> Nt Morowitz *et al.* 2005.

olla. Ent kas ökosüsteem ei saa siis olla üleni eluskude ehk rakke täis? Kui tõesti ei saa, siis miks? Kui tihedalt saab ökosüsteem olla elusainega täidetud?

Sama küsimuse võib sõnastada ka veidi teisiti: kas ökosüsteem saab olla üks elus keha? Elus keha koosneb elusainest, näiteks rakk kui elus keha koosneb protoplasmast. See juhatab küsimuseni, millega ja miks protoplasma – kes ju elu ongi – tegeleb või tegelda ei saa? Kuidas elus keha sisemiselt struktureerub?

Erinevalt klassikalisest käsitlusest, kus aluseks on paljunevad indiviidid ja nende suhted väliskeskkonnaga, vajame nende küsimustega tegelemiseks üldisemat mudelit, kus paljunemine (mis nõuab ainelist avatust) on vaid uuenumise erijuht. Sel puhul on elu aluseks uuenev, kuid mitte tingimata paljunev kude, kelle keskkonnasuhted võivad olla teisejärgulised ja minimaalsed, kusjuures paljunemine, kui see toimub, on süsteemisisene. Niisiis uurime elus keha ennast – mõnda tema üldist omadust. Küsime, mis toimub elusa sees, elusas kehas isepäini.

Selle küsimuse puhul ei saa mööda elu määratlusest nii, et saaks muuhulgas järeldada, kas elu saab ka gaasiline või tahke olla. Kui elu määratleda taastumisvõime ja tajumisvõime omamise kaudu, siis tahaks veel teada, kas tajumisvõime on taastumisprotsesside vahend ja tulem, või vastupidi, tajumisvõimest elu algab. Kas on nii, nagu Maurice Caullery (1931) oletas, et esmane pärandumismisviis on lamarklik, millest

hiljem vaid mendellik järele jääb,\* või vastupidi: epigeneetiline pärandumine on hilisem.

Elus kehad on väga erineva suurusega. Nende sisse mahutuva maksimaalse sfääri läbimõõt varieerub vahemikus 300 nm kuni 5 m, üksnes keha äärepunktide maksimaalne kaugus võib klonaalsetel organismidel ulatuda isegi 300 meetrini, mitut liiki haarava keha puhul (näiteks seene- niidistiku kaudu ühendatud taimestik) ka palju enam. Huvitavaks teoreetiliseks küsimuseks on, kas elus keha võiks olla veel palju suurem, kuni selleni, et kogu elusaine kiht moodustaks üheainsa elus keha, st et see olekski üksainus tihe paksu mati või „talluse“ taoline organism.

Või teisiti, kui suur saaks olla üks keha, mis on üleni elus? Näiteks kas saab olla võimalik, et vees hulbib elus kerakujuline keha või tüse elus saar, mille läbimõõt on 100 m, või koguni kilomeeter? On ju olemas suured planktonimassid, seenekloonid, korallrahud, rohkem kui saja meetri kõrgused puud, kuid millegipärast nende paksus on vaid erandjuhtudel üle ühe meetri. Lehed on millegipärast kaunis õhukesed, jämedas puutüves on elusosa paksus vaid mõned koorealused sentimeetrid. Metsas on organismide vahel suured õhuvahed, vees veevahed, ent kas ehk võiks ka ilma nende vahedeta? Kõik liikumised saaks ehk ometi ka organismi sees ära korraldada, peaaegu kogu metabolism on nagunii kehasisene.

Seega, kui organismi olemust määratletakse ja kirjeldatakse tihtipeale välispiiri, koore või naha kaudu, selle vahenduse kaudu, mis eraldab organismi muust, teisest, siis

---

\* Sedalaadi lahenduse leidsid kohase olevat mitmed prantsuse bioloogid ja mõtlejad XX sajandi algupoolel, mistõttu prantsuse biofilosoofia on olnud tänini võrdlemisi eripärane.

siin tahan vaadata olukorda, kus nahk on nii kaugel, et temast võib mitte kõnelda – st temani peaaegu ei ulatu – või siis nii, et naha taga pole midagi huvitavat – ent elu käib ikkagi. Üritame nahastolenevusest loobuda seks korraks niipalju kui võimalik. Kui Jesper Hoffmeyer (2008: 172) kirjutab: „*Nahk hoiab maailma eemal füüsilises mõttes, kuid kohal psühholoogilises mõttes*. Nahk annab meile kuuluvuse kogemuse – see võimaldab meil maailma tunda“\*, siis nahast loobumine me mudelis peaks justkui tähendama maailmast loobumist. Ent on see ikka nii? Sise-maailmast võiks ju piisata.

Kui vaadata kaugemalt, siis elusaine paikneb Maal väga õhukese kihina. Maismaal on see kiht tavaliselt mitte enam kui paarkümmend meetrit paks ning õige tihe, vees on ta hõredam ja sageli natuke paksem. Kas elukooslus saaks olla tihedam? Nii tihe kui üks keha.

*Elusaine* võib määratleda kui *metabolismis osaleva orgaanilise aine*. Enam-vähem nii määratles elusainet juba Vladimir Vernadski.<sup>†</sup> Orgaaniliste ühendite metabolismis osalemise võib defineerida kui keemilise teisenemise, mis toimuks sagedamini kui korra mõnesaja aasta jooksul. Tõepoolest, peaaegu kõik orgaaniliste ainete molekulid ökosüsteemis kestavad lühemat aega. Nii määratledes on elusaineks nii tsütoplasma kui ka rakukestade materjal, samuti valdav osa mulla huumusest.

Elusaine kihis on peale elusaine enda ka muid aineid. Peamiselt on need õhk, vesi (koos selles lahustunud anorgaani-

---

\* „*The skin keeps the world away in a physical sense but present in a psychological sense. It is the skin that gives us the experience of belonging—it allows us to feel the world.*“

<sup>†</sup> Vt Vernadski 1978.



liste ainetega) ja tahked mineraalid. Ühtviisi nii maismaal kui veekogudes, lihtsalt nende vahekord on seal suuresti erinev.

Täpsustuseks: lisaks orgaanilistele ainetele haarab metabolism ka mõnesid anorgaanilisi aineid, ennekõike süsihappegaasi, vett ja hapnikku. Seejuures süsihappegaasi väga olulisel määral – kogu atmosfääris oleva mahu ulatuses süsihappegaasi seotakse fotosünteesis orgaanilisse ainesse vähem kui kümne aastaga. Hapnikku osaleb samas mahus, kuid hapniku suure hulga tõttu atmosfääris on mõju sellele väga väike. Vesi osaleb keemiliselt metabolismis (vett lagundatakse fotosünteesil), kuid suuremahuliselt on vesi ainete voolutaja organismides (taimedes seotult transpiratsiooniga ja loomades kehavedelikega) ja sisekeskkonna moodustaja.

Metabolism ehk orgaaniliste ainete teisenemine ise on kõikjal elusaine kihis koondunud keemiliselt eripärastesse osadesse: rakkudesse, mis moodustavad organisme. Väljaspool organisme on elusaine kihis samuti orgaanilist ainet (ja tihti võrdlemisi palju), kuid see haaratakse metabolismi enamasti üksnes organismidesse sattudes või nendega kokkupuutes.

Elus kehi iseloomustab nende väga suur sisemine heterogeensus ja rakuline ehitus. Neil on „maksimaalne mitmekesisus minimaalses ruumiosas“ (Lillie 1931: 561).<sup>\*</sup> See on tõesti huvitav, ja väärib küsida, miks nii?

---

<sup>\*</sup>Pikemalt: „In its physical constitution living matter exhibits a maximum of diversification within a minimum of volume. This feature is also characteristic of the chief biological compounds, the proteins which are the bearers of specificity“ (Lillie 1931: 561).

## **Suure eluskeha struktuur**

Meie püstitatud ülesanne juhatab selleni, et vaadelda organismi kui kooslust ja kooslust kui organismi, või täpsemini – seda, mis on koosluse ja organismi ehituse kujunemises ühtmoodi. Veelgi enam, sisuliselt küsime, mis on organismi ja ökosüsteemi ehituses ühist.\* Organismist mõeldakse tavaliselt kui ühte liiki olendist. Holobiont on mitmest eri liiki organismist koosnev olend.† Ent kui organism just prokarüoot ei ole, siis ta koosnebki mitmest eri liiki olendist (igas eukarüoosis on prokarüootsed mitokondrid, taimedel ka prokarüootsed kloorplastid), st on holobiont. Või kooslus? Kooslus ja holobiont ei eristu samuti selgelt, võib-olla olendite kokkupuuteviisi kaudu – kas nad asuvad üksteise vastas või on vahe vahel. Kokkupuude ei ole siiski kasutatav kriteerium – on's kaks rakku, mille vahel rakusein, kokkupuutes? Ökosüsteem on aineringe kaudu seotud eri liiki organismide kooslust sisaldav organismide kogum koos aineringes oleva ja organismide kehast väljaspool oleva ainega. Ent 'eri liiki organismide kooslus' võib ju olla ka üksainus holobiont. Ning kas peab siis aineringe tingimata mõnes osas holobiondi väline olema? Ehk võib holobiont ka kõigega ise hakkama saada – sel juhul ühtaegu organism, kooslus ja ökosüsteem olles.

Niisiis analüüsime, kas ja missuguse ehitusega saaks olla ulatuslik paksu kihi taoline eluskeha. Niisugust üksikasjalisemat analüüsi pole mul bioloogia-alasest kirjandusest õnnestunud leida (ju kuskil ikka on, ent ilmselt harva). Põhjus on ilmselt selles, et tavaliselt eeldatakse kõigi organismide

---

\* Vrd Welch 1987.

† Holobionti mõiste võttis kasutusele saksa bioloog Adolf Meyer-Abich (1943), see mõiste sai aga laia leviku alles Lynn Margulise tööde mõjul (Margulis, Fester 1991; jt). Vt Baedke *et al.* 2020.

puhul kasvu ja paljunemise olemasolu. Need eeldused tuginavad omakorda eeldusele organismi surelikkusest. Ometi ei ole surevorganismilisuse eeldus elule üldomaselt tarvilik. Näiteks kooslus ei pruugi olla surelik, samuti ei pruugi surelik olla vegetatiivselt uuenev organism. Sisuliselt proovime analüüsida võimalust, et ökosüsteem moodustab nii tiheda koosluse, nagu on organismi keha. Paljunemine tavapärasest mõttes siis täiesti puuduks. Oleks vaid üleni kehasisene osade kordistumine, mis täidaks taastamise ehk parandamise (reparatsiooni) funktsiooni.

Et seesugune (natuke fantastiline) ülesandepüstitus sisukas on, tuleneb arusaamast, et ökosüsteem saab püsida aineliselt suletuna, tarvilik on vaid energeetiline avatus. Ökosüsteemil tervikuna pole püsimiseks vaja paljuneda. Hermeetiliselt suletud ruumiosas saab elu kesta kuitahes kaua, kui energiavarustus on tagatud, temperatuur ei kõigu ülemäära ja taastusprotsessid on efektiivsed. Energiat selleks saab piisavalt anda päikesevalgus.

Muide, taimkatte ökofüsioloogiliste protsesside mudelite seas ongi neid, mille puhul taimkatet on modelleeritud kui ühte paksu lehte (nn „big-leaf model“).<sup>\*</sup> Ent nende mudelite ülesanne on olnud arvutusi lihtsustada, me siin aga arutleme sellise „suure lehe“ tegeliku realiseeritavuse üle.

Et mingit eluvormi looduses ei leidu, ei tähenda veel, et niisugust olla ei saaks. Võimaliku vormi mitteleidumise põhjuseks võib olla ju, et parajasti pole talle sobivaid tingimusi, või pole ta eriti püsiv, või ei saa ta kujuneda loomuliku evolutsiooni teel, või pole veel olnud piisavalt evolutsiooniaega

---

<sup>\*</sup> Taimkattemudelid (nt „land surface models“) on arenenud pigem rakenduslikeks ja uurivad üldbioloogilisi küsimusi harva (vt Sato *et al.* 2015).

niisuguse vormi sünniks (McGhee 2015). Teoreetiliselt võimalike eluvormide uurimisel on sellest hoolimata tähtsust ning mõnes suunas on seda ka arendatud (nt astrobioloogias).\*

Siiski on sel lähenemisel ka otsene üldbioloogia teooriasse puutuv tahk. Nimelt, kui pidada organismi või indiviidi mõistet bioloogia universaalseks ja üldiseks alusmõisteks, siis satume raskustesse, kuna enamik olukordi osutuks erandlikeks, sest peaaegu igas elavas indiviidis on mitu organismi koos (vt lähemalt Wilson, Barker 2019). Pigem võiks seepärast aluseks olla holobiondi või konsortsiumi mõiste.

Niisiis, pean silmas suurt, maad üleni katvat ja päris paksu samblikutaolist poolvedelat organismi, kudet või tallust või elusvõrgustikku, mis aga (erinevalt samblikest) enda keha seesmiselt üleni taastada suudab, seega surnud osi maha jätmata, või kui, siis neid ise taas kasutusele võttes. Kuivõrd hulkraksetes organismides ju tööpoolest toimub surnud rakkude lagundamine ja materjali kasutamine uute rakkude ehitamiseks, peaks see võimalik olema.

Eristame kaht kihtelu tüüpi. Esimene oleks täiesti suletud sisemise aineringega, teine aga kasutaks ainevahetust tema kohal oleva atmosfääriga. Füüsikalise-keemiliselt ja termodünaamiliselt on mõlemad võimalikud.† Püsiv elu suletud süsteemis on huvitavam, alustame arutelu sellest.

---

\* Samuti muidugi teaduslikus ulmes. Näiteks Fred Hoyle (1957) kirjeldab suure musta pilve taolist elusorganismi, Stanislaw Lem (1989 [1962]) aga planeedi Solaris pinda katvat elusat geel-ookeani.

† Kasutan siin termodünaamikast tuttavat süsteemide jaotust avatuiks, suletuiks ja isoleerituiks. Avatud süsteemi kest on läbitav nii energiale kui ainele, suletud süsteemil vaid energiale, isoleeritud süsteemil mitte kummalegi.

## Elu suletud kihis või kapslis

Esmalt võib tunduda niisugune eluvorm väga imelik. Ent pangem tähele, et küsimus on ennekõike suuruses – biosfäär tervikuna ongi sama hea kui elu suletud kapslis. Biosfääri aineringe on peaaegu suletud, kuivõrd see ei ulatu kuigi sügavale ega ka väljapoole Maa atmosfääri alumisi kihte. Ka on tehtud katseid väikeste hermeetiliselt suletud akvaariumitaoliste ökosüsteemidega, milles elu on jäänud kestma.\* Ometi moodustavad mõlemal puhul eluskehad suhteliselt väikese osa kogu elusaine ruumist. Kas see aga peab tingimata nii olema?

Niisiis vaatleme elus keha, mis täidab kahe ainele läbitamatu seina vahelise ulatusliku ruumi. Seinad olgu läbitavad valgusele ja soojusele. Seintevaheline elus keha peaks siis seal kõige eluks vajalikuga hakkama saama.

Rakk võib elada väga kaua. On kaunis tõenäone, et ükski praegu elav rakk pole elu algusest saati surnud olnud, seega kõik rakud, kes praegu elavad, on mitu miljardit aastat vanad. Muidugi on nad palju kordi pooldunud ja paljud ka teise rakuga liitunud ja muutunud selle aja jooksul, aga see asja ei muuda, elus on nad kogu see aeg olnud. Piirang tuleb hoopis sealt, et rakud ikkagi paljunevad, aga mittesuurenevas organismis (ehk ökosüsteemis) peab neid siis samapalju surema (või ära söödama), nonde surnute materjal aga saama ümber töötatud elusate jaoks.

Et rakud paljunevad kehas, mis seeläbi ei suurene, on teada kasvõi me endi organismist. Täiskasvanud organismis

---

\* Suletud mikroökosüsteemidest vt nt Fishtein 1984; Grossman 1990; Gitelson jt 2003.

toimub rakkude paljunemine mitmetes kudedes, näiteks epiteelides ja vereloomeorganeis.

Peaaegu kõigis rakkudes käib nii ehitamine kui lagun-damine. Valke sünteesitakse ribosoomides ja võetakse koost lahti sama raku proteasoomides. Mõlemasuunalised protsessid haaravad enam-vähem kõiki rakkude koostisosi. Põhimõtte-liselt on kogu taastamiseks ja ehitamiseks vajalik materjal raku olemas. Väljastpoolt oleks materjali vaja üksnes siis, kui mõnd ehitise osa ei õnnestu taaskasutuseks tükeldada – või taas üles ehitada. Ent kuna tasakaalulises suletud ökosüsteemis on taas-kasutus täielik, siis põhimõtteliselt saab see nii olla ka orga-nismis. Muidugi eeldusel, et energiaravustus on piisav.

## **Energia**

Kõik elussüsteemid teevad tööd. Elusaine teeb tööd. Energias selleks saab suletud eluskeha valguskiirgusest. Selleks peab vähemalt osa keha pealispinnast olema valgusele läbitav. Valguskiirguse kasutuselevõtt käib fotosünteesi kaudu. Kui elus keha on küllalt paks, nii et valgus kõikjale kehasse ei ulatu, siis on vajalik energia transport sügavamatesse eluskeha osadesse. Sellest johtub organismi pinna suhtes perpendiku-laarne sisestruktuur.

Üks probleeme paistab olevat see, et fotosünteesiline ehk assimileeriv rakk ei saa hästi samal ajal olla lagundav ehk dissimileeriv rakk (nt tselluloosi lagundaja). Ent see polegi tarvilik, sest koe erinevad rakud võivad olla erinevate funktsioonidega. Veelgi enam, kui elus keha on holobiont, koosnedes eri liikide rakkudest, saab ka nende funktsioon olla väga erinev. Ent selle tulemiks on eluskeha ruumiline heterogeensus.

Kuivõrd pinnaühiku kohta neelatav energia on piiratud, energiat vajab aga eluskeha iga ruumiosa, siis määrab see ka metaboliseeruva keha maksimaalse paksuse. Rubneri reegli kohaselt on ainevahetuse intensiivsus proportsionaalne keha pindalaga – mida rohkem on assimileerivat pinda kehamassi ühiku kohta, seda intensiivsem on ainevahetus. See seos kehtib võrdlemisi hästi homöotermsete loomade põhiainevahetuse kohta. Ent ainevahetuse intensiivsus võib igal organismil kõikuda väga suures ulatuses ning assimileeriva pinna suurus ei ole ainus piirav faktor.

Energiavajadus tuleneb eluskeha metabolismiks vajaliku energia, energia transpordiks vajaliku energia ja kehas toimuvate liikumisprotsesside tagamiseks vajamineva energia summast.

Metabolismiks vajaliku energia hulk sõltub taastamisprotsesside intensiivsusest. Taastamisvajadus omakorda oleneb struktuuride stabiilsusest. Enamik organismide orgaanilisi aineid on tavatingimustes võrdlemisi stabiilsed. On tähelepanuväärne, et enamik orgaanilisi aineid Maal ei lagune mitme aastasaja ulatuses muidu kui neid aktiivselt, organismide endi poolt ei lagundata. Organismides toimuvad taastamisprotsessid on valdavalt prospektiivsed – ennetavad ja ülemäärased, st struktuure lagundatakse väga sageli enne kui nad ise lagunevad. Metabolismi aktiivsus (ja ühtlasi energiavajadus) on seega märkimisväärselt liiane.

Näiteks taimede puhul ongi näidatud, et taastamise intensiivsus (mida mõõdetakse taastamishingamise kaudu) sõltub energiaga varustatusest, mitte niivõrd taastamisvajadusest (Kull, Kull 1989). Kui koesse jõuab suhkruid (mida energiaallikana kasutatakse) rohkem, on ka taastamis-

protsessid intensiivsemad, st struktuure vahetatakse välja rohkem. Organismid saavad aga püsida ka väga madala taastamisintensiivsuse juures. Teisisõnu, madalam taastamisintensiivsus pakub võimaluse olla suurem.

Energia transport nõuab ise energiat. Mida suurem on eluskeha, seda suuremad on energia transpordi kulud. See võib piirata keha maksimaalset suurust. Energia kohalejõudmine võib olla lahendatud energiarikaste ühendite liikumisega sügavamatesse kihtidesse, elektrilise ülekandega või ka vahendajalt vahendajale ülekandega (kus üksik vahendaja liigub edasi-tagasi vaid lühikese vahemaa).

Energiakulust tuleneb soojusproduktioon. Pidades silmas metabolismiks sobilikku temperatuurivahemikku, on keha võimalik suurus seotud ka ülekuumenemise piiriga.

Energeetilised piirangud eluskeha suurusele on kahtlemata olulised, kuid ilmselt võimaldavad märksa suuremate organismide olemasolu kui teadaolevalt Maal leidunud.

### **Gaasivahetusega „tallus“**

Seni vaatlesime eluskeha suletud süsteemina. Mis on teistsugune, kui eluskeha on avatud süsteem?

Kihtorganism, kes vahetab atmosfääriga aineid, on ilmselt mõnevõrra teistsuguse siseehitusega, sest lisaks energia-kandele peavad kehas suuremal määral liikuma ka mõned ained. Ent kui energiakanne käib suletud süsteemis ainete liikumise kaudu, siis pole erinevus, mis tuleneb avatud süsteemis ainete endi (kui ehitusmaterjali) liikumise tarvidusest, just väga suur.



Veelgi enam. Kui eluskeha suuremaks ei kasva, siis on tema ainevahetuse bilanss null, ehk teisisõnu sisend ja väljund on võrdsed. Kui see tähendab ka ühesuguseid aineid sisendis ja väljundis (nt fotosünteesil seotav süsihappegaas ja hingamisel samas koguses eralduv süsihappehaas), siis ei ole ainevahetuse seisukohalt vahet, kas süsteem on suletud või avatud, kas „atmosfäär“ asub kehast väljas või keha sees. Vahe on aga oluline, kui sisendis ja väljundis olevad ained on erinevad, ehk teisisõnu kui metabolismitsükkel ei ole täielik. Enamik organismide puhul on just nii – mõnesid oma koostisosi ise ei taastata. Näiteks taimed jätavad oma rakukestad teistele metaboliseerida.

Ent kui tegu on holobiondiga, kes sööb ise selle, mille väljutab, siis on metabolismitsükkel täielik ehk sama hästi kui suletud. See on nagu samblavaip kaljupinnal, mis küll kasvab, kuid ei paksene, sest surnud osa lagundatakse vaiba sees seente, bakterite, nematoodide jt poolt ära samapalju, kui teda juurde tuleb. Ja kui miski teda ei löhu, võib ta sel moel kesta miljon aastat või kauemgi.

Samas, gaasivahetuse ja ainelise avatuse tõttu saavad holobiont või kooslus oma suktessioonis massi kasvatada. Süsiniku tihedus (*carbon density*), mis võib olla koosluse elutiheduse mõõt, saab koosluse struktuuri evolutsiooniliste muutustega koos suurenedagi.

Mis aga puutub elustalluse morfoloogiat avatud süsteemis, siis pole põhjust eeldada, et see püsib pealt sile. Autokatalüütilise kasvu korral (aga eluprotsessid on olemuslikult autokatalüütilised) ei ole lihtsad geomeetriselised vormid stabiilsed. Väiksed juhuslikudki erinevused ressursitasemes viivad kasvukiiruste erinevusteni, mis omakorda muudavad

vormi, võimalik et pöördumatult. Elumere pind ei rahune ka tuuletu ilmaga, elulained ei kao. Homogeensena elu ei püsi. Kui ruumi eluga täitumine võib võimalik olla, siis vaid heterogeenselt.

### **Linn ja leht – ühtmoodi struktuur ökosüsteemis ja organismis**

Inimesega ökosüsteemides on eluskehade väliseid ehitisi suhteliselt palju. Ent ka inimese ehitised on ökosüsteemi osad ja ökosüsteemi protsessidega piiratud.

Pinnalised, ennast taastootvad üksused võivad elada ilma vajamata ressursse naaberterritooriumidelt, võib piisata sellest mida saab ülalt ja alt. Niisugune on samblik sambliku kõrval kivil, niisugune on talu talu kõrval maal. Nad on naturaalmajanduslikud.

Linn on aga niisugune elanike ala, kus välisvarustus mujalt territooriumilt on tingimata vajalik. See puudutab nii ehitusmaterjale kui toitu. Taimleht on samataoline – temalgi on väljastpoolt vaja saada vett. Linn ja leht sõltuvad transpordist.

Kui ainete liikumine toimub allikast kõigi tarbijateni läbi vahepeal olevate tarbijate (organismis läbi naaberrakkude, linnas läbi naaberõuede), siis on tee alguses liikuva tarbitava aine kontsentratsioon kõrgeim ja voog suurim. Piirang tee pikkusele ehk tarbijateala suurusele tuleb peagi kätte, sest transpordiallikale kõige lähedasemal alal pole enam ruumi voo suurendamiseks (ehk takistus transpordile on liialt kõrge).

Et läbivool poleks ülepinnaalne, on olemas transporditeed, millel takistus transpordiks palju väiksem. Linnas tänavad, lehes juhtsoontega rood. Nende kaudu on võimalik, et

iga taastootev üksus saab materjali transporditee kaudu, mitte naaberüksuse kaudu. Ühtlasi pole siis taastootvad üksused ise läbivoolualadeks naabrilt naabrile. Niisiis nii linnas kui lehes jõuavad rajad iga üksuseni. Iga üksuseni jõudmise tingimus loob radade struktuuri ning võimaldab kõigil üksustel olla enam-vähem ühesugustes varustustingimustes.

Kui ka materjali kohaletuleku kiirus loeb ja teedele kuluv pind peaks olema võimalikult väike, siis on etem, kui teed on erineva laiusega, vastavalt sellele, kui palju materjali nende kaudu veetakse.

Neil tingimustel (mis ongi täidetud nii linna kui lehe puhul) kujuneb erilaiuste radade süsteem. Linnas on selleks tänavate võrk, mis ulatub iga väikese majaderühmani. Sama-taoline on ka veresoonestik, mis varustab mingit koepinda, või õhku andev tiivasoonestik putukail.\*

Kui mõne rajaga võib midagi juhtuda, siis sellest on väljapääsuks radade võrguline struktuur. Võrgulise struktuuri puhul pääseb iga üksuseni mitut kaudu. Ükskõik, kus punktis üksik rada sulgeda, kellegi varustamist see ei katkesta. Puu-tüüpi hargnemisstruktuuri puhul see nii ei oleks.

Rajalaiuste arvuliste vahekordade, hargnemisnurdade jm kohta on optimaalsusprintsüübigi lähtudes mudeleid tehtud ja mitmed morfoloogia seaduspärad sõnastatud (nt Corneri reeglid, Leonardo da Vinci reegel, Murray reegel, Roux reeglid).

s

---

\* Nende võrdluste tõepära kohta mõnede arvuliste parameetrite osas vt nt Barthelemy 2016: 94–95. Lehtede soonemustri kohta vt Kull, Herbig 1994; põhjalikumalt Roth-Nebelsick *et al.* 2001.

## Mida elusaine toimetab? Miks üldse metabolism?

Mida elus keha teeb? Ja miks ta üldse elab? Mis seal elus kehas siis õigupoolest üldse toimub, kui tal välisega asja pole?

Toimub püsiv enesetaastamine. Ained võetakse koost lahti ja pannakse jälle kokku. (Kui need protsessid pole võrdmäärased, siis toimub kas kasv või kahanemine.) Peaaegu mitte midagi muud. Kuna see nõuab energiat, siis on tarvilik energia kohalevedu. Kuna seejuures eraldub soojust, peab soojuse ära-vool olema tagatud. Kui kokkupanek ja lagundamine toimuvad ruumiliselt lahus, siis peavad ka ained (või struktuurid) natuke liikuma.

Humberto Maturana (1980: 9) kirjutab: „Ringlev organisatsioon, milles seda määratlevad *komponendid* on need, mille sünteesi või säilitamist see organisatsioon garanteerib, mille funktsioneerimise tulemuseks on sama funktsioneeriv organisatsioon, mis neid toodab, ongi elusorganisatsioon“.\*

Miks see ainete lahku-kokku panemine käib? Mis hoiab ainevahetust töös?

Aluseks on autokatalüüs – protsessidevõrgus sündiv positiivne tagasiside, mis tekitab „esmase elujõu“. Metaboolsed süsteemid on ühtaegu autokatalüütilised süsteemid. St iga reaktsioon on sellest hulgast katalüüsitud ja iga aine selle võrgu produkt. Seeläbi ongi elusaines saavutatud funktsionaalne suletus ja enesetaastus.

---

\* „The circular organization in which the *components* that specify it are those whose synthesis or maintenance it secures in a manner such that the product of their functioning is the same functioning organization that produces them, is the living organization.“

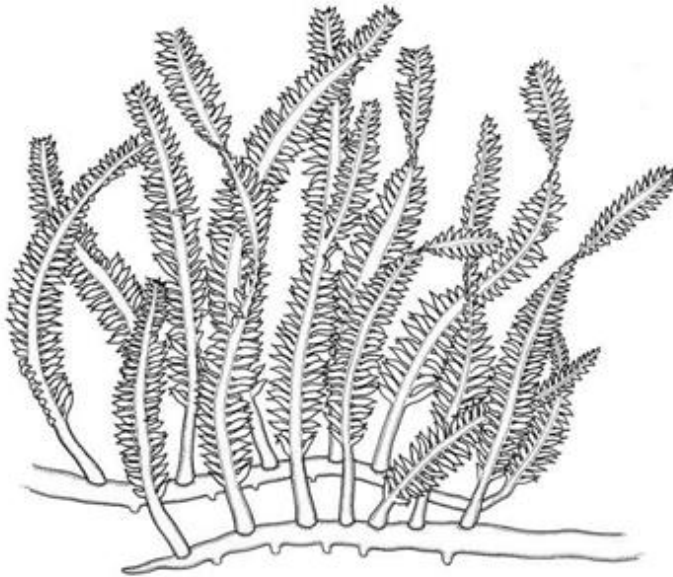
Kui ainete ja neist moodustatud struktuuride mitmekesisus läheb suureks (mitmekesisuse suurenemine on aga iseeneslik tendents elussüsteemides – McShea, Brandon 2010), siis on ka kogu enesetaastussüsteem õige keerukas. Lõpeks nii keerukas, nagu see ökosüsteemis ongi.

### **Metabolism ja rakuline organisatsioon**

Elusaine üks väga üldine iseära on see, et ta koosneb rakkudest. Mis (ja kuivõrd) hoiab alal elu rakulist organisatsiooni? Miks on elu rakuline?

Siiski, hulkrakseil organismidel toimub palju ka rakuvahe ruumides. Mitmed ensüümid toimivad väljaspool raku membraani. Organismi sees, aga väljaspool rakke, võib paikneda võrdlemisi keerukas struktuur. Taimedel ja seentel asuvad seal rakukestad. Rakuvahe ruumid võivad moodustada torusid, õõsi, neid võidakse avada ja sulgeda (taimedel õhulõhedega, loomadel suu ja pärakuga ning mitmel muul moel). Rakuvahe ruumides toimub ainete liikumine ja ka aktiivne transport (loomade veresoontes, putukate õhusoontes, taimede ksüleemis), neis ruumides oleva ainega toimub läbi membraani ainevahetus, sealhulgas gaasivahetus. Mõnel puhul on raku piiritus ise ebaselge, nt sünsütsiumides (kui rakud osaliselt liituvad) või tsönoobiumides (tsönotsüütides, kui pooldumisel ei moodustu eraldavat membraani) – näiteks rohevetikal *Acetabularia*, kelle ainurakne keha on mitme sentimeetri pikkune, ja samuti ainuraksel rohevetikal *Caulerpa taxifolia*, kelle suurus Vahemeres võib ulatuda üle meetri. Naaberrakkude tsütoplasma võib olla otseühenduses plasmadesmide kaudu (taimekudedes); taimede floemis moodustavad sõeltorude elusrakud vahetult rakust rakku liikuvate

ainete transpordisüsteemi. Surnud rakkude kestad ja õõned võivad olla funktsionaalselt olulised, näiteks taimede ksülemis transpordisoontena. Niisiis, rakulisus ise on suuresti ebamäärane.



Üherakuline makrovetikas *Caulerpa taxifolia*. (Wikimedia CC.)

Ent kuigi ebamäärane, on rakulisus ikkagi oluline ja miskipärast möödapääsmatu. Üks põhjusi võib olla ajalooline – esmased elussüsteemid olid rakulised. Metaboolse uuenemismehhanismi väljakujunemine nõudis raku. Autokatalüütilise protsessitsükli komponendid ei või laiali hajuda, nende kontsentratsioon peab olema enesetaasteks piisav. Bakterite seas on rakulisus selgem kui eukarüootide juures. Näeme, et elu evolutsioonis rakulisus järk-järgult kaotab oma selge-

piirilisust, keerukamatel organismidel ilmuvad sünsüütsiumid ja lisandub mitterakulisi struktuure. Membraanide roll seejuures ometi ei kao, veelgi enam, membraanid keerustuvad. Peaaegu kõik orgaanilised reaktsioonid toimuvad membraansüsteemidega ümbritsetud ruumis või nende pinnal.

Niisiis pole mitte rakulisus universaalne elu omadus, pigem on seda membraanide olemasolu, millega koos kõigil organismidel rakulisus ka suurel määral säilib. Membraanidega on seotud aga toimete vahendatus.

Põhilisi membraanidega seotud toimete vahendamise mehhanisme on signaali transduktsioon. See on elu esmasemaid ja lihtsamaid koodmehhanisme. Membraanidel asuvad kahe aktiivtsentriga ensüümid, üks tsenter ühel, teine teisel pool membraani. Need ensüümid ongi koodimoodustajad, vahendades mõjuülekannet ilma ainet üle kandmata. Membraanid tagavad vahendajate suhteliselt püsiva ruumilise jaondatuse.

Ruumiline jaondatus on ühelt poolt seotud informatsiooniliste nähtustega, teiselt poolt metabolismiks tarviliku ruumilise ligiduse ja kontsentratsiooni hoidmisega. Kui aga kogu ümbrusruum on elusainet täis, siis laialivalgumist tähtsava funktsioon pole asjakohane, küll aga ruumilise heterogeensuse hoid, mis metabolismi täielikkuseks tarvilik.

### **Katalüüs ja kood ehk informatsioonilise tahu päritolu**

Metabolismi suletuse ehk taastamistsükli täielikkuse tagab suure ja mitmekesise hulga katalüsaatorite (ensüümide) olemasolu, mille kaudu kõik orgaanilised ained süsteemis on muundatavad, nii sünteesitavad kui lagundatavad. Taastamis-

protsessidest suure osa moodustabki ensüümide süntees ja degradatsioon.

Polükondensaatide – valkude ja nukleiinhapete – tähtis iseära on see, et nende abil saab spetsiifiliselt ühendada ehk omavahel siduda niisuguseid aineid, mis muidu ei seostu või ei saagi seostuda. Polükondensaadid on vahendajad. Vahendaja on see, mis ühendab midagi, mis muidu ei ühenduks. Vahendaja loob arbitraarsuse.

Vahendaja võimaldab (arbitraarsuse tõttu) üleminekut füüsikaliselt suhtelt informatsioonilisele ehk loogilisele suhtele. Vahendajate tõttu on võimalik modelleerida nii, et üks struktuur jäljendab teist (nt nagu geneetilise koodi puhul valgu primaarstruktuur saab vastavaks RNA primaarstruktuurile, kuigi nende vahel vahetu stereokeemiline vastavus puudub).

Lihtsa katalüüsi puhul käib protsess vastavalt katalüsaatori kohalolule või puudumisele kas kiiresti või aeglaselt, kuid suhtes puudub arbitraarsus. St protsess ei saa tekitada midagi muud kui ikka üht ja sama, keemiliselt ettemääratud. Vahendaja olemasolul on aga võimalik, et ühenduvad keemiliselt täiesti „võõrad“ ained: nt üks aine aktiveerib ensüümi (vahendaja), mis seetõttu muundab hoopis teise aine.

Vähegi keerukama metaboolse süsteemi enesetaastamine (seega püsivus, stabiilsus) ei oleks vahendajateta realistlik. Endtaastav süsteem on teisisõnu homöostaatiline. Homöostaas on niisugune tasakaal, mille hoidmiseks tuleb teha tööd (füüsikalises, energeetilises mõttes). Vahendajate olemasolu võimaldab tasakaalumehhanismi haarata peale otseste ka kaudsed faktorid, peale aktuaalse ka potentsiaalsed toimed ja muutused.



Vahendaja on koodikandja, koodimoodustaja. Koodsuhted on aga semiootilised suhted. Koodsuhted on vabaduse aluseks. Informatsioonilise ehk semiootilise tahu ilmumine tekitab võimalusterohkuse nii uute struktuuride ilmumiseks kui ka nende struktuuride stabiliseerimiseks eneseuunduse kaudu.

Kogu kommunikatsioon toimub vahendajate kaudu, kõigil tasandil, molekulaarsest signalisatsioonist rakkudes või rakkude vahel kuni keerukaima kommunikatsioonini kultuurides või kultuuride vahel. See on siis informatsiooniline tahk metaboolses enduundavas elussüsteemis.

### **Kokkusobivuse tingimused**

Tiheda kooselamise puhul on püsimise oluliseks tingimuseks kokkusobivus. Kokkusobivus on nii tingimuseks kui süsteemi organiseerivaks teguriks.

Kokkusobimatuse näiteks on enesemürgitamine ainevahetusproduktide („jääkide“) poolt. Suur elus keha eeldab head metaboolset tasakaalu, st et ei toimuks enesemürgitamist ning kõik on ringluses. Kui eeldada, et seda on raske saavutada, siis on loomulik, et toimub struktuuride sisemine valik (Whyte 1965). Kui pole indiviide, vaid üks suur keha (nagu meie mudelis), siis saabki kogu („looduslik“) valik olla üksnes kehasisene.

Teisalt paistab kiirem metabolism möödapääsmatult moodustavat rohkem mürke. Loomadel esineb lämmastiku-praht (*nitrogen waste*) kui osa metaboolsest prahist (*metabolic waste*), aeglasema ainevahetusega taimedel mitte niivõrd.

Kiiremaid protsesse, kiiremat ainevahetust on raskem tasakaalustada.

Võib eristada mitut kokkusobivuse tüüpi: keemiline, dünaamiline ja semiootiline.

**(a)** Keemiline kokkusobivus seisneb erinevate ainete koosolemise võimalikkuses. Membraaniga eraldatus võimaldab koos olla ka neil, kes kokkupuutes teineteist muundaksid. Sellest siis ruumiline struktuur.

**(b)** Dünaamiline kokkusobivus seisneb selles, et erinevad protsessid teineteist hävitamata kesta saaksid – teisisõnu, et bilansid oleksid tasakaalus. Üks dünaamilise kokkusobivuse näiteid on konkurentsi puudumine. Et see saab nii olla, on näidatud mikroobikoosluste puhul (Pacheco *et al.* 2019) ja on kaunis ilmne paljudes organismisiseses suhetes. Üheks dünaamilise kokkusobivuse tingimustest tulenevaks nähtuseks on elurütmid, üldisemalt eluprotsesside ajaline struktuur. Mis ei saa kokku sobida samaaegsena, saab seda siiski, kui protsessid on ajaliselt lahutatud.

**(c)** Semiootiline kokkusobivus on koodide sobimine. St et mitme koodi olemasolul ei satuks nad konflikti, üks neist ühele, teine teisele poole kiskuma, nt üks protsessi kiirendama, teine aeglustama või muul moel segama. Siingi on lahenduste seas ajaline ja ruumiline struktureeritus, mis võimaldab eraldatust. Ent on ka teine lahendus – erinevate märgisüsteemide kujunemine. Need saavad koos olla samas ruumis ühel ajal.

Loomulikult esineb kokkusobimatust igal nimetatud tasandil. Süsteemi arengus või evolutsioonis ei saa uute kokkusobimatuste ilmumist vältida. Nii on kokkusobimatused süsteemi organiseerumist tingivad nähtused. Veelgi enam –

semiootiline ehk koodide kokkusobimatus on kogu vaimse maailma kujunemise eelduseks.

### **Mida lisab semioos ehk tähendusloome ainevahetusele ja eneseuendamisele?**

Tajuprotsess (*process of cognition*) on Humberto Maturana järgi (1980: 13) omane kõigile elusorganismidele. Kaunis sarnaselt ütleb Jean Piaget (1971: 203): *To identify the two most essential characteristics of life, one can say, with all other writers, that life is „the creator of forms“ (Brachet)\* or that it is „invention“ (Cuénot),<sup>†</sup> which incorporates, as a necessary condition or consequence, the idea that it is always extending its conquest over environment. It should quickly be noted that these are also the two most central characteristics of every kind of cognition and that they epitomize the mechanisms common to life and to knowledge.*

Tõepoolest, organismi esmased semiootilised suhted on pigem endosemiootilised kui väliskeskkonnaga seotud. Tuleb tähele panna, et enamike organismide jaoks on väliskeskkond väga vaene. Rikkaks saab see üksnes aju ja paljuretseptoriliste tajuorganitega loomadele. Seevastu sisekeskkond on väga mitmekesine ja rikas kõigis elus kehaes. Vaimul on iseendaski huvitav olla.

Organismi sisemine heterogeensus on kokkusobivustingimuste vältimatu tulemus. Sellest johtub funktsioonide ruumiline jaotus ja vahetusprotsessid, samuti ajaline ebaühtlus.

---

\* Viidatud raamatus on 'Borachet', siin parandatud prantsuskeelse väljaande järgi (Piaget 1973: 284). Vt Brachet 1927.

<sup>†</sup> Vt Cuénot 1946.

Hulkrakses organismis on see tavaline. Oluliseks heterogeensuse tagajaks on sisemine kommunikatsioon.

Kommunikatsiooni areng eeldab õppimisvõimet ja keskkonna ennustatavust – kas keskkonnamuutuste rütmilisust või liikumist ümbruse suhtes, millest rütmilisus johtub. Paksu elus vaiba puhul, kus väliskeskkonnaks on vaid rütmiline päikesevalgus, pole vertikaalsuunas eriti midagi kommunikeerida, mistõttu võib hakkama saada kaunis lihtsa kommunikatsiooniprotsessiga, nagu see näiteks puuvõra ja juurte vahel ongi. Ei ole ulatuslikul tallusetaolisel elussüsteemil ilmselt ka mingit alust keskseks integratsiooniks.

Põhimõtteliselt võib fotosünteesivas hiigelmatis olev kommunikatsioonivõrgustik muidugi moodustada ajukooretalolise struktuuri. See eeldab lisaks vertikaalsetele kommunikatsioonikihtidele ka horisontaalsuunaliste seoste mitmekesisust. Et niisugusel paigaloleval suurel sammalajul aga üldse midagi kategoriseerida oleks, ehk alust intellektuaalseks tegevuseks, peaks ta siseliikumine olema piisavalt keerukas ja rütmide rikas. Kui kooslusmati sees on õõsi ja seal liigub ringi õppimisvõimelisi osaorganisme, võiks seegi eeldus saada täidetud.

### **Kooslus on keha**

Niisiis, eluskeha on kooslus. Ta on holobiont, nagu seda rõhutab sümbiosipõhine vaade (Gilbert *et al.* 2012). Ent seda vaadet pidi edasi minnes jõuame järeldusele, et see väide on sümmeetriline. See tähendab, kehtib ka, et kooslus on eluskeha.

Peangi seda eelneva arutluse kõige olulisemaks pilgu-  
avanemiseks – vaadeldes elukooslust näha selles eluskeha.

Keha, mis sellisena end organiseerib, peaaegu parimal võimalikul viisil. Ka tema ajuti lahusliikuvad osad on selle keha koostisosad. Isegi need ta osad, kel tiivad, ei lenda koosluse sees eriti pikki maid. Valdav osa lennuvõimelisi putukaid ei lahku oma elu jooksul kaugemale kui mõnikümmend meetrit – nad lendavad, aga vaid lähiümbruses. Taju ja kommunikatsioon toimuvad selle eluskeha-koosluse sees.

Organismide aineiline avatus on avatus ökosüsteemi ainelise suletuse sees. Suletud tervik koosneb avatud osadest. See ongi üks vastuseid – lahendusi – loo alguses kirjeldatud paradoksile.

See jutt siin, mõtlen, on ka laiemalt oluline. Jutt on üleminekust paljunemispõhiselt vaadelt taastumispõhisele vaatele, ja mitte ainult bioloogias. Ka majandusteoorias on vajalik üleminek kasvumajanduse mudelitele püsijanduse mudelitele, ning mitte ainult teoorias, vaid ka elus.

### **Kokkuvõttes**

Niisuguste küsimuste (ja mudelite) läbimõtlemine aitab mõista, mida eluskeha teeb, mis asja ta ajab. Tähtis on, et me ei lähtuks individide paljunemisest, vaid üldisemast mudelist, elus kehast. (Humberto Maturana tegi samuti, seega jätkame auto-poetilisest teooriast ökoloogia ja biosemiootika suunas).

Kaks raskemat küsimust vastata olid: miks üldse metabolism, ja miks seejuures semiootilised suhted?

Suure elus keha puhul võib tunduda lahtiseks jäävat küsimus, mis tähendab „üleni elus“. Kas organism on üleni elus, kui ta rakkudel on vaheruumid? Kui vaheruumid ei loe, siis võib ju metski olla üleni elus. Tõepoolest, elu mõiste ise

selgineb seeläbi. Organismi (holobiondi) siseõõned ja ruum metsapuude vahel – ökosüsteemi siseruum – ei erinegi põhimõtteliselt.

Kokkuvõttes – võime mõista, et ökosüsteemid, kus elame, ongi tihedalt kooselav elu, nii tihedalt, kui see püsivalt ja enam-vähem rahulikult võimalik on. Ent samuti mõistame, et elu saab ilmselt ka tihedam olla. Koos keerukuse kasvuga on võimalik järjest suurem tihe eluskeha.

Näeme makroevolutsioonilist tendentsi – ökosüsteem täitub, ehk organismistub, ehk läheb tihedamaks. See toimub mitmes tunnuses:

- (a) range rakulisus mõnevõrra väheneb;
- (b) homöostaatilisus liigub rakust ökosüsteemi tasandile;
- (c) eluga täidetud suureneb;
- (d) sisestruktuur keerustub;
- (e) indiviidsus väheneb, konsortsiaalsus suureneb;
- (f) kodeeritus rikastub;
- (g) mitmekesisus suureneb;
- (h) plastilisus suureneb;
- (i) õppimisvõime ehk semioosilisus kasvab;
- (j) elus(am)us suureneb.

Need muutused on muidugi väga aeglased. Ent milline on biosfäär miljardi aasta pärast? Need tendentsid juhatavad vastuse.

### **Naturalisti pilk ja pilt: kuidas orienteeruda looduses**

Peale teadusliku lahenduse elu avatuse-suletuse paradoksile annab taoline arutlus midagi veel. Ta nihutab looduseuurija pilku, vaateviisi, mis mõjutab märkamist, küsimusi, mida küsime, sellest johtuvalt ka edasist arusaamist ja lõpeks me olemisviisi.

Esmalt: märka, et oled ökosüsteemis. See on kõige tähtsam – ökosüsteem on tervik, sina selle osa, selle sees. Ökosüsteemi kui terviku nägemiseks vaata aineringeid. Need käivad kõik läbi eluskehade. Välja arvatud osa vett, mis sajab ja aurub ka organismi läbimata. Vett ajab ringi Päike. Aga märkimisväärne osa veestki peab kehade kaudu käima, sest see aitab aineid liigutada.

Niisiis näed, et ökosüsteem on eluskeha – kohati hõredam, kohati tihedam, koos kõigega, mis tas ringi käib. Linnud taevas, taimed kõigega, mida nad kannavad, muld, veelukad. Nad ei tegelegi muuga kui eneseuundamisega ses paigas. Holobiondid, konsortsiumid, kõik koos on kooslus, kiht, elu, paiga ainevahetus. Läbi mulla, koos mullaga, suured elukad kaasa arvatud, kõike läbiv, aina korduv taastumisprotsess. Süsinik on see, mis neid kehi kasvatab, ja see tuleb õhu kaudu või otse teistest kehadest või nende laipadest. Kui kehad jällegi kahanevad, siis annavad nad süsiniku kas õhu kaudu või otse teistele eluskehadele tagasi. Lämmastikku võtavad õhust näpuotsaga mõned bakterid, kellelt see siis teistele edasi saab ja omavahel liigub, mulla ja vee kaudu ka, natuke vahel õhku puistudes.

Sellele vaatele, selgele bioloogipilgule, avaneb siis ümbrus kui elusa keha sisemus – elus keha ise. Kõik rakud, kes selle moodustavad, rohkem või vähem koos või lahus,

moodustavad enduuendava keha. Elame elusa sees. Suhtlemine on sisene.

Kui kujutleda puulatvade kõrgusele lõputu klaaskatus, siis vaibuks vast tuul, ja meredki kattuksid ujuva metsaga. Vastu klaasi litsuks end elusaine kui ajukoor. Võib-olla ehk mõnel planeedil elu ongi niiviisi klaaskatuse all.\* Et Maa kasvuhoone on katusetu, siis on ka meie kooslusemets õige sakiline.

Kõikjal kus saab, kattub Maa paksu elusa roheka vaibaga. Nii paksu ja tihedaga, kui võimalik. Pigem veidi vedela kui päris tahke, parajalt pehmega. Nii keeruka siseehitusega, kui võimalik.†

---

\* Peamine takistus selleks on ilmselt seotud termoregulatsiooni tagamise keerukusega. Lokaalse ülekuumenemise vältimiseks peaks ses elussüsteemis olema korraldatud tugev voolamine. Põhimõtteliselt võib ka teatud tüüpi atmosfäär koos suure aurumissoojusega vedelikuga hakkama saada temperatuurikõikumiste hoidmisega üsna kitsastes piirides, kuid nagu Maa näitest teame, on elul endal selles suur kaasosa.

† Üks siinse loo tõukeid oli koostöö tšehhi bioloogi ja semiootiku Anton Markošega, kui ta 2013. aasta septembris Tartus oli ning me kavandasime artiklit „What is a living body“. Käesolev on aga kirja pandud Puhtus 2020. aasta suvel. Tänan Lauri Laanistot heade täienduste ja täpsustuste eest.



## Kirjandus

- Baedke, Jan; Fábregas-Tejeda, Alejandro; Nieves Delgado, Abigail 2020. The holobiont concept before Margulis. *Journal of Experimental Zoology: Molecular and Developmental Evolution* 334: 149–155.
- Barthelemy, Marc 2016. *The Structure and Dynamics of Cities: Urban Data Analysis and Theoretical Modeling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Brachet, Albert 1927. *La Vie créatrice des Formes*. (Nouvelle Collection scientifique.) Paris: Félix Alcan.
- Caullery, Maurice 1931. *Le problème de l'évolution*. (Bibliothèque Scientifique.) Paris: Payot et Cie.
- Cuénot, Lucien 1946 [1941]. *Invention et finalité en biologie*. (Bibliothèque de Philosophie scientifique.) Paris: Flammarion.
- Fištein, Galina (Фиштейн, Галина) 1984. Структура сообщества микроскопических организмов в замкнутых микроэкосистемах. (Mikroorganismide koosluste struktuur suletud mikroökosüsteemides. The structure of a microscopic organisms community of closed microecosystems.) *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised, Biologia* 33(2): 137–143.
- Gilbert, Scott F.; Sapp, Jan; Tauber, Alfred I. 2012. A symbiotic view of life: We have never been individuals. *The Quarterly Review of Biology* 87(4): 325–341.
- Gitelson, Iosef I.; Lisovsky, Genry M.; MacElroy, Robert D. 2003. *Man-Made Closed Ecological Systems*. London: Taylor & Francis.
- Grossman, Galina N. 1990. Functioning of microbial communities in closed micro ecosystems. *Biology Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR* 17(2): 184–190. (Trans from: *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Seriya Biologicheskaya* 2: 261–268, 1990). [Tõlke ilmumisaeg 1991.]
- Hoffmeyer, Jesper 2008. Semiotic body. *Biosemitotics* 1(2): 169–190.
- Hoyle, Fred 1957. *The Black Cloud*. London: William Heinemann Ltd. [Eesti keeles: Hoyle, Fred 1967–1968. Must pilv. (Kalv, Peep, tõlk.; Valter, Edgar, ill.) *Horisont* 1 (1967) – 3 (1968).]
- Kull, Kalevi; Kull, Olevi 1989. *Динамическое моделирование роста деревьев*. [Dynamical Modelling of Tree Growth]. Tallinn: Valgus.
- Kull, Ulrich; Herbig, Astrid 1994. Leaf venation patterns and principles of evolution. *Mitteilungen des SFB* 230, Heft 9: 167–175.

- Lem, Stanislaw 1989 [1961]. *Solaris. Eeden*. (Puu, Aarne, tlk.) Tallinn: Eesti Raamat.
- Lillie, Ralph S. 1931. Types of physical determination and the activities of living organisms. *The Journal of Philosophy* 28(21): 561–573.
- Margulis, Lynn; Fester, René 1991. *Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation: Speciation and Morphogenesis*. Cambridge: MIT Press.
- Maturana, Humberto R. 1980 [1970]. Biology of cognition. In: Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J. *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. Dordrecht: D. Reidel, 1–58.
- McGhee, George R. Jr. 2015. Limits in the evolution of biological form: a theoretical morphologic perspective. *Interface Focus* 5: 20150034.
- McShea, Daniel W.; Brandon, Robert N. 2010. *Biology's First Law: The Tendency for Diversity and Complexity to Increase in Evolutionary Systems*. Chicago: University of Chicago Press.
- Meyer-Abich, Adolf 1943. Beiträge zur Theorie der Evolution der Organismen. I. Das typologische Grundgesetz und seine Folgerungen für Phylogenie und Entwicklungsphysiologie. *Acta Biotheoretica* 7: 1–80.
- Morowitz, Harold J.; Allen, John P.; Nelson, Mark; Alling, Abigail 2005. Closure as a scientific concept and its application to ecosystem ecology and the science of the biosphere. *Advances in Space Research* 36(7): 1305–1311.
- Pacheco, Alan R.; Moel, Mauricio; Segrè Daniel 2019. Costless metabolic secretions as drivers of interspecies interactions in microbial ecosystems. *Nature Communications* 10(103): 1–12.
- Piaget, Jean 1971 [1967]. *Biology and Knowledge: An Essay on the Relations between Organic Regulations and Cognitive Processes*. (Walsh, Beatrix, trans.) Chicago: The University of Chicago Press.
- Piaget, Jean 1973 [1967]. *Biologie et connaissance: essai sur les relations entre les régulations organiques et les processus cognitifs*. (Collection idées 288.) Paris: Gallimard.
- Pratchett, Terry; Baxter, Stephen 2012. *The Long Earth*. London: Doubleday.
- Roth-Nebelsick, Anita; Uhl, Dieter; Mosbrugger, Volker; Kerp, Hans 2001. Evolution and function of leaf venation architecture: a review. *Annals of Botany* 87(5): 553–566.
- Sato, Hisashi; Ito, Akihiko; Ito, Akinori; Ise, Takashi; Kato, Etsushi 2015. Current status and future of land surface models. *Soil Science and Plant Nutrition* 61(1): 34–47.

- Vernadski, Vladimir I. 1978 = Вернадский, Владимир И. 1978. *Живое вещество*. Москва: Наука.
- Welch, G. Rickey 1987. The living cell as an ecosystem: Hierarchical analog and symmetry. *Trends in Ecology & Evolution* 2(10): 305–309.
- Whyte, Lancelot Law 1965. *Internal Factors in Evolution*. London: Tavistock.
- Wilson, Robert A.; Barker, Matthew J. 2019. Biological individuals. In: Zalta, Edward N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. (Fall 2019 Edition).\*

---

\* <https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/biology-individual/>.



# Pioneeride esimestest jälgedest sügavusse kaevunud elukorruste ja jäljegildideni

---

**Oive Tinn\***

Ka kõige eluvaesemana näiv paik võib lähemal uurimisel osutuda elust kihisevaks paradiisiks. Kui hoolikamalt kaeda, võib siin-seal näha hõredat jäljerida, kellegi vonklevat roomamisjälge või mõne väsinud olendi puhkehetke reetvat kõhukontuuri.

Kivist elumärkide otsimine nõuab kannatlikkust. Kellelgi ei jääks märkamata suured luud, võimsad hambad või keeruka kujuga kojad, kuid nende puudumine ei pruugi tähendada, et kivist fossiile üldse ei ole. Tihtipeale on lugu risti vastupidi – kivimis (kunagises põhjasettes), milles tavapärased kehafossiilid puuduvad, võib leida suurepäraselt säilinud jälgi seal toimetanud loomade rikkalikust elutegevusest: roomamisest, sibamisest, puhkamisest, söömisest, isegi endale toidu kasvatamisest. Selline ootamatu vastuolu tuleneb asjaolust, et geoloogilised tingimused, mis soodustavad jälgede säilimist ja kivistiseks muutumist, on väga erinevad neist tingimustest, mis aitavad säilida organismide kõvadel osadel.

---

\*TÜ, ÖMI, oive.tinn@ut.ee

## **Kivistunud jäljed**

Kõige tuntumad kivistised – kehafossiilid – kujutavad endast nende loomade säilmeid, kellel olid sise- või välisskeleti näol olemas kõvad osad, samal ajal kui jäljekivistised ehk ihnofossiilid on suures osas produtseeritud pehmekehaliste loomade poolt. Just seetõttu ongi jäljefossiiliandmestik kallutatud sette sees elanud organismide poole. Enamgi veel, mõnes kivimikihis ongi jäljekivistised ainus tunnistus kunagisest elust.

Võrreldes kõigile tuntud kehafossiilidega on jäljekivististel mitu eripära. Esiteks, tüüpiliselt asuvad nad just seal, kus tekkisid. Vaid haruharva on nad transporditud ning neil puhkudel on see toimunud koos nn peremeesmediumiga, mis on loodusjõudude toimel, tihti koos muu settemassiga, oma asukohta vahetanud. Sellised erandid võivad olla näiteks puutüvedes, kodades või veeristes olevad käigud.

Jäljekivististe morfoloogia järgi võib teha mõningaid järeldusi jälje autori anatoomia ja käitumise kohta, kuigi absoluutse kindlusega polegi tihti võimalik endast jälje maha jätnud looma kindlaks määrata. Käitumist vaadeldakse siin lihtsa-keeruka skaalal, see võib ulatuda alates algelisest (nt ussitaolise looma liikumine substraadil) kuni väga komplekseni (ühiseluliste putukate ehitised). Üldistades võib öelda, et mida lihtsam on jäljefossiil, seda nõrgem on seos jälje ja konkreetse autori vahel. Kui aga morfoloogilisi tunnuseid on piisavalt (st jälg on piisavalt keerukas), siis võivad need anda piisavalt infot looma kaevumistehnika ja anatoomia kohta ning teatud piirini on isegi võimalik autor tuvastada.

### **Ühe autori mitu jälge vs. ühe ehitise mitu arhitekti**

Agas ... üks organism võib oma käitumist muutes toota palju erinevaid jälgi. Et asja keerukamaks ajada, tuleb lisada, et sama organism võib ka oma erinevates kasvustaadiumites tekitada erinevaid jälgi. Ja vastupidi – tänu konvergensile võivad erinevad organismid produtseerida üsna sarnaseid jälgi.

Loomulikult võivad ka mitu arhitekti olla üheainsa struktuuri autoriteks. Nad võivad toimetada selle kallal enam-vähem ühel ajal või erinevate nn bioturbatsioonisündmuste käigus. Esimesel puhul võib olla raskusi eri autorite tuvastamisega ning sageli on tegemist sümbiootilise või kommensalistliku suhtega. Teine juhtum on jäljefossiilide seas päris tavaline – enamasti on tegemist hüljatud biogeense struktuuriga, mis hõivatakse mõne uue asuka poolt. Selliseid jäljekivistisi, mis näevad välja nagu üksainus käigusüsteem, kuid tegelikult on paljude iseseisvate jälgede põiming, tuntakse komposiitaksonitena. Veelgi keerukamaks võib loo muuta tõdemine, et eri tüüpi setetes võivad sama looma ja/või sama tehnikaga tehtud jäljed säilida väga erinevalt.

### **Pioneerid**

Raske on Maal ette kujutada paika, mis oleks praegu organismide poolt asustamata. Meie teadmiste kohaselt ulatub biosfäär kilomeetrite sügavustest kivimikihtidest kuni kümnete kilomeetrite kõrguseni atmosfääris, kuumakõrbetest kuni Antarktise jääväljadeni, organismid on võimelised asustama kõige äärmuslikumaid keskkondi. Ikka leidub keegi, kellele paistab sobivat ka kõige karmimana näiv keskkond. Elu jälgi mööda ajas tagasi minnes on püütud aru saada, kuidas on uute keskkondade koloniseerimine toimunud. Kes olid need pio-

neerid, kes hõivasid esimestena tühjad nišid? On meil üldse lootust seda teada saada?

Üllatusena on selgunud, et hoolimata elu pikast ajaloost ja näiliselt lõputust eluks sobivate keskkondade hulgast, korduvad uute elupaikade hõivamisest järele jäänud jälgefossiilide mustrid omamoodi *déjà vu* nähtusena paigast paika ning ajastust ajastusse.

Kõigepealt ilmuvad sellistesse paikadesse väga väikesed ja peened, madalad, tihtipeale käänulised nn ussikäigud-toitumisjäljed (*grazig traces*), mida seostatakse merepõhjal või põhjamuda ülakihis liikunud väikesemõõduliste loomadega, mõnel puhul ka lüljalgsete poolt jäetud jäljeread. Peaaegu alati esinevad need jäljed koos mikroobsete struktuuridega – kortsuliste, vagudest ja vallidest läbitud kihipindadega, mida tuntakse ka elevantinaha nime all. Tüüpiliselt on algsed settestruktuurid väga hästi säilinud, pioneerid oma suhteliselt väikese aktiivsusega ei ole settekihte omavahel seganud. Ka mikroobimatid ise on aidanud jälgede säilimisele kaasa, tihtipeale on pisimatelgi jälgedel näha peened detailid.

Teisele kooslusetüübile on iseloomulikud madalad käigud ja roomamisjäljed (nt *Cruziana*) ja puhkamisjäljed (nt *Rusophycus*), millel on näha selge ornamentatsioon, mida tuntakse ka bioglüüfide nime all. Hästisäilinud bioglüüfid ja käikude teravad servad viitavad asjaolule, et sete oli tihenened ja kõvastunud. Seda tüüpi jälgefossiilide kooslusi on leitud ohtralt kahe perioodi settekeskkondades, mida muidu on üksteisega üsna raske seostada: Kambriumi-Ordoviitsiumi ja Alam-Triiase madalmerelises keskkonnas. Mõlemat iseloomustab epifauna ja ülemiste korruste setteelanike jälgefossiilid, sügavama taseme jälgede puudumine või väga harv esinemine.



Kolmandat tüüpi kooslusele on iseloomulikud horisontaalsed harunevad käigusüsteemid mingite sündmuste-eelsete liivakivi sündmusekihtide allosas. Need käigusüsteemid on säilinud piki litoloogilisi piire ega ole praktiliselt seganud algseid settestruktuure.

### **Asustamisindeksid**

Kuidas hinnata asustustihedust? Settes olevad jäljed säilivad kindlasti paremini kui sette pinnale jäetud jäljed ning annavad parema ettekujutuse konkreetset keskkonda asustanud olendite arvukusest.

Üheks lihtsamini kasutatavaks ning populaarseimaks on osutunud bioturbatsiooni määra hindamine Taylori ja Goldringi (1993) skaala järgi. Ilma jälgedeta sette bioturbatsiooni indeks on 0, selgelt eristuvate jälgedega hõredalt bioturbeeritud (1–4%) settekeskkonna bioturbatsiooni indeks on 1. Madalaks (BI = 2) peetakse bioturbatsiooni sellises settes, milles on säilinud algsed settestruktuurid (läbi on töötatud 5–30% settest). Keskmiseks bioturbatsiooniks (BI = 3) hinnatakse diskreetsete jälgefossiilidega (31–60%) ja ikka veel eristuvate kihipindadega setet. Bioturbatsiooni indeks 4 viitab juba sette intensiivsele läbitöötamisele (61–90%) ning jälgefossiilide suurele tihedusele, kus need tihtipeale kattuvad üksteisega ning algsed settestruktuurid on suures osas kadunud. Täielikult (100%) bioturbeeritud, tihtipeale ka korduvalt ümbertöötatud sette bioturbatsiooni indeks on 6.

Keerukaks teeb asukate hulga hindamise siinjuures irooniliselt vastuoluline tõsiasi, et ilma jälgedeta setet on tihtipeale raske eristada täielikult ümbertöötatud settest, sest kummalgi puhul ei ole üksikjalgi võimalik näha.

## **Kirjandus**

- Mángano, M. G.; Buatois, L. A. 2016. *The Trace-Fossil Record of Major Evolutionary Events*. (Topics in Geobiology 39.) Dordrecht: Springer.
- Seilacher, A. 1977. Evolution of trace fossil communities. In: Hallam, A. (ed.), *Patterns of Evolution as Illustrated by the Fossil Record*. (Developments in Paleontology and Stratigraphy 5.) Amsterdam: Elsevier, 359–376.
- Taylor, A. M.; Goldring, R. 1993. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society* (London) 150: 141–148.
- Taylor, A.; Goldring, R.; Gowland, S. 2003. Analysis and application of ichnofabrics. *Earth-Science Reviews* 60: 227–259.

# Inimtekkeline ülerahvastatus ja üksluisus taimemaailmas

---

**Sirgi Saar\***

*Praeguseks on tänu karantiinile paljud inimesed saanud proovida, mis tunne on taim olla ning kuidas saada pikemat aega hakkama enda lähedale kogutud ressursidega ja minimaalse liikumisega. Või kuidas on pikka aega tihedalt samade inimestega kokku pressitult elada.*

Põllutaimed elavad enamasti väga tihedalt koos ja intensiiv-põllumajanduslikus ideaalis nende vahele midagi muud ei mahugi. Kui neid liiga tihedalt külvatud saab, surevad osad ära, kuid summaarne biomass pinnaühiku kohta jääb samaks (konstantse saagi seadus, Harper, 1977), lihtsalt indiviidid on proportsionaalselt väiksemad ja vähem viljakad, kui neid on rohkelt tihedasti koos. Selline kokkupressitus ei ole tegelikult looduslikult midagi eriskummalist – kui vaadata mõnd looduslikku rohumaad, siis paljast mullapinda üldjuhul ei paista ning optimaalseid tingimusi seemnete tootmiseks tuleb

---

\*Valencia ülikool, Hispaania, sirgi.saar@ut.ee

looduses samuti harva ette. Pöögimetsas, kus pöögid suruvad maha teiste taimede kasvu, võib vaba pinda näha, nagu ka istandikes, kus inimesed rohivad, künnavad või mürgitavad (Hispaania palja mullapinnaga oliivisalud, vagudega kartuli-põllud jms), kuid rohumaa või valgusrikkama metsa puhul on kõik vähegi vaba pind hõivatud ja vihmametsas kasvavad taimed, nagu liaanid ja epifüüdid, isegi teiste taimede peal (maapinnal ongi liiga pime ja tuleb kõrgemale pürgida). Siiski pole ainult oma liigikaaslastega tihedalt kokku pressituna elamine looduslikes kooslustes tavapärane (välja arvatud ehk samblad või pilliroog, mille monokultuur on sageli klonaalse paljunemise tulemus). Isegi pealtnäha üsna ühtlases männimetsas on alustaimestik laiguti vahelduv, mitte lausaliselt sama liiki. Sellist laigulisust on seletada püütud nii mikrokeskkonna eripäradega kui ka lihtsalt juhusega, aga samuti taimede vaheliste interaktsioonidega (konkurents liigikaaslaste vahel on tugevam kui eri liikide vahel). Igatahes tundub, et looduses käib ka taimemaailmas koha pärast korralik rebimine.

Kuidas taimedele endale kasvada meeldiks, on muidugi vaieldav, sest me ei tea täpselt, mida taim võiks heaks eluks pidada, ja elu headus varieerub ilmselt olenevalt sellest, millise eluviisiga on taim. Halba elu on lihtsam ära tunda: ilmselt ei ole meeldiv olla taim, keda putukad söövad või kellel on liiga vähe vett või liiga pime. Stressireaktsioonid on üsna universaalsed, isegi neurotransmitteriteni välja, mis võivad taimedel ja loomadega olla samad molekulid, nii et seda, kui taimel on vilets olla, on üsna lihtne ära tunda (Ramesh *et al.*, 2015; Roshchina, 2010). Õnnelik taim võikski olla selline, kelle bioloogilised funktsioonid toimivad optimumilähedaselt: fotosüntees töötab hästi, õied meelitavad tolmeldajaid ligi ja keegi ei näri juurte kallal ning energiat jätkub nii kasvamiseks,

paljunemiseks kui ka kaitsefunktsioonideks, mis kipuvad üksteisega lõivsuhetes olema. Kui nii mõelda, siis põllukultuuride elu peaks päris mugav olema, isegi kui nad on tihedalt väikse pinna peale kokku surutud – toitainete ja valguse eest hoolitseb inimene, väetades põldu ja külvates kindlal tihedusel, isegi kahjurite tõrjumise funktsiooni on inimene pestitsiidide abil üle võtnud. Ainult ela ja õilmitse, kuigi sellisel majanduslikult efektiivsel moel, kus naabri elu on täpselt samasugune.

Kas põllutaimede elu on parem, sest nad kannatavad vähem kui looduses ja järglaste andmine on kindlam? Isegi kui neist järglastest enamik ära süüakse või järgmine põlvkond hoopis aretuskeskuses luuakse? Tegelikult on kodustatud taimed väga vaesed just oma (geneetiliselt) mitmekesisuselt. Näiteks pooled lõikelillena müüdavad pojengid maailmas on ainult ühest sordist. Kõik lõikelill-pojengid on omakorda aretatud ühe loodusliku liigi baasil. Suurem osa apelsine kuuluvad samuti ainult paari sorti, poebanaanid on praktiliselt ainult üks vegetatiivselt paljundatav sort. Mõneti on see ka evolutsiooniline tupiktee: ilma inimeseta pole kultuurtaimedel pikka pidu, nad ei suudaks piisavalt hästi oma looduslike naabritega konkureerida (triploidne kultuurbanaan ei levi isegi seemnetega). Lisandub ka geneetilise mitmekesisuse puudus – kui kiiresti suudaks nad keskkonnamuutustega kohaneda, kui enamik varieeruvust on selektsiooni teel eemaldatud? (Enamiku oluliste tunnuste poolest kipuvad kultuurtaimed olema homosügootsed, isegi kui nad on polüploidised.) Tundub, et inimkonnale meeldivad üksikud pikad ja peened geneetilised lõimed, mingi segapõimsusega ei viitsi keegi vaeva näha, eriti liikide puhul, mida globaalsel skaalal kasvatada annab. Loodus aga tühja kohta ei salli, igasugused umbrohud

ja muud ruderaalid (kellel on endalgi kalduvus lauspopulatsioon moodustada) on ootel, juhuks kui põllul koht vabaneb või inimlik hool ära kaob. Niisuguse kataklüsmi korral saaks praegu alla surutud looduslik valik kohe hoo sisse ja tõenäoliselt tekiksid lõpuks üsna huvitavad uued kooslused, tõi küll ilmselt ilma äratuntavate kultuurtaimedeta (välja arvatud ehk juhul, kui neil õnnestub mõne loodusliku lähisugulasega ristuda ja nõnda oma geene edasi kanda). Enamik taimeliike kasvab looduses paljuliigilistes kooslustes ja kuigi nende moodustumine pole alati kuigi sõbralik (idanditel käib tõsine olelusvõitlus), siis osad täiskasvanud taimed, näiteks mitmed puud, on nõus oma keskkonnaolude säilitamise nimel isegi liikidevahelist koostööd tegema (Klein, Siegwolf, Körner, 2016).

Liiga ühtlases taimestikis puuduvad seosed, aga mitmekesisus on arengu ja püsimise võti. Samas on kultuurtaimed inimese osavalt kodustanud end paljundama ... ja päris kindel pole, et põllutaimedel omavahel üldse muid interaktsioone peale konkurentsi ei leiduks. Hõlbustamist (*facilitation*) kasutatakse edukalt ökopõllunduses, kasvatades kaht või mitut kultuuri koos, mükoriisaseentele antakse samuti siin-seal võimalus (kuigi, kui taimed on piisavalt väetatud, siis sageli nad ei vaevu mingi sümbioosiga tegelema). Liigisiseseid positiivseid interaktsioone on samuti märgatud aina enam, tundub, et osad põllukultuurid suudavad siiski oma sugulasi ära tunda ja neile reageerida (Chen, Daring, Anten, 2012; Yang *et al.*, 2018). Siinkohal võib kõrge sugulusaste isegi (inimesele) eeliseid anda, kui äratundmisele järgneb konkurentsi vähendamine ja suurenenud allokatsioon saaki või miks mitte ka kaitsefunktsioonidesse.

Üks vähetuntud, kuid nutikas ja piisavalt segane idee taimede kaitsefunktsiooni kohta on eksorfiinhüpotees, mis sisuliselt väidab, et kultuurtaimed kultuuristasid inimese (ennast kaitsma ja paljundama), mitte vastupidi, nimelt seetõttu, et teraviljades leiduvad psühhoaktiivsed ühendid olid inimestele nii vastupandamatud (Wadley, Martin, 1993). Selline olukord ei saa arvatavasti loodusliku valikuga tekkinud olla, vaid on puhtjuhuslik, aga mingi iva võib selles hüpoteesis isegi olla. Toidul kindlasti on psühholoogiline efekt ja kuigi teraviljade kodustamine ilmselt on paremini seletatav asjaoluga, et tähtsaks on kaloririkas ja terad säilivad hästi, siis sai sooja piimaga teeb uniseks küll (veresuhkru ja trüptofaani tagasiside paneb keha rohkem serotoniini tootma ja see rahustab). Iroonilisel kombel pakkusid teooria autorid välja, et just eksorfiinid olid need, mis soodustasid inimestes tolerantsust paikse tiheasustuses elu suhtes, aga ka koostööd mittesugulastega ja leppimist ühiskonna hierarhias madalal pulgal olemisega.

Inimestele tundub sümmeetria ja ühetaolisus meeldivat – sellistes süsteemides on väiksem infoliiasus (*redundancy*), näiteks on palju lihtsam meelde jätta tänava nimi ja suund liikudes linnas, kui katsuda sama pikka vahemaad konkreetsetes suunas läbida metsas (ja mida korduvam, kuid samas ebasümmeetriline on ümbrus, seda raskem on suunda hoida). Üks selline seltskond, kellele tundub sobivat tihedalt kooskasvatamine, ongi mets (puud ja varjataluv alustaimestik). Metsa-ökosüsteemid pole oma olemuselt üldse mitte lihtsad – sümbiootilisi suhteid luuakse nii puude ja seente vahel kui ka puhtalt puude endi hulgas (juuresüsteemide kokkukasvatamine, süsiniku allokeerimine ühest puust teise jne; Pickles *et al.*, 2017), parasiitseid taimi leidub Eesti metsade alustaimestikis samuti omajagu. Homogeensed ja kultuuristatud metsad on võrreldes

looduslikega ka tormikahjustustele vastuvõtlikud (mööduka tuule puhul on mitmekesise kõrgusprofiiliga ja mitmest puuliigist koosnev mets stabiilsem kui hõrendatud ühtlane puistu) (Gardiner *et al.*, 2013) ning spetsialiseerunud kahjuritele kerge saak (üraskipaanika Eesti metsades).

Ühtlaseid süsteeme on lihtsam majandada (puupõldeks muudetud metsi, näiteks). Seepärast levivad ka monokultuurid hästi, kuna mitme vilja segu on keeruline koristada ja tarbimiseks ette valmistada, samal ajal kui lokaalselt on polükultuurid ennast õigustanud näiteks olukordades, kus puudub laiaulatuslik kaubavahetus või ligipääs taimekaitsevahenditele. Looduslikes oludes tuleks liiga suure ja ühtlase populatsiooni kallale haigused ja häiringud, mis suurendaksid mitmekesisust (nt haiguskindlamad genotüübid või liigid rändavad sisse või selekteeritakse olemasolevast populatsioonist). Taimed ei saa valida, kes antud kohas enne neid kasvasid, ega ka seda, kus täpselt nad idanevad. Natuke saab levimismehhanismide abil mõjutada seda, et järglased soodsatesse oludesse maanduks, kuid siiski enamik taimi saab juba idandina hukka, nii et nende elu ongi üsna üürike. Järgmiste taimede lisandumist saavad kohapeal olijad siiski kuigi palju mõjutada (mulla mikroobse tagasiside, otsese konkurentsi kaudu jne).

Inimõiguste kehtivus ei ole (või ei tohiks vähemalt praeguseks enam olla) tuliste diskussioonide teemaks, loomade õigused paiguti siiski on ja taimede võimalikesse õigustesse suhtutakse jätkuvalt kui kurioosumisse, millega veganeid kiusata. Samas, miks mitte ka taimedele tähelepanu osutada – see, et inimeste või loomadega kõik ideaalselt ei ole, pole absoluutselt põhjus taimedele mitte mõtlemiseks. Niisiis, kas taimedel võiks olla õigus looduslikule keskkonnale (ja naabri-



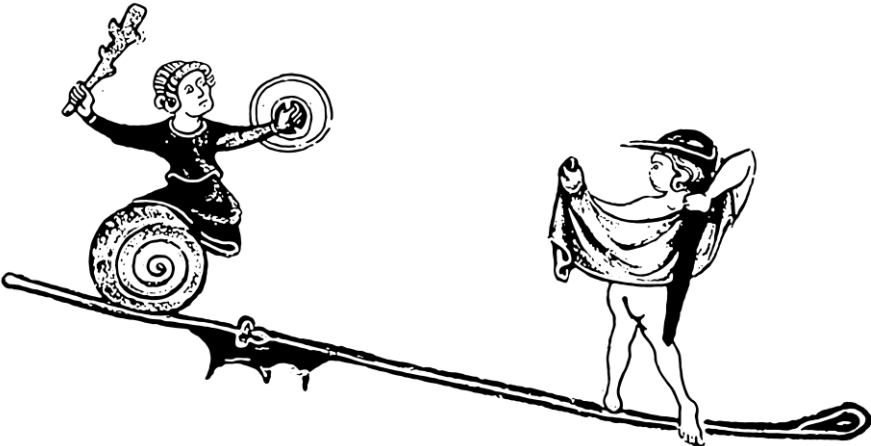
tele ning seostele) või on põllutaimede seisukohalt head hoopis väetis ja pestitsiidid? Taimede puhul ei saa ilmselt vaadelda indiviidi õigusi nii nagu inimestel või loomadel, aga subjektiivset heaolu siiski (Marder, 2013). Vabas looduses on taimede hukkumine üldiselt juhuslik, mitte süsteemne – tuleb mõni rohusööja ja näksib natuke, aga mitte igäüht võrdselt ja mitte kõiki korraga. Looduslikku ekvivalenti lageraiele pole põhimõtteliselt olemas – seda tüüpi häiringuid nagu põlengud või puid murdvad tornaadod ei juhtu väga tihti. Looduskaitsealad valib inimene ja igal taimel pole võrdset tõenäosust kaitsealale sattuda, ikka juhtub, et kellegi elupaik tehakse asfaltteeks või nisupõlluks. Isegi kui see keegi on võilill ja võilillil on miljoneid, on võilillel liigina kui mitte õigused, siis vähemasti huvid (Franks *et al.*, 2020; Treves, Santiago-Avila, Lynn, 2019). Inimeste arusaam õigustest on muidugi veidi omamoodi, lihtsam oleks öelda, et tulebki arvestada ka teiste eluvormide huvidega ja sealjuures muutub võib-olla meie arusaam õigusest ja õiglusest veidike arukamaks. Liigina on inimene pea sama väheharuldane kui too võilill, ainult et meie huvide ring on mõõtmatu suurem. Kui kõik maailma inimesed panna kõrvuti seisma  $1/m^2$ , siis võtaks see enda alla umbes 7600 km<sup>2</sup>, mis on umbes kolme Saaremaa suurune pind. Suurem osa inimese asjadest, mis maailmas ruumi võtavad, on meie põllu- ja karjamaa, teed ja elukohad. Selles osas on suurlinnad oma korrusmajadega üsna ökonoomsed, nagu suurpõlludki. Taimi siiski erinevalt inimestest juba mitmes kihis ei kasvata, kuna nende põhiressurs on valgus. Üldiselt peetakse taimede jaoks ressursiks toitaineid, vett, valgusenergiat – mida saab keskkonnast ammutada, kuid üsna uus on mõte, et ruum iseenesest võiks ka ressurs olla. Ruum on taimede jaoks ressurs nii maa all (McConnaughay, Bazzaz,

1991) kui ka maa peal, seda eriti konkureerimise kontekstis (Gruntman *et al.*, 2017). Ruumi saab taimi/juuri/lehti nii tihedalt täis panna, kui palju ressursi on, aga ka taimed panustavad tulevikule, üritades sageli hõivata rohkem ruumi kui neil on antud hetkel otstarbekas, sest selles ruumis leiduvaid ressursse võib hiljem vaja minna.

Taimede huvidele tulekski keskenduda inimeste endi pärast – mitte, et ma pelgaks taimede kättemaksu, nagu mõnes õudusfilmis, vaid puhtalt inimeste endi jätkusuutlikkuse huvides. Putukate ja seentega saavad taimed hakkama, aga inimestega mitte – sae vastu pole eriti adapteeruda võimalik, aga taimi on meile paraku eluks vaja, erinevalt taimedest, kellel inimesi tegelikult vaja pole.

## Kirjandus

- Chen, Bin J. W.; During, Heinjo J.; Anten, Niels P. R. 2012. Detect thy neighbor: Identity recognition at the root level in plants. *Plant Science* 195: 157–167.
- Franks, Becca; Webb, Christine; Gagliano, Monica; Smuts, Barbara 2020. Conventional science will not do justice to nonhuman interests: A fresh approach is required. *Animal Sentience* 300 (January).
- Gardiner, Barry *et al.* 2013. Living with storm damage to forests. *What Science Can Tell Us* 3.
- Gruntman, Michal; Groß, Dorothee; Májeková, Maria; Tielbörger, Katja 2017. Decision-making in plants under competition. *Nature Communications* 8(1): 2235.
- Harper, J. L. 1977. *Population Biology of Plants*. London: Academic Press.
- Klein, Tamir; Siegwolf, Rolf T.W.; Körner, Christian 2016. Belowground carbon trade among tall trees in a temperate forest. *Science* 352(6283): 342–344.
- Marder, Michael 2013. Should plants have rights? *The Philosophers' Magazine* (62): 46–50.
- McConaughay, K. D. M.; Bazzaz, F. A. 1991. Is physical space a soil resource? *Ecology* 72(1): 94–103.
- Pickles, Brian J. *et al.* 2017. Transfer of <sup>13</sup>C between paired Douglas-Fir seedlings reveals plant kinship effects and uptake of exudates by ectomycorrhizas. *New Phytologist* 214(1): 400–411.
- Ramesh, Sunita A. *et al.* 2015. GABA signalling modulates plant growth by directly regulating the activity of plant-specific anion transporters. *Nature Communications* 6: 1–10.
- Roshchina, V. V. 2010. Evolutionary considerations of neurotransmitters in microbial, plant, and animal cells. In: Lyte, Mark; Freestone, Primrose P. E. (eds.), *Microbial Endocrinology, Interkingdom Signaling in Infectious Disease and Health*. New York: Springer, 17–52.
- Treves, Adrian; Santiago-Avila, Francisco J.; Lynn, William S. 2019. Just preservation. *Biological Conservation* 229: 134–141.
- Wadley, Greg; Martin, Angus 1993. The origins of agriculture: A biological perspective and a new hypothesis. *Australian Biologist* 6: 96–105.
- Yang, Xue-Fang; Li, Lei-Lei; Xu, You; Kong, Chui-Hua 2018. Kin recognition in rice (*Oryza sativa*) lines. *New Phytologist* 220(2): 567–578.



# Tähed tihedalt koos kerasparves

---

## Tõnu Viik\*

Tõraveres on Päikesesüsteemi mudel, kus planeete tähistavad elupuud (erandiks on Pluuto, keda tähistab elupuudest palju suurem hõbekuusk, aga Pluuto pole enam ka planeet). Puudeplaneetide vahelised kaugused on paika pandud nii, et planeetide ja Päikese vahelise tegeliku kauguse saamiseks (kilomeetrites) tuleb puu kaugus Päikest kujutavast puust korrutada 40 miljoniga. Olen pea alati ekskursantidelt küsinud, et kui me seda rida pikendaksime, siis kus selles reas asuks meile lähim täht. Siiani pole mitte keegi ligilähedaseltki õigesti vastanud. Tähte Proxima Centauris tähistaks elupuu umbes 1300 kilomeetri kaugusel Norras, Tromsø linna lähedal. Selline suur vahemaa tekitab mõtte, et kosmos on tühja täis ja mingist tihedusest ei saa juttugi olla. Aga asjade tegeliku loomuse saab kätte vaid võrdluses. Nii ma hakkasingi taevaste objektide tihedusi võrdlema. Mõõtühikuks valisin kilogrammi kuupmeetris ja alustasin universumist (see  $E$  tiheduse arvus tähendab seda, et  $E$ -le järgnev arv on tegelikult 10 astmenäitaja).

---

\*TÜ, TO, tonu.viik@gmail.com

*Tiheduse ühik: kg/m<sup>3</sup>*

*Keskmine aine tihedus universumis: 9E-27*

*Linnutee keskmine tihedus: E-21*

*Kerasparve tuuma keskmine tihedus: 2,7E-17*

Näeme, et Wikipedia asjatundjate järgi on massi ja energia kogutihedus universumis  $9 \times 10^{-27}$ . No on ikka pisike küll – iga kuupmeetri kohta tuleb 5–6 vesiniku aatomi tuuma. Järgmisena vaatasin meie Linnutee nähtavat ainet ja sain tulemuseks  $10^{-21}$ . Seega siis on meie Linnutee keskmiselt 100 000 korda tihedam kui universum. Hea küll. Järgmisena vaatasin tähtedest koosnevaid kerasparvi ja nende tuumade tiheduseks andsid rehkendused kuni  $2,7 \times 10^{-17}$ , nii et kerasparvede tuumade tihedus on *ca* miljard korda suurem kui universumis keskmiselt. Järelikult tasub neid lähemalt vaadata, kui me tihedalt koos olemisest räägime.

Mis need kerasparved siis on? Need on vanadest tähtedest koosnevad kerakujulised kogumid, kus tähti on sada-sada tuhandetes. Kerasparved pole väga levinud tähekoogumid, sest Linnutees oleme leidnud neid praeguseks 152 ja on arvata, et neid on veel 30 ringis galaktiliste tolmutilvede taga, mistõttu neid pole veel avastatud.

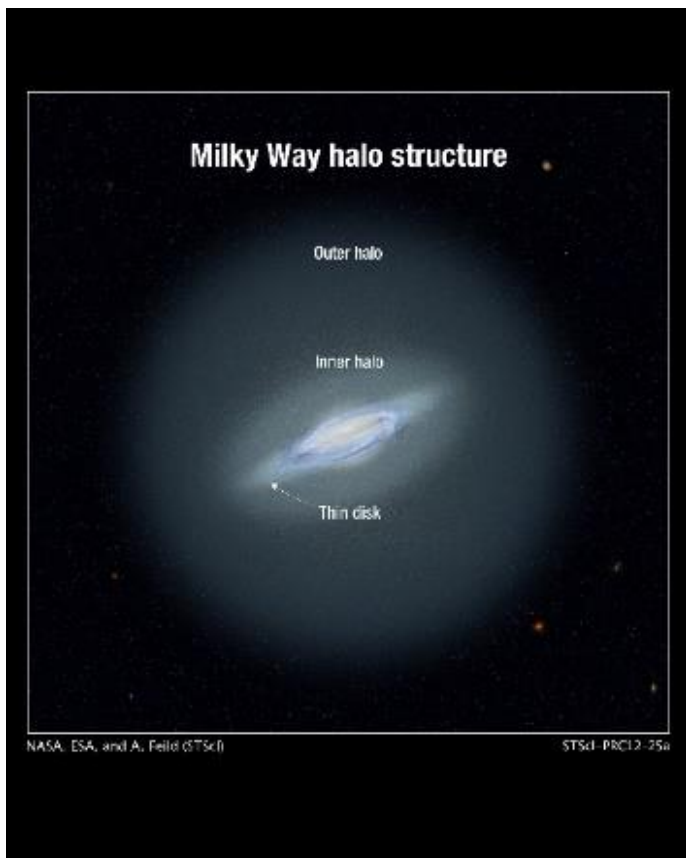
Nad asuvas Linnutee halos, mis on galaktikaid ümbritsev peaaegu sfääriline kogum gaasi ja tähti koos kerasparvedega. Esimese kerasparve avastas Saksa amatöörastronoom Abraham Ihle 1665. a. Aga tema teleskoop oli veel kehvake, nii et ta ei suutnud seda udust laiku tähtedeks lahutada. Seda tegi peaaegu täpselt sada aastat hiljem Prantsuse astronoom Charles Messier, kelle nime järgi paljude kerasparvede ja

ka galaktikate nimed on M pluss mingi number Messier' kataloogi järgi.



Kerasparv Messier 80 Skorpioni tähtkujus (NASA, The Hubble Heritage Team, STScI, AURA)

Eriti heledad nad pole ja põhjataevas saab palja silmaga näha vaid üht kerasparve M13, mis asub Herkulese tähtkujus. Aga see peab väga hea silm olema, sest M13 heledus on vaid 5,8 tähesuurust (üldiselt arvatakse, et inimsilm nõrgemat kui 6nda tähesuuruse objekti ei näe).

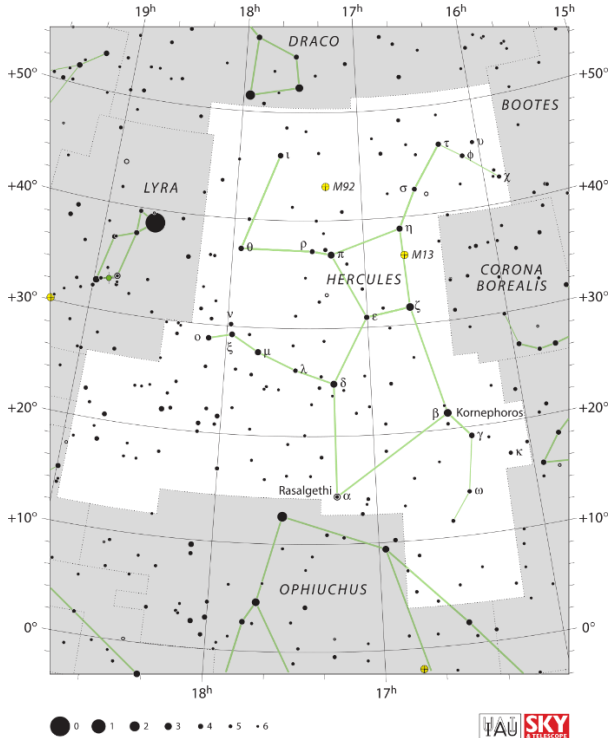


Galaktika halo (NASA, ESA ja STScI)

Kerasparvede tekkimine on siiani selgusetu. Kas nad tekkisid kõik korraga või oli nende tekkimises mitu lainet, pole selge. Võiks ju arvata, et kui mitmes kerasparves on kõik tähed enam-vähem samal evolutsiooniastmel, siis on nad ka ühel ajal tekkinud. Aga see pole ka päris vettpidav oletus, sest tähtede tekkimine pole samasugune igas kerasparves ja mõnes on selgesti näha kaht erinevat nn bimodaalset tekkeprotseduuri.



Näitena võib tuua kerasarparvi Suures Magalhãesi pilves, kus on näha selget ajaliselset bimodaalset täheteket. Seda proovitakse seletada kui hilisemat hiiglasliku molekulaarse vesinikupilvega kohtumist, mis põhjustas uue tähetekke selles kerasarparves.



Herkulese tähtkuju (IAU, Sky and Telescope)

Ka ei ole kõik tähed kerasarparvedes sama massiga, kuid siiski on nende massivahemik kaunis ahtake – 0,2 kuni 0,8 Päikese massi. On kindlaks tehtud, et kerasarparved pöörlevad, kuid nende pöörlemiskiirus on väike võrreldes Linnutee pöörlemiskiirusega: Päikesesüsteem tiirleb ümber Linnutee

tsentri kiirusega umbes 230 km/s, aga kerasparve välimised tähed vaid kiirusega 5–10 km/s ümber kerasparve tsentri.

Kerasparvede vaatlused on näidanud, et nad tekivad nendes galaktika osades, kus on käimas efektiivne tähetekke või kus tähtedevaheline keskkond on palju suurema tihedusega kui mujal. Ka mõjub kerasparvede tekkele hästi, kui galaktikad põrkuvad.



Tähetekke piirkond S106 ([wikiwand.com/en/Star\\_formation](https://www.wikiwand.com/en/Star_formation))

Meile tuntud kerasparved ei näita erilist täheteket ja see asjaolu kinnitab väidet, et kerasparved on Linnutee vanimad objektid. Ja et nad olid üldse esimesed tähekogumid. See arusaam on aina rohkem toetajaid kogumas, sest Chicago ülikooli astronoomide rehkendused näitavad, et pärast suurt pauku ja inflatsiooni tekkinud tähed kogunesid kerasparvedesse ja need omakorda galaktikateks.

Kerasparvede tähed on astronoomide keeles metallivaesed. Aga siinkohal peab silmas pidama, et astronoomide jaoks on Mendelejevi tabelis vaid kolme sorti elemente: vesinikku, heeliumit ja kõik ülejäänud on metallid. Metallivaesus seletub lihtsalt: esimeste tähtede tekkimise ajal polnudki metalle, sest need tekkisid alles hiljem tähtedes toimuvates termotuumareaktsioonides ja supernoovade plahvatustes.

Kerasparvedes pole ka gaasi ega tolmu, sest need on kas juba tähtedesse haaratud või on nad tekkinud tähtede valgusrõhuga kerasparvest minema pühitud.

Eespool oli juba juttu sellest, et kerasparvedes paiknevad tähed tihedalt. Aga kui tihedalt? Astronoomid ütlevad, et vaatluste kohaselt on kerasparvede keskmine tihedus 0,4 tähte kuuparseki kohta, kuid kerasparvede tuumades võib tihedus tõusta tuhandekordseks. Mitteastronoomile ei ütle need arvud mitte midagi, aga kui me parafraseerime seda väidet nii, et tüüpilistes kerasparvedes on keskmine tähtede vaheline kaugus 1 valgusaasta, kuid kerasparvede tuumades on see juba võrdeline Päikesesüsteemi läbimõõduga, seega siis umbes kolme miljardi kilomeetri ringis. Ning see tähendab, et kerasparvede tuumades paiknevad tähed umbes kolm tuhat korda tihedamalt kui kerasparvede perifeerias. Kui silmas pidada, et Päikesele lähim täht on 4,244 valgusaasta kaugusel, siis on kerasparved tõepoolest üsna tihedad taevased objektid.

Kuidas on lood eksoplaneetidega kerasparvedes? Üldine arvamus on, et mitte hea, sest tähed paiknevad seal liiga tihedalt ja planeetide orbiite häiritakse seal tõhusalt. Rehken-dused näitavad, et kui tiheda kerasparve, nagu 47 Tuukanis, tuumas asuks tähest 1 astronoomilise ühiku kaugusel tiirlev planeet, siis selle eluiga oleks vaid 100 miljonit aastat. Kui me

võrdleme Maa vanusega – 4,5 miljardit aastat –, siis langeks ka elu tekkimine sel kaugel planeedil suure kahtluse alla. Siiski on teada planeedisüsteem, mis tiirleb pulsari PSR B1620-26 ümber. Arvata on, et planeedid tekkisid hiljem, kui täht pulsariks muutus.



Pulsarite avastaja Susan Jocelyn Bell (Burnell) 1967. a (Roger W. Haworth, Flickr)

Kui juba pulsarist rääkida, siis väga massiivsete tuumadega kerašparved nagu M15, võivad rehkenduste koha-

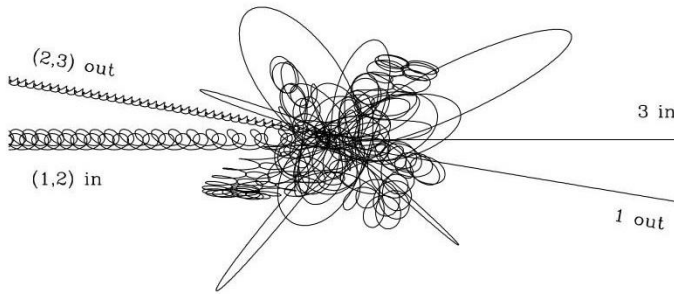
selt sisaldada musti auke, kuigi ka neutrontähed või suure massiga valged kääbused võivad vaatlusi sama hästi seletada.

Millised on tavaliste keraspurve lineaarmõõdud? Siin kasutatakse väga mitmesuguseid mõõtusid, küll heleduse ja küll massi järgi. Vaatleme siin nn loodelist raadiust või nn Hilli sfääri raadiust. See defineeritakse nii, et loodelise raadiuse kaugusel keraspurve tsentrist on keraspurve gravitatsiooniline mõju sama suur kui keraspurve ümbritsevate tähtede gravitatsiooniline mõju. Näiteks keraspurve M3 Hilli raadius on 113 parsekit ehk 368,6 valgusaastat.

Kui me mõõdame mingi keraspurve heledust kui funktsiooni kaugusest parve tsentrist, siis selle kauguse vähenedes heledus kasvab. Kuid ainult teatud kauguseni, kust alates heledus enam edasi ei kasva. Enamasti on see kaugus 1–2 parsekit. Kuid umbes 20% keraspurvel on toimunud nn tuuma kollaps. Niisugusel keraspurvel heledus jätkab kasvamist tsentri suunas.

1960. aastate alguses esitas Prantsuse matemaatik ja astronoom Michel Hénon keraspurve dünaamilise mudeli. Ta mõtles nii, et igal hetkel peavad tähtede juhuslikud liikumised keraspurve tuumas tasakaalustama kõikide teiste keraspurve tähtede omavahelise külgetõmbe potentsiaali. Kui aga mõni täht on juhuslikult saavutanud paokiiruse, siis lahkub ta keraspurvest ja viib endaga kaasa osa kineetilisest energiast. Seega peab parve tuum natuke kokku tõmbuma. Ülejäänud tähed peavad siis hakkama kiiremini liikuma, et kompenseerida tihedama tuuma tõmbejõudu. See protsess hakkab korduma ja aina kiiremini. Seega parve tuum kahaneb kiiresti ja tundub, et pole protsessi, mis sellise kahanemise peataks. Ometi on see olemas kaksiktähtede näol. Kaksikud võivad

vahetada energiat kohtumistel üksiktähtedega, mistõttu nad kas lähevad teineteisest eemale või lähenevad teineteisele. Need interaktsioonid võivad olla väga keerulised, tekitades kas ajutise kolmiktähe, kaksiktähe lagunemise või partnerite vahetuse. Enamasti juhtub aga nii, et kaksiktäht lendab minema ühes suunas ja üksiktäht teises suunas. Ja tuleb välja, et tugevasti omavahel seotud paarid kaotavad niisugustel kohtumistel energiat ja lähenevad teineteisele ning saavad anda energiat mingile taas lähenevale üksiktähele. Seega on kaksiktähed hiiglaslikeks energiareervuudeks, mis kujutavad endast seda tõkestit, mis on vajalik kerasparve tuuma lõpliku kollapsi ärahoidmiseks.

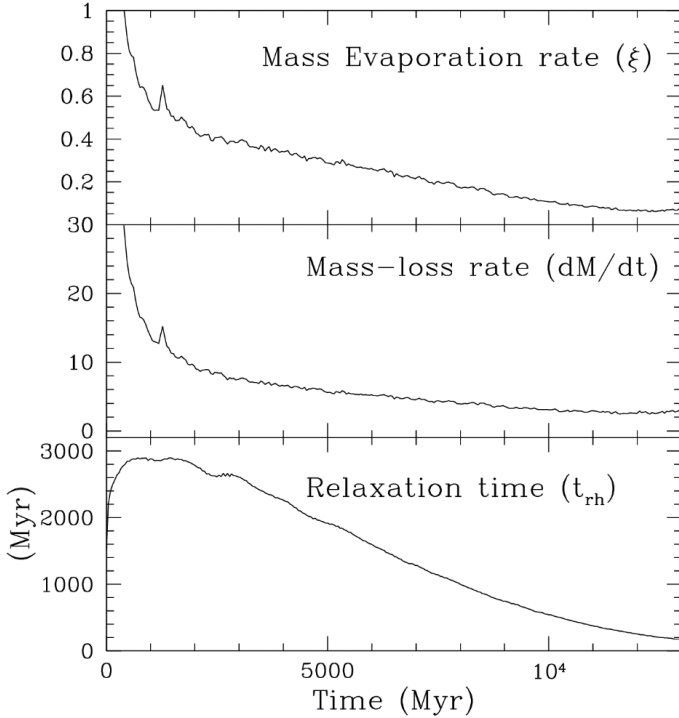


**Figure 7.8** An interaction between a hard binary and a field star. All three stars have equal mass and the orbits are plotted in the center-of-mass frame. The binary, containing stars 1 and 2, enters from the left; the single star (labeled 3) enters from the right. After a complicated interaction, star 1 escapes, leaving 2 and 3 behind as a newly formed binary. After Hut & Bahcall (1983).

Selline protsess tekitab ka nn massi segregatsiooni: massiivsemad tähed liiguvad kerasparve tuuma tsentri poole, vähem massiivsemad aga rohkem kerasparve perifeerias.

Viimasel ajal on kerasparvede dünaamikat uuritud  $N$ -keha simulatsioonide abil. Iga keha kujutab siis tähte kerasparves, mis on gravitatsiooniliselt seotud ülejäänud  $N-1$  tähe-

ga. Kuna kerasparves on sadu tuhandeid kuni miljoneid tähti, siis rehkendused lähevad tohutult ressursinõudvateks, kuid tänapäeva arvutid saavad selle ülesandega hakkama.



Tulemused näitavad, et tähed liiguvad sageli kummalistel trajektoridel ning kohtumistel teiste tähtedega võivad saada paokiruse ning lahkuda parvest. Sellist protsessi nimetatakse kerasparve aurustumiseks, mis tavaliselt võib kesta kuni  $10^{10}$  aastat.

Sellega ma lõpetan oma jutu väga vanadest taevastest objektidest, mis ometi on võimelised andma meile olulist infot universumi tekke ja arengu kohta.

## **Kirjandus**

[https://en.wikipedia.org/wiki/Globular\\_cluster](https://en.wikipedia.org/wiki/Globular_cluster)

Djorgovski, S. G. 1998. The dynamic lives of globular clusters. *Sky and Telescope* (October): 38–43.

Karttunen, H.; Kröger, P.; Oja, H.; Poutanen, M.; Donner, K. J. (eds.) 2007. *Fundamental Astronomy*. 5th edition. Berlin: Springer-Verlag.

Ashman, K. M.; Zepf, S. E. 1992. The formation of globular clusters in merging and interacting galaxies. *The Astrophysical Journal* 384: 50–61.

Belokurov, V. 2016. Stellar dynamics and structure of galaxies. (peoples.ast.cam.ac.uk/~vasily/Lectures/SDSG/sdsg\_7\_clusters.pdf.)



# Kuidas elada harmoonilises kooskõlas rannikuloodusega

## Tähelepanekuid Eesti liivarandade hingeelust

---

---

**Kaarel Orviku\***

Viimastel aastakümnetel on kogu maailmamere rannikul täheldatud nüüdisrandade loodusliku seisukorra olulist halvenemist. Näib, et mitte kusagil maailmamere randadel ei pea üldtunnustatud teoreetilised seisukohad enam paika. Eeskätt kehtib see kuhjerandade hulka kuuluvate liiva- ja kruusarandade kohta. Liivarannad moodustavad küll vaid ca 20% kogu maailmamere rannajoonest, kuid just päikeselised liivarannad on puhkajate meelispaikadeks.

Rahvusvaheliselt tunnustatud teadlaste (E. Bird, 1985, jt) uurimistööde tulemusel on selgunud, et vaid 10% kuhjelisi liivarandu areneb reeglipäraselt, st et neile tuleb vähehaaval liiva juurde. Umbes 20% neist püsib veel stabiilsena. Aga enamik liivarandadest, s.o umbes 70% allub tugevatele tormipurustustele ja neilt kantakse liiva hoopis minema. Sellest

---

\*TLÜ, kaarel.orviku@gmail.com

protsessist pole kõrvale jäänud ka Läänemere, sh Eesti rannik. Pole kellelegi uudis, et viimase paarikümne aasta jooksul on paljude meie mererandade, eriti aga enamiku liivaste supelrandade, looduslik seisund järk-järgult halvemaks muutunud. Pealegi on suur osa Eesti rannikust avamerelt tulevate tugevate tormilainete meelevaldas. Teravalt on päevakorda kerkinud rannikukeskkonna hõlvamise ja kaitse probleemid.

Eesti Vabariigi uuestisünni järel on aktiivselt asutud taastama endisi meretraditsioone. Järsult on kasvanud huvi rannaalade taas kasutuselevõtmise vastu. Korrastatakse ja laiendatakse vanu sadamaid, kavandatakse ja ehitatakse uusi, luuakse võimalusi mereturismi arendamiseks. Rannikul areneb puhkemajandus, aga ka elamuehitus.

Need kaks: **(1)** viimaste aastate rannaprotsesside intensiivsuse ja purustuste ulatuse mitmekordistumine, ning **(2)** inimtegevuse tuntav aktiveerumine rannikul ongi need põhilised tegurid, mis peaksid suurendama üldsuse huvi ka randade ehituse ja arengu probleemide vastu. Tegelikkus on aga loomulikult komplitseeritum.

Hoolimata aastasadu ja -tuhandeid kogunenud randlaste rahvatarkusest, trügivad tänapäeval uusasukad otse mereranda, arvestamata nii inim- kui ka loodusseadustega.

Nii mõnigi kord on selline uusasukate tung rannikule toonud neile endile kaasa pettumuse:

- küll sügis-talviti puhub rannikul vinge ja külma tuul,
- küll tormine meri kohiseb ega lase magada,
- küll viivad tormilained krundilt maad minema.

Inimene, kes pole varem vahetult rannikukeskkonnaga kokku puutunud, ei oska ennast sobitada tema jaoks uudsesse keskkonda, kuhu ta vägisi trügib. Ta ei oska elada harmoonilises kooskõlas rannikukeskkonnaga, nagu see rannarahval tavaks on olnud.

Jääb mulje, et laiema üldsuse, ranniku uusasukate, aga samuti paljude erinevate erialade spetsialistide arvates on mererandade ehituses ja arengus, setete dünaamikas ja kogu rannikukeskkonnas tervikuna toimuvad muutused n-ö palja silmaga selgelt nähtavad ega vajagi tõsisemat teaduslikku lähenemist. Näiline lihtsus ja arusaadavus rannikul toimuvast – randade arengust –, ei peegelda aga kaugeltki rannavööndis toimuvate protsesside tegelikku iseloomu.

Tegelikult on mererand kiiresti arenev, suure muutlikkusega keskkond, mille evolutsiooni prognoosimiseks, rannikulooduse ja inimtegevuse vaheliste suhete ning siin valitsevate protsesside õigeks hindamiseks (eriti kvantitatiivseks) on väga raske saada objektiivseid lähteandmeid. Seda rannakeskkonda olen ma korduvalt võrrelnud diagnoosimise keerulisuse poolest inimorganismiga. Öeldust tulenevalt pole harvad juhtumid, kus mitmeid randade arenguga seotud praktilisi ülesandeid lahendatakse kas pealiskaudselt või mõne teise eriala tunnustatud spetsialistide poolt, kes ei valda randade ehituse ja arengu üldtunnustatud teoreetilisi seisukohti.

Rannikukeskkond on vähemalt sama keeruline kui inimorganism. Vastavalt on keeruline ka tema tervise selgitamine. Selleks on vaja mitme eriala spetsialistide koostööd. Rannikukeskkonna arengu seaduspärasuste selgitamisel on ajalooliselt väljakujunenud kaks suuremat koolkonda: mere poolt lähenevad tavaliselt veekeskonna spetsialistid – hüdro-

dünaamikud ja laineteoreetikud, maismaa poolt aga geoloogid, geomorfoloogid. Hüdrodünaamikud maadlevad valemite küüsis ja püüavad kõiges matemaatilist korda luua, loodusteadlased selle vastu lähenevad keskkonnale pigem dialektiliselt, püüdes leida asjade ja nähtuste vahelisi geneetilisi sidemeid. Väga harva näevad ilmavalgust võrdselt mõlemat poolt valdavad spetsialistid. Igal elualal, nii ka loodusteaduses, moodustavad omaette grupi enesekindlad „kõiketeadjad“, kelle hulgast on tihti väga raske eristada tõsiteadlasi jutumeestest. Rannikukeskkonna ühekülgse iseloomustamise tagajärjel võivadki ranniku majandamisel esineda ebameeldivad tagajärjed.

Mitme olulise rannikupiirkonnaga, eriti vahetult supelrandadega ja seal paiknevate rajatistega seotud rakenduslike küsimuste ratsionaalseks lahendamiseks ning teaduslikult põhjendatud otsuste tegemiseks on määravaks vahetult looduses mitmeaastaste vaatluste tulemuste põhjal tehtud uuringute tulemused ning nende põhjal tehtud järeldused randade evolutsiooni, sh eriti setete dünaamika kvantitatiivse iseloomu kohta. Just sellised andmed annavad meile aluse reaalselt prognoosida nii sadamate ummistumise kui ka supelrandade edasise arenguga seotud probleeme, võimaldavad õigel ajal kavandada kahjustusi ennetavaid meetmeid, kus saab teha järeldusi rannaprotsesside kvantitatiivsete näitajate kohta. Kahjuks võib praktikast tuua palju näiteid, kus hüdrotehnilisele ehitusele eelnevate ekspertiiside käigus on rannaprotsesside kvantitatiivsel iseloomustamisel piirdutud vaid arvutis tehtud modelleerimisega. Sellised rannaprotsesside kvalitatiivsed hinnangud pole tihtipeale looduslähedased.

Kujunenud olukorda põhjuste küljest, s.o protsesside mehaanika seisukohalt hinnates oleme tõsisest raskustest.

Hindamine toimub valdavalt vaid valemite-mudelite abil – aga... kust võtta lähteandmeid? Neid tuleks ju saada *in situ*. Kui selliselt saadud andmeid pole või pole üldse piisavaid lähteandmeid, puuduvad pikad andmerekad, siis saab mudelite lõppresultaadina tõestada ükskõik mida. Mudeli tulemuste lahknemisel looduse käitumisest võib olla kindel, et loodus ei eksi kunagi! Mitme rahvusvaheliselt tunnustatud teadlase seisukohad modelleerimise tulemuste kohta sunnivad ettevaatlikkusele. Nii on Agu Laisk öelnud, et 100% täpne mudel pole puhtfüüsikaliselt võimalik, ning Leo Võhandu hoiatab, et kui programmis on piisavalt vabu parameetreid, siis saate just sellise tulemuse nagu te soovite! See on nn arvutipraak!

Hoolimata nüüdisaegsete mudelite näitlikkusest, ei tohiks modelleerimisel saadud tulemusi rakendada ilma neid looduskeskkonnas kontrollimata, nagu uut ravimitki ei lubata kohe pärast väljatöötamist inimestel kasutada haiguste ravimisel.

On pikemaltki selge, et reaalse, tõepärase pildi saamiseks rannasetete dünaamikast, eriti nende kvalitatiivsest küljest igas konkreetsetes piirkonnas, on vajalikud statsionaarsel katsealal saadud aastatepikkused vaatlus-mõõtmisread, mis kajastavad erineva hüdrodünaamilise intensiivsusega vaatlusperioode. Esiialgu on selliste statsionaarsete uuringute tegemine meie vabariigi kasinate võimaluste juures vähetõenäoline. Seetõttu ja tihtipeale nii mõnedki praktilised lahendused konkreetsetes piirkondades randade praktilisel kasutamisel realiseeritakse nn katse-eksituse meetodil.

Mererandade ehituse ja arengu ning evolutsiooni seisukohalt on oluline neil valitsevate protsesside – kulutus,

setete transport ja kuhje – omavaheliste vahekordade selgitamine. See pole oluline mitte ainult teooria seisukohalt, vaid on väga tähtis rannaalade hõlvamisel ja ratsionaalsel kasutamisel. Eriti oluline on rannaprotsesside õige tõlgendamine hüdrotehniliste rajatiste ja rannakeskkonna omavaheliste suhete evolutsiooni prognoosimise seisukohalt. Esikohal on selle juures nn lito-morfo-dünaamiliste süsteemide, sh eriti rannasetete liikumise tendentside uurimine ja hindamine. Kõrvuti edusammudega loodusliku keskkonna säilitamisel hüdrotehniliste rajatiste ehitamisel mitmes eriilmelises rannikupiirkonnas, on selles valdkonnas kogu maailmas tehtud märkimisväärsed vigu. Ka Eesti pole selles valdkonnas tehtu pooldest mingi erand (Orviku, 2005). Põhjuseks tuleb pidada ranniku looduskeskkonna kui terviku vähest tundmist, teoreetiliste teadmiste nappust või nende teadmiste allutamist arendajate huvidele (Orviku, 2006).

Näiteks piirduetakse ühe või teise rannapiirkonna hõlvamisel, rannakaitse abinõude kavandamisel sageli vaid konkreetse rajatise vahetus lähiümbruses valitsevate loodusolude, s.o kuhje- või murrutusprotsessi iseloomu või ulatuse selgitamisega, jättes kõrvale piirkonna ranniku kui loodusliku ja dünaamilise terviku, s.o lito-morfodünaamilise süsteemi uurimise. Uurijate-ekspertide ülesanne rannikul olekski kulutuse – kuhjeliste süsteemide piires valitsevate rannaprotsesside, eeskätt setete liikumise iseärasuste, nn settevoolude ulatuse, materjali päritolu ja nende arengutendentside prognoosimine. Loomulikult on selline põhjalik esialgne uurimine aeglasem, tömahukam ning ka kallim, kuid väldib hilisemaid rajatiste eksploatatsiooniga seotud tüüpvigade kalleid parandusprojekte.

Settevoolu kui rannasetendeid edasi liigutava protsessi mehhanismi iseärasuste, põhjuste ja jõudude iseloomustamisel, liikumiskiiruste ja mahtude hindamisel tehaksegi kõige rohkem vigu. Mitmesuguste praktiliste ülesannete, nagu näiteks rannakaitse, sadamamuulide asend, laevateede ummistumiskiiruste hindamine ja selle vältimine ning püsivus, lahendamisel on need näitajad projekterijale ühed kõige olulisemad. Praktikute seas on laialt levinud väärarvamus, et rannasetendite edasikandel on peamiseks jõuks hoovused, ning seepärast nõutakse eriti rannaprotsesside kvalitatiivsel hindamisel uurijatelt-ekspertidelt sageli just hoovuste modelleerimist. Settevoolu mõiste väärast tõlgendamisest ja selle protsessi kujunemisel tuulehoovuste ülehindamisest tingituna selgitatakse rannasetete liikumist pahatihti mehaanilise voolamisena, mis on küll iseloomulik jõgedele, eriti mägi-jõgedele, kuid ei iseloomusta kaugeltki rannalähedases meres ja rannikul toimuvat.

Ilmselt on tegemist võõrkeeltest pärit ja juurdunud tõlkeapsuga, sest otseselt tõlkides näiteks vene ja inglise keelest (vn *поток наносов*, ingl *sediment stream*) oleks tegu nagu tõepoolest setete voolamisega. Tegelikult pole settevoolu mehaanikas midagi ühist voolamisega. Settevool on rannaprotsesside iseloomustamisel kindla sisuga mõiste. Sellest tingituna on nii mõnigi kord iseloomustatud setete piki randa liikumise iseärasusi vaid arvutil modelleerimise tulemuste põhjal, kasutades liikumapaneva jõuna tuulehoovusi, mitte aga tormilainetuse ja murdlusvoolu andmeid.

Selline objektile lähenemine, hoovuste ülehindamine rannaprotsesside mehhanismi hindamisel, on ka arusaadav, sest tuulehoovuste modelleerimiseks on hüdrometeoroloogia teenistuse kaudu võimalik saada piisavalt usaldatavaid and-

meid, andmeridu, mille põhjal ongi võimalik rannikutel kujunevaid hoovusi erinevates loodusoludes (tuulte suund, merevee tase jne) hõlpsasti modelleerida. See aga pole setete rändamise iseloomustamiseks piisav ning ongi praktikas rannaprotsesside iseloomustamisel, nende intensiivsuse ja iseärasuste määramisel põhjustanud väärarvamusi ja arusaamatusi.

Tuulehoovuste jõud piirdub peamiselt hõljumina edasikantavate ja dispersses olekus setete, veest kergemate vedelike ja veepinnal hõljuva orgaanilise ainese (vetikad, meretaimed, ka risu ja ajupuit) edasikandega. Hoovuste mõju ulatus veekihis, nagu kirjeldavad merehüdroloogid, haarab vaid esimesi kümneid sentimeetreid merevee pealispinnast. Rannapurustustega seotud ebameeldivaid lahenduste näiteid võib tuua mitmelt poolt Eestist, aga ka lähimate naabrite juurest nii Soome lahe idarannikult kui ka Läänemere lõunaosast Läti ja Leedu rannikult (Tõnisson jt, 2009).

Kujunenud olukorda analüüsid kerkib eeskätt päevakorda küsimus, millega on seotud selline randade loodusliku seisundi halvenemine viimastel aastakümnetel. On selles süüdi inimtegevuse hoogustumine rannikul või on selle põhjuseks loodusolude, eeskätt kliima globaalsed muutused? Kus on siis piir rannakeskkonna seisundi looduslike muutuste ja inimtegevuse vahel? Otsustamine on sageli väga raske, aga hädavajalik. Tegemist on minu arvates konfliktse alaga, kus tõe leidmine ilma mitmekülgsede teadmisteta, teadlaste-uurijate ja inseneride kollektiivse lähenemiseta on ühekülgne. Väärad lõppjärelused võivad ühelt poolt viia rannakeskkonna kui terviku loodusliku tasakaaluseisundi olulise halvenemiseni, teiselt poolt aga võivad halvasti kavandatud insenerlahendused rannikul ise sattuda looduse meelevalda.



Mererandade ehitust ja arengut käsitavates monograafiates, kõrgkooli õpikutes, aga ka lastele mõeldud hästi illustreeritud väljaannetes (kahjuks mitte kõigis) on tavaliselt peaaegu alati juba sissejuhatuses tähelepanu juhitud nendele loodusjõududele, mis rannakeskkonda kujundavad – tormilained, hoovused, tuul, aga ka inimtegevus.

Randade arengu peamise jõuna nimetatakse seejuures tugevat tormilainetust ja sellest põhjustatud murdlusvoolu. Eriti selgesti avaldub tugeva tormilaine randumisel murdlusvoolu jõud liivarandadel, kus see mõjutab ka liivaste rannavormide kujunemist ja rannasetete rännet (Orviku *et al.*, 1995).

Kahjuks on meil Eestis kujunenud lausa traditsiooniks, et randade arengus, eriti rannasetete liikumises, ületähtsustatakse hoovuste osa. Olen näiteks kuulnud seisukohta rannaliiva liikumisest Kuramaa rannikult läbi Irbeni väina tänu hoovustele otse Sõrve säärele (Kuramaa ja Sõrve vahel on sügavused aga *ca* 25 m) ja sealt piki randa Nasvani välja, kust sadamamuulid suunavad selle „liivajõe“ avamerre Abruka suunas. Sellest hoovusest olevat põhjustatud ka rannapurustused Järve lüiterannal. Kui hoovus veaks liiva Nasva sadama muulide kõrvalt Abruka suunas, siis ei saaks rand Nasva sadama lõunaküljel pidevalt madalduda ja rannajoon mere poole nihkuda. Sama võiks öelda ka näiteks Lehtma sadama kohta Hiiumaal, kus sadamast põhja poole jääv liivaala pideva kuhje tulemusel järjest laieneb (Raukas *et al.*, 1994). Meie lõunanaabrite ühe suurema, Ventspilsi sadama muulidetagune ulatuslik territoorium on juba lütestunud ning rannaliiva täiskantud territooriumile kuhjub massiliselt ja pidevalt rannaliiva juurde. Rannaliiva kantakse ka tugevate tuultega üle kaitsemuuli (joonis 1). Muulid on tormilainete mõjul setete pikiranda liikumisele tõsiseks takistuseks, aga mitte nende

merre suunajateks. Püsihoovused ei suuda siin midagi korda saata ega liiva kuhjealadelt minema kanda.

On avaldatud ka arvamust, et kliima soojenemise tulemusel kujuneva globaalse meretaseme tõusu tingimustes kaob näiteks Pärnu liivane supelrand ja mõni teinegi. Tegelikult need rannad ei kao ka siis, kui tõepoolest peaks aset leidma see küllaltki problemaatiline maailmamere globaalne tõus. Tänu rannasetete liikumise (litodünaamika) seaduspärasustele kuhjub liivarand uues kohas, kui kadumine ühes kohas üldse reaalne on. Ka hoovus ei vii liiva merre, tal jääb selleks tööks jõudu väheseks. Hea näide on kogu Pärnu lahe randade ajaloolis-geoloogiline arengukäik Läänemere eri arengustaadiumitel (Orviku, Palginõmm, 1998). Liivarannad ja erivanuselised luuteahelikud on siin olnud, aga sugugi mitte kogu aeg samades paikades! Liivarandu ja rannikuluiteid on Eesti kerkival rannikul kõikjal, pole nad kuhugi kadunud!

Erinevatest vaatevinklitest lähtuvalt tulenevad ka vaidlused mitmesuguseid arvutusi ja mudeleid teinud füüsikute-matemaatikute ja looduses vahetuid uuringuid teinud loodusteadlaste vahel. Keskkonnamõtjude hindamise nõuavad näiteks mõned ametnikud ja veendunud modelleerijad uurijatelt eriti hoovuste modelleerimist ja seiret. Lootusetu on näiteks rannasetete liikumist modelleerida meie lähelise ja rahnulise põhjaranniku piires – aga sellise tegevuse nõue on kahjuks esinenud. Jääb mulje, et selline seire on vajalik vaid seirajatele endile. Igasugune hõljumina leviva reostuse areaal sõltub ju konkreetse kohas hetkel valitsevast tuulte režiimist, mis on kiirelt muutuv ja raskesti prognoositav. Igasuguse reostuse likvideerimisel, näiteks poomidega reostuslaigu leviku tõkestamisel-piiramisel, lähtutakse eeskätt konkreetse hetke tuulepildist, aga mitte teadlaste prognoosmudelist.



Joonis 1. Tugevate tormituultega kandub Ventspils'i sadama-muuli taha kogunenud lahtine liiv juba üle kaitserajatise.

Pikaajaliste uurimiste tulemusena võib öelda, et mere-rannad arenevad eriti intensiivselt, erakordsete loodusolude kokkulangemisel lausa hüppeliselt. Olen meie randade sellisele hüppelisele arenguviisile korduvalt tähelepanu juhtinud juba alates möödunud sajandi 80ndatest aastatest peale (Jaagus, 2003; Orviku, 1987, 1991, 1995; Tõnisson jt, 2009). Nendeks tingimusteks oleksid Läänemeresel:

- 1) sügis-talvine tugev tormiperiood, ka ühekordne lühiajaline torm nagu 9. jaanuaril 2005. a;
- 2) ajutine erakordselt kõrge ajuvee tase;
- 3) soojade talvede tõttu jäävaba rannikumeri ja külmumata rannasetted.

Sellistes erakordselt keerulistes loodusoludes tugeva tormi ajal on ääretult keeruline saada *in situ* mingeid faktilisi andmeid setete dünaamika või ranna ja rannalähedase merepõhja muutuste kohta. Tavaliselt me näeme ja fikseerimegi vaid tulemust ega teagi põhjusi. Seetõttu sageli „ravimegi“ ka looduses vaid nähtavat tulemust, mitte põhjust!

Mitmed rahvusvaheliselt tuntud rannageoloogia eriala spetsialistid (Zenkovitch, 1967, jt) on kindlalt väitnud, et erakordselt tugevate tormide energia võib olla mitu korda suurem kui tavaliste, sageli esinevate tormide oma, mistõttu nad võivad põhjustada randade arengus taastumatuid muutusi. Seda väidet on kinnitanud ka Eesti rannikul viimastel aastakümnetel tehtud rannaprotsesside ja randade evolutsiooni iseärasuste uuringud (Orviku jt, 2003; Orviku, 2019, jt).

Setete murrutuse ja kuhje vahekord ja seetõttu randlate dünaamiline looduslik tasakaal võib erakordsete tormide tingimustes saada sedavõrd rikutud, et tormidevahelistel suhteliselt rahulikel perioodidel ei pruugi purustatud randade looduslik tasakaal enam taastudagi. On põhjust arvata, et 2005. a jaanuaritormi ajal kõikjal Eesti rannikul toimunud suured muutused, eriti randade purustused, ongi just sellised, mis mitmel pool meie kerkiva ranniku tingimustes võivad olla aastakümneid püsivad.

Lisaks aeg-ajalt esinevatele erakordsetele looduslikele muutustele rannikukeskkonnas võime kohata ka inimese eba-pädevat suhtumist looduskeskkonna muutuste selgitamisel. Väga halb on variant, kui keskkonnamuutusi põhjendavaid väärseisukohti levitavad kõrgetel ametikohtadel olevad ametnikud-poliitikud, nende nõunikud, nn „spetsialistid-eksperdid“, et reguleerida rannikuala majandamist arendaja-

tele soovitud suunas või tõestada rahajagamise otstarbekust näiteks:

1. laevalainetest tulenevate ohtude uurimiseks randadele, merepõhjale, suplevatele lastele ja puuetega inimestele (Orviku, 2001);
2. Pärnu liivaranna kaitsmiseks raudbetoonist tammidega (Orviku, Palginõmm, 2002);
3. Piritä rannale männimetsa ja supelranna kaitsmiseks promenaadi ehitamise uurimiseks jne.

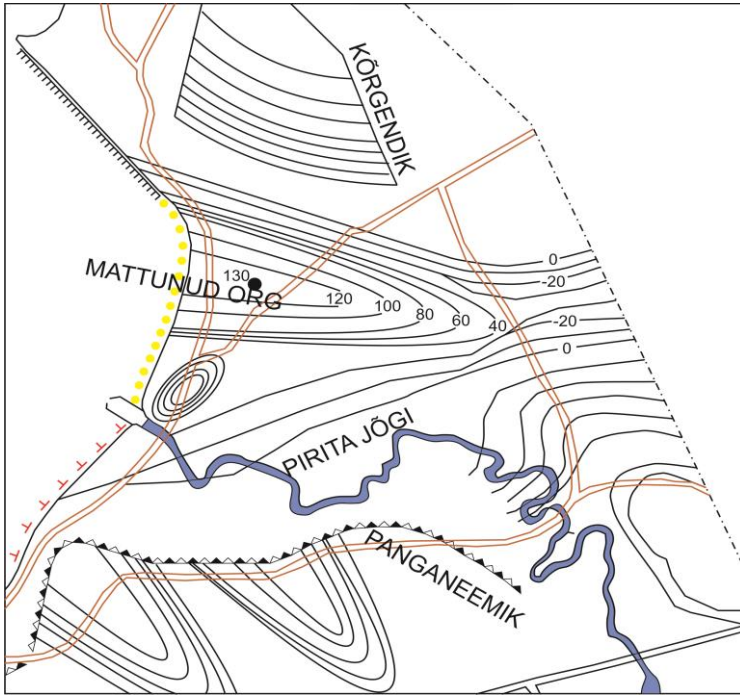
Hoolimata üldsuse ja ametnike silmis laialt levinud lihtsustatud lähenemisest mererandade arengu ja rannaprotsesside tõlgendamisel, mida ajakirjandus omakorda võimendab, olen selle konfliktala, s.o maismaa ja mere omavaheliste suhete selgitamist pidanud oma viimaste aastate uurimistöõ üheks põhiülesandeks. Tõe päevavalgele toomine ei meeldi paljudele. Nii mõnigi kord kaoks siis ära võimalus „jalgratta leiutamiseks“ raha küsida.

Pean tunnistama, et selline ülesanne pole sugugi kerge, sest iga konkreetset rannalõiku, iga nähtust tuleks uurida pikema aja vältel nii ajas kui ka ruumis, et maksimaalselt tõele lähemale jõuda. Pikaajaliste vaatlusriidadega arvestamine Eesti rannikul pole üldjuhul võimalik. Aastakümneid oli andmete kogumine randadest seotud suurte raskustega (NSVLi piiritsoon). Napid on praeguseeni kättesaadavad ja arvestatavad tolleaegsed vaatlusandmed (nõukogudeaegsed vaatlustemõõdistamiste aruanded olid vaid ametlikuks kasutamiseks, osalt ka salajased ja peamiselt venekeelsed). Valdavalt pole need enam ametlikult kättesaadavad ja nende andmeid kasutatakse sageli ilma neile viitamata. Seetõttu tuleb sageli

tugineda vaid vastava eriala teadlaste maailmakogemusele, teadmistele, intuitsioonile. Sageli on ilma ajaloolise taustata aga väga raske anda tõe le lähedast eksperdihinnangut randade arengutendentside, setete liikumise iseärasuste, aga eriti rannaprotsesside kvantitatiivse külje kohta.

Viimastel aastatel hoogsalt levivad looduskeskkonna arengut iseloomustavad väärseisukohad on nii mõnigi kord olnud takistuseks õigete otsuste vastuvõtmisel ranniku hõlvamisel. Võrdlemisi sageli tuleb randade hõlvamise käigus randadel esinevaid dünaamilisi muutusi tõestada koos õpikutõdede täiendava selgitamisega; tormilainetuse ja hoovuste vahekorras t juba oli juttu. Probleeme on allakirjutanu arvates ka rannajoone asendi määramisel, mis mitte iga kord ei vasta looduses kujunenule, või pärast tormi kujunenud muutustele. Praktikast on teada juhtumid, kus loodussäästlikud lahendused rannakeskkonna arendamisel takerduvad ametnike suva taha.

Näiteks kui sadama veeala või merekanali ennetaval süvendamisel väljakaevatavat ainet, st rannaliiva tahetakse loodussäästlikult kasutada samas territooriumi täiteks, supelranna laiendamiseks või muuks samalaadseks otstarbeks, käsitatakse liivast põhja, rannasetet riikliku maavarana, mille kasutamisele eelneb pikk ja keeruline formaalne protseduur. Sama liiva sõna otseses mõttes raiskamine selle kaadamisel avamere sügavamatesse osadesse, kus see võib ohustada põhjakoosluste looduslikku seisundit, ei tekita ametnike silmis aga probleeme! Samal ajal kannatavad naabruses paiknevad liivarannad järjest süveneva liivade puuduse all, nagu see esineb näiteks Hiiumaal Tahkuna idarannikul Lehtmaa sadamast lõuna pool Tõrvanina rannas.



Joonis 2. Tallinna lahe päraosasse suubuva vana mattunud oru, nn Mähe või ka Merivälja või Pirita mattunud oru põhimõtteline asend ja oru sügavused. Skeemilt on selgesti jälgitav, et vana mattunud oru põhjanõlv langeb peaaegu kokku Merivälja astangrandlaga moreenis (must kammjoon). Pirita liivane supelrand (kollane punktiir) jääb aga vana oru enda lõikumisele nüüdisrannajoonega.

Liivaste supelrandade edasise arengu ja kaitsemeetmete kavandamisel, nagu oli ka juba eespool mainitud, ei piisa ainult selle kitsama liivase rannaala geoloogilis-geomorfoloogilisest uurimisest ja seirest ning nende andmete põhjal liiva liikumise modelleerimisest. Uurida ja selgitada tuleb ka liivaranna naabrusesse jäävate kulutusalaade võimalikke dünaamilisi seoseid kaitsmist vajava kuhjepiirkonnaga. Uurimiste

käigus saadud tulemuste põhjal näiteks on tulnud otsustajatele korduvalt tõestada, et Pirita supelranna liiv ei pärine ei Merivälja astangust ega rannikust sellest põhja pool (Orviku, 2010).

Pirita liivaranna, nagu ka paljude teiste põhjarannikul paiknevate liivaste supelrandade (Kloogaranna, Väana, Kakumäe, Stroomi jms) päritolu on tegelikult seotud nende paiknemisega mitmekümnete meetrite paksuste kobedate setetega täitunud vanade mattunud orgude avamustel (joonis 2; Raukas, Tavast, 2010). Eesti lähelise põhjaranniku pärades paiknevate liivarandade toitealad ei paiknegi murrutusele alluvatel kivistel-rahnulistel neemikutel. Liivarand on püsivalt samas kohas ürgoru piires ega kao kuhugi. Tegu oleks nn taskurannaga, mis geneetiliselt paikneb püsivalt ja kindlalt samas kohas. Teine on olukord rannikul, kus kuhjelised rannad, eeskätt liivarannad, sõltuvad naabruses paiknevate murrutusrandade aktiivsusest.

Kulutus-kuhjeliste süsteemide uurimisel, kulutus ja kuhjealade omavaheliste seoste uurimisel pörkume nii või teisiti murrutusel kujunenud kobedate rannasetendite liikumisteede selgitamisele. Mererannikul kehtib piltlikult öeldes nn aine jäävuse seadus. See tähendab seda, et kui murrutusrannal kujuneb kobedaid setteid, siis peavad need üldjuhul ka samas mahus kusagile liikuma ja settima. Ehk teiste sõnadega: kui astangutest või pankadest mingi osa setteid murrutuse käigus langeb tormilainete saagiks, siis sama palju peaks neid ka kusagile kuhjuma. Seejuures on oluline arvestada, et kulutussetete transport ja nende kuhje ei pruugi toimuda üheaegselt. Selle protsessi ajaline kulg sõltub suuresti tormilainetuse ulatusest, eriti aga ajalisest kestusest. Olen korduvalt juhtinud tähelepanu tõsiasi, et olulised ja selgelt nähtavad muutused meie randadel esinevad erakordsete



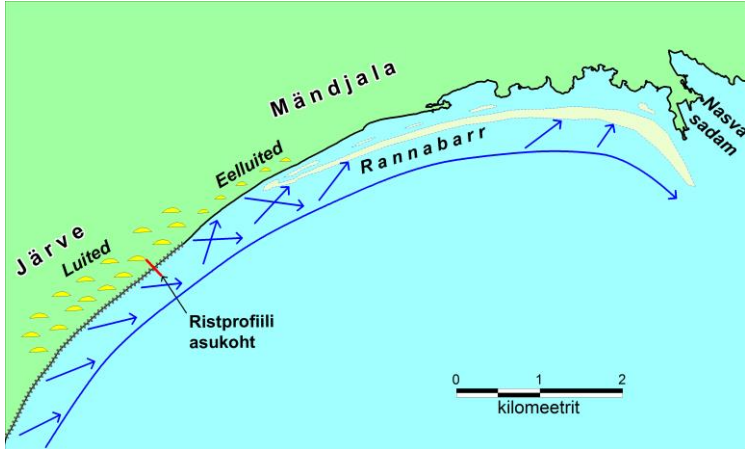
loodusolude kokkulangemisel, milleks on soojade talvede tõttu külmumata rannikumeri ja setted, erakordselt kõrge merevee tase kogu Läänemeres ning sobivast suunast puhuv tugev tormituul.

Hea näide rannaliivade liikumiste iseloomustamiseks on Tehumardi-Mändjala-Nasva rannik kui ühtne litodünaamiline kulutus-kuhjesüsteem (joonised 3 ja 4) ning sellega seotud probleemid. Aastaid päevakorral olnud seisukoht, et seoses Nasva sadama ehitusega algasid suured purustused Järve-Mändjala supelranna piires, ei ole millegagi põhjendatud. Selle väite ümberlükkamiseks on vaadeldavas piirkonnas aastakümnete vältel tehtud rida uuringuid, mis suure kindlusega tõendavad sellise väite ebapädevust või ka tendentslikkust (Orviku jt, 1982; Orviku, 2006, jt). Väga lihtne on rannikul toimuvaid ebasoovitavaid muutusi ajada inimtegevuse süüks, süvenemata tegelikesse põhjustesse. Näiteks pärast 1990. aasta jaanuaritormi oli kohalikul keskkonnateenistusel kindel seisukoht, et Järve luidete purustustes on süüdi Nasva sadamamuulide rajamine. Kahjuks on sama arvamust ka hiljem ja trükisõnas korduvalt avaldatud, näiteks lõik 16. veebruaril 2006. aastal ilmunud Maalehest: „*Igasse kohta sadamat ehitada ei saagi. Vale asukoha näiteid on Eestis küllaga.*“ Samas artiklis tuuakse näiteks Saaremaa Nasva sadamat, mis hakkas kohe pärast valmimist Mändjala randa sööma. Ka järgnevatel aastatel on tulnud korduvalt selgitada, et mitte Nasva sadam ei põhjusta Järve-Mändjala rannas purustusi, vaid Nasva sadam ise kannatab Järve-Mändjala poolt tormidega tulevate liivade käes, mis ummistavad sadamasuuet ja merekanalit! Järve-Mändjala rannaastangu purustused selles piirkonnas on mitmesugustel vanematel andmetel teada ammu enne sadama muulide ehitamist. Näiteks esinesid tugevad liivaastangu

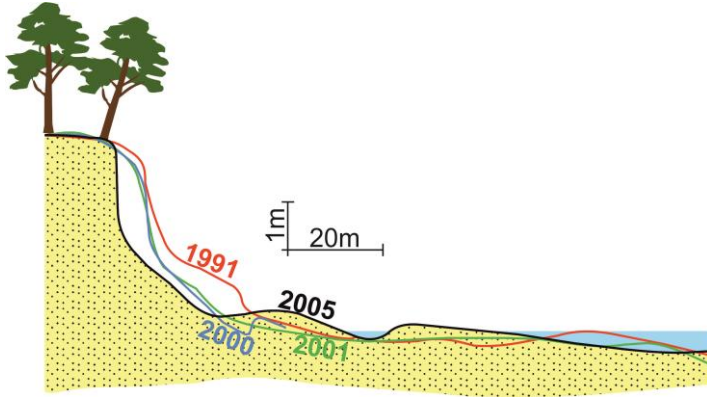
purustused 1933/1934, 1954, 1969, ka 1976 jne (Orviku, 2019), seega aastaid enne kui Nasva jõe suudmes 1970. aastal alustati muuli ehitusega. Kuni Nasva sadama muulide ehitamise alguseni 1970. aastal liikus rannaliiv piki rannikut kaugemale põhja suunas, kus see Loode tammiku piirkonnas lõplikult kuhjudes üha maismaad juurde kasvatas ning edasi liikudes ummistas ka juurdepääsu omaaegsele Loode sadamale. Rannaliivade intensiivse kuhjumise tulemusel Loode piirkonnas ummistus ka Tori sadamasse viiva laevatee avamerepoolne ots sedavõrd, et seda laevateed polnud enam võimalik kasutada. Nasva sadama rajamine koos muulidega oli kohe alguses probleemne, sest Nasva suudmealale liikus Järve rannast settevooluga pidevalt lahtist liiva, mis jõesuu et ummistas. Tolleaegne Saare Kaluri juhtkond leidis siiski, hoolimata loodusprotsesside ebasobivusest piirkonnas, et õigem on Atlandil töötavatele traalimeestele rajada sadam koduküla, s.o Nasva küla lähedale. Vajaduse korral leitakse ka vahendid sadama ja merekanali korduvaks süvendamiseks.

Kuigi rannikukeskkonna arengut määravad valdavalt looduslikud protsessid, tuleb selle keeruka loodusliku süsteemi arengutendentside prognoosimisel tingimata arvestada ka inimtegurit, mis võib randade pikaajalist looduslikku arengut ühes või teises suunas mõjutada. Hinnanguliselt võib inimese mõtlematut sekkumist rannaprotsesside kulgu praegu veel käsitada teisejärgulisena ning enamasti toob loodusseaduste eiramine kahju vaid inimesele endale.

Mereranniku looduskeskkonna ja inimfaktori suhteid tuleb globaalse kliimamuutuse mõju taustal nende omavaheliste suhete keerukuse tõttu edaspidigi hoolikalt uurida, et randade hõivamisel tehtud vead ei põhjustaks ulatuslikke ja taastumatuid looduskahjustusi.



Joonis 3. Järve-Mändjala-Nasva litomorfodünaamiline skeem. Joonisel on näidatud randla looditud ristiprofiili (vt joonis 4) ligikaudne asukoht. Sinised nooled tähistavad setete liikumissundi. Valge ala rannalähedases meres märgib rannabarrü liivakeha ligikaudset asukohta.

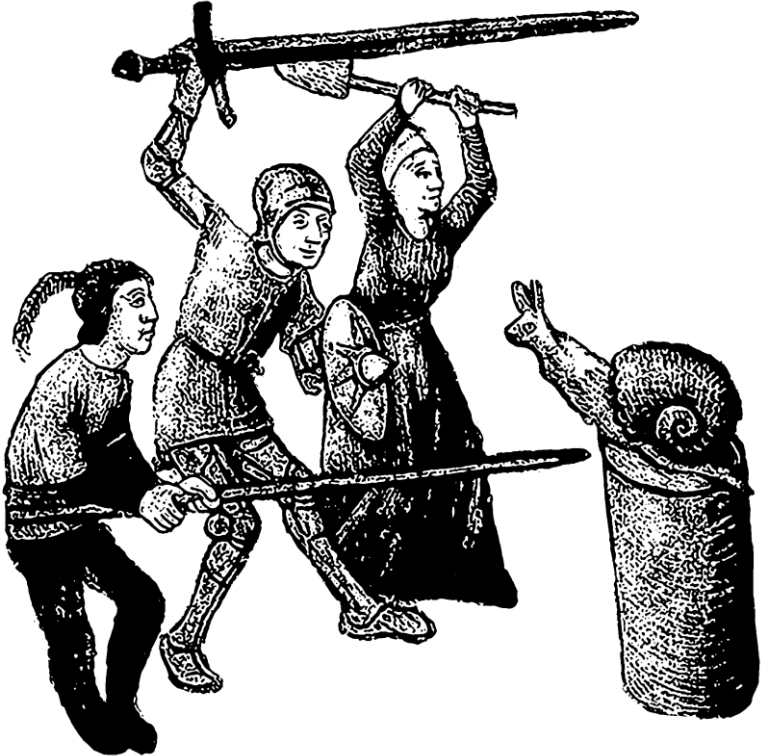


Joonis 4. Järve-Keskranna endise vetelpäästeposti lähedal aastatel 1991–2005 looditud randla ristprofiilid. Eriti selgesti on näha 2005. aasta jaanuari tormis taganenud rannaastangu ulatus kuni 5 m ja rannaliiva kuhje astangu jalami ees rannal. Kordusmõõdistamiste tulemuste võrdlemisel selgus, et rannaastangu purustuste ulatus ja astangu perve taganemine oli 2005. aasta tormiga suurem kui eelmise 15 aastaga kokku. (Teostus H. Tõnisson.)

## **Kirjandus**

- Bird, Eric C. F. 1985. *Coastline Changes*. New York: Wiley Interscience.
- Jaagus, Jaak 2003. Kliimamuutuste tendentsid Eestis 20. sajandi teisel poolel seostatuna muutustega atmosfääri tsirkulatsioonis. Uurimusi Eesti kliimast. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis* 93: 62–79.
- Orviku, Kaarel 1987. Eesti rannik ja selle muutused. *Eesti Loodus* 11: 712–719.
- Orviku, K. 1991. Viron rannikko ja sen muutokset. *Maankäytön ja ympäristön kohtaaminen*. Kotka, 24–30.
- Orviku, Kaarel 1995. Lääne-Eesti saarestiku randade looduslik seisund ja inimteguri osa nende arengus. *XVIII Eesti looduseuurijate päev. Hiiumaa loodus*. Eesti Looduseuurijate Selts, 18–24.
- Orviku, K. 1997. Soome lahe rannaprotsessid ja mereäärsed rajatised. Rmt: Pirrus, Enn; Luuk, Madli (toim), *Soome lahe geoloogist*. (Bülletään 2/96.) Tallinn: Eesti Geoloogia Selts, 14–19.
- Orviku, Kaarel 2001. Kuivõrd randade muutustes on süüdi laevaliiklus. *Eesti laevanduse aastaraamat 2001*. Eesti Meremeeste Liit, 47–54.
- Orviku, K. 2005. Rannikualade ratsionaalsest kasutamisest. Rmt: Keevallik, S.; Heinoja, H. (toim), *Eesti Mereakadeemia Toimetised* 2. Tallinn, 42–61.
- Orviku, K. 2006. Rannaprotsesside teadusliku tõlgendamise vajalikkusest rakenduslike küsimuste lahendamisel rannikul. Rmt: Sammul, M. (toim), *Eesti Looduseuurijate Seltsi aastaraamat* 84: 94–113.
- Orviku, K. 2006. Developmental ties between Järve-Mändjala beach and Nasva harbour. Rmt: Keevallik, S.; Järvik, A. (toim), *Eesti Mereakadeemia Toimetised* 3: 7–18.
- Orviku, K. 2010. Tallinna rannikuala geoloogia. Rmt: Soesoo, Alvar (toim), *Tallinna geoloogia*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, 202–229.
- Orviku, K. 2019. *Rannad ja rannikud*. Tallinn: TLÜ kirjastus.
- Orviku, Kaarel; Bird, Eric; Schwartz, Maurice 1995. The provenance of beaches on the Estonian islands of Hiiumaa, Saaremaa and Muhu. *Journal of Coastal Research* 11(1): 96–106.
- Orviku, Kaarel; Jaagus, Jaak; Kont, Aare; Ratas, Urve; Ravis, Reimo 2003. Increasing activity of coastal processes associated with climate change in Estonia. *Journal of Coastal Research* 19(2): 364–375.

- Orviku, K.; Lutt, J.; Kask, J.; Veisson, M. 1982. Eesti NSV nüüdisrannavööndi ja rannikumere kaitse geoloogilised aspektid. *Eesti NSV rannikumere kaitse*. Tallinn, 28–35.
- Orviku, Kaarel; Palginõmm, Valdeko 1998. Looduse ja sadamate vahelkordadest Liivi lahe rannikul. *XXI Eesti looduseuurijate päev. Edela-Eesti Loodus*. Eesti Looduseuurijate Selts, 15–29.
- Orviku, Kaarel; Palginõmm, Valdeko 2002. Pärnu lahe ranniku geoloogiast ja randade arengust. *XXV Eesti looduseuurijate päev. Pärnumaa loodus*. Eesti Looduseuurijate Selts, 23–34.
- Raukas, A.; Bird, E.; Orviku, K. 1994. The provenance of beaches on the Estonian Islands of Hiiumaa and Saaremaa. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology* 43(2): 81–92.
- Raukas, A.; Tavast, E. 2010. Aluspõhja pealispinna reljeef Tallinnas. Tallinna rannikuala geoloogia. Rmt: Soesoo, Alvar (toim), *Tallinna geoloogia*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, 90–101.
- Zenkovich, V. 1967. *Processes of Coastal Development*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Tõnisson, H.; Jaagus, J.; Kont, A.; Orviku, K.; Palginõmm, V.; Ratas, U.; Rivis, R.; Suursaar, Ü. 2009. 2005. aasta jaanuaritormiga (Gudrun) kaasnenud üleujutuse tagajärjed loodusele ja ühiskonnale Eesti rannikul. *Tallinna Ülikooli ökoloogia instituudi publikatsioonid* 11: 90–127.



# Antropotseen ja tihedalt kooselamise roll

---

## Päärn Paiste\*

Järgnevas kirjatükis on käsitletud Antropotseeni kui geoloogilist ajaüksust, kuid selle mõiste sisu võib olla teistes kontekstides palju laiem. Antropotseeni kui uue geoloogilise ajastiku mõiste sai alguse Paul Crutzeni sulest aastal 2000 (Crutzen, Stoermer, 2000). Nagu nimigi vihjab, – Antropotseen ehk inimese ajastu –, on selle uue ajaühiku mõiste loomise ajendiks inimtegevus, mille mõju Maa keskkonnale on saavutanud sellised mõõtmed, et seda on erinevate geoloogiliste meetoditega võimalik eristada Holotseeni ajastikust. Rahvusvaheline Stratigraafia Komisjon ei ole veel Antropotseeni kinnitanud, kuid viimase kahe dekaadi jooksul akumulunud teadmiste tõttu on see mitteformaalse ajastikuna geoloogia sfäärides üha tugevamalt kanda kinnitamas. Ei ole ilmselt kaugel aeg, kui paljud meist võivad marssida tänavale ja kuulutada valjuhäälselt, et Holotseen on läbi ja me oleme Antropotseeni lapsed.

Geoloogiliste ajaüksuste defineerimisel on alati märkeriks globaalselt või (alamate üksuste puhul) lokaalselt jälgitavad keskkonnamuutused. Neid omakorda kajastavad kivi-

---

\*TTÜ, paarn.paiste@taltech.ee

mitesse salvestunud jäljed bioloogilisest mitmekesisusest, erinevused kivimite mineraalses või keemilises koostises. Viimasest on võimalik välja lugeda globaalses ainerings või atmosfääri koostises toimunud muutusi, mis peegeldavad Maa kui süsteemi käitumist tervikuna läbi geoloogilise aja. Erinevalt ajaloosündmustest ei ole geoloogiliste üksuste vahetumisi võimalik määrata kuupäeva täpsusega. Kiired muutused geoloogilises ajas võivad tähendada protsesse, mis on toimunud kümnete tuhandete (kui mitte sadade tuhandete või miljonite) aastate jooksul. Loomulikult leiab geoloogilises ajas aset ka muutusi, mis toimuvad oluliselt kiiremini. Tuntuim näide on tõenäoliselt Kriidi ajastu lõpus aset leidnud asteroidi langemine Maale, mille tulemusel tekkis *ca* 150-kilomeetrise läbimõõduga Chicxulubi kraater. Plahvatusprotsessi ja sellega vahetult seotud geoloogilisi protsesse saab mõõta minutites, tundides ja päevades, kuid sellest tulenevad globaalsed muutused leidsid aset märksa pikema perioodi vältel. Näiteks kuid või isegi aastaid kestnud happevihmad, laiaulatuslikud kulutuled ja metsapõlengud, tuha ja aerosoolide paiskumine atmosfääri ning sellest tingitud kiire globaalne kliima jahenemine, millele omakorda järgnes plahvatusel kivimitest vabanenud kasvuhoonegaaside tõttu pikemaajaline kliima soojenemine – need ja paljud sarnased aastaid ja aastakümneid väldanud sündmused lõpetasid dinosauruste ajastu. Inimtegevus on kaasa toonud võrreldava kiirusega aset leidvad globaalsed muutused.

Inimtegevuse põhjustatud muutused biodiversiteedis, atmosfääri ja sellega kontaktis oleva vee keemilises koostises ning tänapäeval tekkivate setete ja mineraalide keemilises koostises on peamiselt seotud tehnoloogia arenguga. See omakorda on paratamatult seotud inimasustuse järjest kasvava tihedusega. Kuigi Antropotseeni ehk inimeste ajastiku alguseks



on pakutud näiteks laialdase põlluharimise levikut (12 000–15 000 aastat tagasi), on suurimate globaalselt tuvastatavate muutuste algus siiski selgelt märgatav alles alates 1950. aastatest. Sellest perioodist alates näeme selgeid ja kiireid muutuseid globaalsetes lämmastiku- ja süsinikuringetes (joonis 1). Üheks Antropotseeni võimalikuks algusajaks on pakutud ka 1965. aastat, kui atmosfäärsete inimtekkeliste radionukleiidide tase saavutas oma maksimumi. Tolleaegsetesse setetesse on selgelt jäädvustunud just nende radionukleiidide signaal, mis on tuvastatav veel vähemalt 100 000 aastat. Tegemist on küll tehnoloogilise arengu tulemiga, mille on põhjustanud atmosfääri keskkonnas tehtud tuumakatsetused. Siiski on teada veel mitmeid teisi mineraalseid ja keemilisi markereid, mis on tekkinud organismide, olgu inimese või muude, tihedalt kooselamise tulemusena.

Näiteid sellest, kuidas elusorganismide tiheda kooselamise tulemina on defineeritud mõni geoloogidele tuttav startigraafiline üksus, ei pea otsima kaugel. Olgu selleks siis kirgi küttev Pakerordi lademes paiknev Eesti fosforiidivaru, nn oobolusliivakivi Põhja-Eestis, selles sisalduvate rohkete fosfaatsete brahhiopoodide kodadega või kuni 13 meetri paksune ja sadadel ruutkilomeetritel Kesk-Eestis laiuv Juuru lademe *Borealis*-lubjakivi ehk rõngaspaas. Mõlema puhul on tegemist mereliste organismide kodade kuhjumisel tekkinud setetega, kes pidid sääraste märkimisväärsete lasundite tekkimiseks võrdlemisi ulatuslikus piirkonnas rohkearvuliselt ning tihedalt üksteisega koos elama. Samaväärsete kuhjeliste lasundite teke *Homo sapiens*'i maistest osadest ei vääri vast arutelu, kuid kindlasti jääb meistki maha teisiti defineeritavaid lasundeid, mis salvestuvad mineraalsete, fossiilsete või keemiliste signaalidena praegu tekkivates setetes.

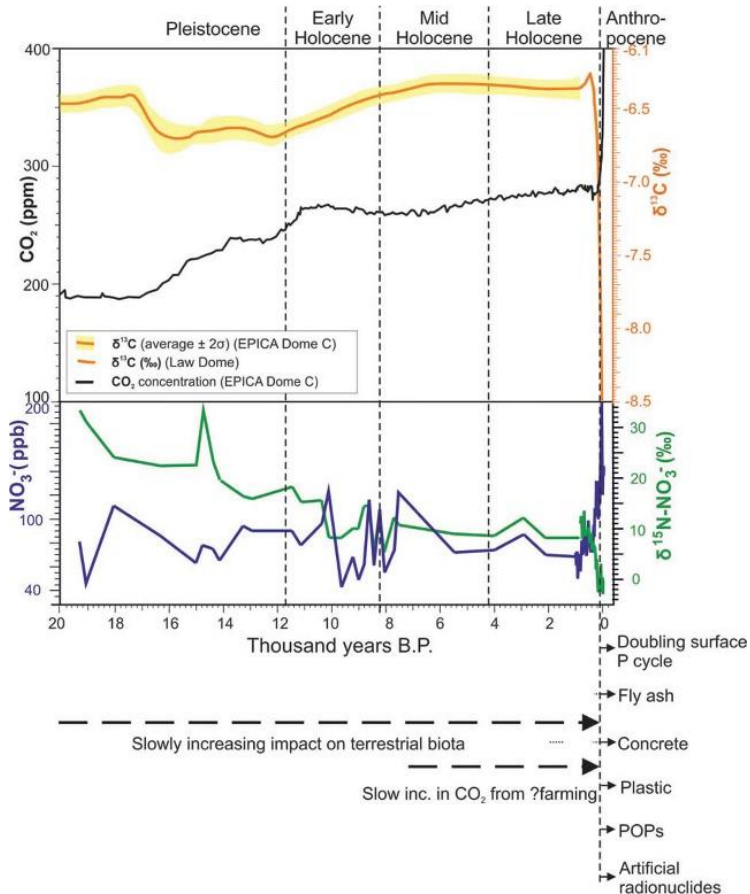
Inimeste tihedalt koos elamine, mida saab väljendada asustustihedusena, on seotud linnade arenguga. Kuigi puidust, kivimitest ja teistest looduslikest materjalidest majade ehitamine hoogustas linnade teket ja lokaalset asustustiheduse kasvu, kaasneb suurim efekt linnade arengus siiski uute tehnilike ehitusmaterjalide kasutuselevõtuga. Näiteks telliste kasutuselevõtt võimaldas luua kõrgemaid elamuid, kuid suurima hüppe kõrgustesse tõi endaga kaasa betoon koos terasega. Inimese loodud tehismaterjalide (sh nt betoon, tellised, asfalt, plast jt) ja neis sisalduvate tehsmineeraalide hulk on viimasel sajandil kasvanud meeletus tempos. Sellega koos kasvab ka nende tehismaterjalide kogus pinnases. Mahult omab uute ehitusmaterjalide hulgast kõige suuremat osakaalu kindlasti portlandtsement, mis on peamine komponent betooni valmistamisel. Sellele järgnevad tellised ja keraamika. Võib ennustada, et määramata tulevikus moodustuvad ka praeguste suurlinnade betoondžunglitest selgesti äratuntava mineraalse signaaliga settelasundid. Need, sarnaselt eespool mainitud oobolusliivakivile ja rõngaspaasile, on samuti moodustunud organismide, antud juhul *Homo sapiens*'i tiheda asustuse tulemusena. Kahekümnenda sajandi keskpaigast alanud nüüdisaegse betooni laialdane kasutuselevõtt (kumulatiivselt umbes 90% kogu eksisteerivast betoonist ehk u 500 miljardit tonni, Waters *et al.*, 2016) ning betooni mineraalne ja geokeemiline spetsiifiline koostis muudavad just selle tehismaterjali ilmumise üheks paremini jälgitavaks Antropotseeni markeriks maismaa setetes.

Linnastumise ja asustustiheduse kasvamisega on käinud käsikäes ka populatsiooni kasv. Paljud Antropotseenis jälgitavad keskkonnamuutused on seotud just kasvava populatsiooniga ning kui me võtame endale vabaduse siduda seda

linnastumisega, siis saame tõmmata selgeid paralleele ka tihedalt koos elamisega. Peamised „süüdlased“ sellisel puhul on toit ja energia. Fossiilsete kütuste põletamine energia tootmiseks on kaasa toonud selge muutuse atmosfääri CO<sub>2</sub>-sisalduses, aga ka atmosfäärse süsiniku isotoopkoostises ( $\delta^{13}\text{C}$ ) (joonis 1). See signaal talletub karbonaatsetesse mineraalidesse ning on settekivimites tuvastatav ka miljonite aastate pärast. Lisaks muutustele süsinikuringes on fossiilsete kütuste põletamine toonud kaasa uut tüüpi osakeste laialdase leviku planeedi pinnal. Põlemisel tekkinud lendtuhk sisaldab sfäärilisi süsinikuosakesi (*spheroidal carbonaceous particles*), millel puudub looduses analoog. Selliste osakeste ladestumine settesse muudab need heaks kõrgetemperatuuriliste fossiilsete kütuste põletamise algusaja markeriks. Lisaks süsiniku emissioonidele kaasneb fossiilsete kütuste põletamisega ka lämmastiku emissioon. Selline emissioon oli domineeriv lämmastikuühendite sisalduse ja lämmastiku isotoopsuhete ( $\delta^{15}\text{N}$ ) muutuse allikas eelmise sajandi esimesel poolel. Suurem muutus lämmastikuringes, mis algas eelmise sajandi teisel poolel (joonis 1), on aga põhjustatud tollest hetkest alates drastiliselt suurenenud lämmastikväetiste tootmisest ja kasutamisest. Kuigi muutused süsinikuringes on leidnud laialt kajastust nii teaduskirjanduses kui ka meedias, on just väetisetootmisest tingitud muutused lämmastikuringes proportsionaalselt suuremad. Tegu võib olla ilmselt suurima teadaoleva muutusega lämmastikuringes viimase 2,5 miljardi aasta jooksul (Canfield *et al.*, 2010). See tõsiasi muudab just lämmastiku isotoopide suhte heaks geokeemiliseks markeriks Antropotseeni kui geoloogilise ajaüksuse tuvastamisel settelasundis.

On selge, et inimene on tänaseks muutnud planeeti piisavalt, et meie tegevusest jääks maha „jalajälg“ ka geoloogi-

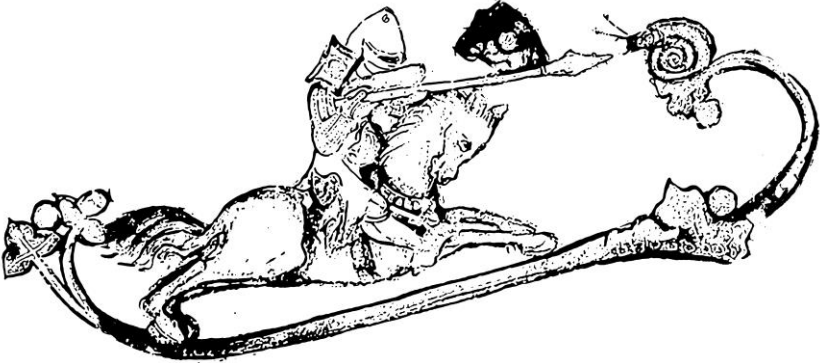
lises ajas ja seda märksa globaalsemalt kui *Australopithecus afarensis*'e tagasihoidlikud tegutsemise jäljed Tansaania. Võib ka väita, et kuigi mitte otseselt, siis vähemalt kaudselt on see jälg tingitud inimeste tihedalt koos elamisest.



Joonis 1. Allikas: Bauer, Ellis 2018.

## Kirjandus

- Bauer, A. M.; Ellis, E. C. 2018. The Anthropocene divide: Obscuring understanding of social-environmental change. *Current Anthropology* 59(2): 209–227.
- Canfield, D. E.; Glazer, A. N.; Falkowski, P. G. 2010. The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science* 330: 192–196.
- Crutzen, P. J.; Stoermer, E. F. 2000. The “Anthropocene”. *IGBP Global Change Newsletter* 41: 17–18.
- Waters, C. N.; Zalasiewicz, J.; Summerhayes, C., *et al.* 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 351(6269): 137.



# Ajaloolise peolaua otsinguil ehk teadlase unenägu

---

**Erik Puura\***

Puittaimedega koosluses, mille pindala oli suurem kui 0,5 ha, puude kõrgus ületas 5 m ja võrade pindala oli üle 10% kogu alast, elutses mutlaste sugukonda muti perekonda kuuluv imetaja – euroopa mutt ehk harilik mutt (*Talpa europaea*). Teadaolevalt oli temaga samast pesakonnast sündinud teisel euroopa mutil vähemalt üks järglane. Puittaimede kooslus koosnes peamiselt eri vanusega männiliste sugukonda kuuse perekonda kuuluvatest igihaljastest okaspuudest – harilikest kuuskest (*Picea abies*), mis soodsates tingimustes elavad 250, harva 400–500 aasta vanuseks. See on ebatavaline, sest euroopa muttide elupaikadeks on peamiselt lehtmetsad, heinamaad ja karjamaad. Konkreetsemalt oli eespool kirjeldatud euroopa mutt rajanud maa-aluse käigu, mida kõnekeeles võib ka eluruumiks nimetada, küpressiliste sugukonda kadaka perekonda kuuluva okaspuu – hariliku kadaka (*Juniperus communis*) maa-sisese elutähtsa organi alla.

---

\*TÜ, erik.puura@ut.ee

Teaduslikult tuvastamata meetoditega õnnestus maa all pesitseval euroopa mutil kommunikeeruda erinevate loomariigi esindajatega – imetajatega, kelle keha katsid marrasknaha sarvmoodustised (karvastik ehk karvkate), ning lindudega, kelle marrasknaha moodustised ehk suled koosnesid epidermises olevatest väikestest nääpsudest ning mille funktsioon on olla kehale isolatsiooniks, aidata kaasa lennuvõimele ning võimaldada kommunikatsiooni ja varjumist. Euroopa muti poolt läbi viidud kommunikatsiooni eesmärk oli saavutada karvkattega imetajate ja lindude samaaegne tulek tema juurde. Seni veel selgitamata meetodeid kasutades see tal ka õnnestus.

Lindudest osalesid kokkusaamisel teadaolevalt vareslaste sugukonna perekond varese (*Corvus*) esindaja (täpsustamata jääb, kas liigilises mõttes oli tegemist haki, künnivarese, hallvarese või rongaga), sama sugukonna haraka perekonna esindaja harakas (*Pica pica*), lisaks tõenäoliselt röövlind, kes kuulus haugaslaste (*Accipitridae*) loorkullide (*Circus*) perekonda (täpsustamata, kas tegu oli roo-, välja-, stepi- või soolookulliga), ning veel üks perekond varese esindaja, kelle saab liigiliselt paremini määrata – ronk ehk kaaren (*Corvus corax*). Seega on ka võimalik, et osales kaks ronka (rongapaar).

Imetajatest osales kõigepealt pruunkaru (*Ursus arctos*), kes liikus suhteliselt ebatavaliselt vaid tagajäsemeid kasutades (nn vantsimine, omane rohkem tsirkuses dresseeritud karudele, välja toodud kui uhkeldav liikumisviis, mille kohta puudub teaduslik selgitus – pigem kasutavad pruunkarud tagajäsemetele tõusmist ohtu märgates, ähvardades, rünnates ja puudele toetudes). Tuleb märkida, et liigilisi määranguid tehes on eeldatud, et tegemist ei ole võõrliikidega, st tegu on looduses elavate, mitte tsirkusest põgenenud loomadega, mida võib



kahjuks oletada karu liikumisviisist. Samas ei ole teised elusolendid tsirkustes laialt levinud ning seetõttu on võimalik, et vaid pruunkaru või ka mõni teine karulaste sugukonna esindaja oli tsirkusest põgenenud.

Teiseks osales harilik siil (*Erinaceus europaeus*), kelle liikumisviisiks on märgitud veeremine. Jällegi, harilik siil kerib keha keraks peamiselt ohu korral, et ligipääs okastega katmata kõhupoolele puuduks, ning ei ole teaduslikult täheldatud, et siilid kasutaksid kerratõmbumist ja veeremist edasilükkumiseks. Siiski võib järeldada – et see üldse võimalik oleks –, et eespool kirjeldatud kadakas paiknes künka nõlval või jalamil. Millest võiks tuletada uue hüpoteesi, et nii karu kui ka siil olid juba enne kohalejõudmist midagi tarbinud.

Teadaolevalt osales veel neli imetajat: jänestlaste sugukonda kuuluva perekond jänese (*Lepus*) esindaja, kelle eraldi-seisev paindlik jätke keha küljes oli märgatavalt väikese pikkusega, harilik orav ehk punaorav (*Sciurus vulgaris*), kelle kehalise tunnusena on nimetatud keskkonna lainelisi võnkumisi registreeriva kehaosa välimise osa püstist asendit, hirvlaste sugukonda põdra perekonda kuuluv põder (*Alces alces*), kes liikus kiiresti, ning koerlaste sugukonda rebase perekonda kuuluv punarebane (*Vulpes vulpes*), kes ainsana loomadest ei olnud euroopa muti kommunikatsioonist täpselt aru saanud või tekkis muid takistusi (näiteks võis olla midagi tarbinud, nagu karu ja siil).

Tuleb rõhutada, et eespool kirjeldatud elusolendite vahel on juba ette prognoosida tavapäraestest toitumis- ja käitumisahelatest põhjustatud konfliktsituatsioone. Kuidas need olid maandatud, jääb teaduslikus mõttes ebaselgeks.

Siiski põhiprobleem tekib ühise söögilaua paiknemisega. Arvestades euroopa muti eluviise sai see paikneda vaid tema eluruumides – kadakpõõsa juure all. Ainuüksi kahe looma – karu ja põdra summaarseks ruumalaks aga tuleb hinnata rohkem kui 1 m<sup>3</sup>. Seega võiks eeldada vähemalt 10 m<sup>3</sup> maa-aluse tühimiku olemasolu, mille rajamine mutil oma jõududega oleks võimatu. Kuna esialgne kirjeldus ilmus juba 1926. aastal, siis ei saa tegemist olla ka pärast II maailmasõda rajatud metsavendade punkriga. Tuleviku teadustöö tuleks suunata selliste tehislake ja looduslike tühimike väljaselgitamisele, mis paiknesid 1926. aastal Eesti kuusikutes – siis saaks vastuse ka euroopa muti peo asukoht, mis oleks uueks huvitavaks turismiobjektiks ning kindlasti väärriks toetust vastava külastuskeskuse rajamiseks.

# Flora! (sünopsis)

---

**Peeter Laurits,\* Andres Lõo ja  
Marianne Kõrver**

FLORA! on mitut eri kunsti- ja teadusvaldkonda haarav, ajas ja ruumis hargnev rahvusvaheline multiprojekt, mis otsib positiivseid arengustenaariume tulevikuks. Koostöös muusikute, kunstnike, filmitegijate, tarkvaraarhitektide ja teadlastega küsime, kas elusorganismide ja tehisintellekti pilgud võiksid kohtuda, leiutada ühist keelt või liidest ning koopereeruda, et taastada biosfäärne tasakaal. Vastukaaluks düstoopilisele nägemusele tehisintellektist kui ohust, püüame mõelda sellest kui liitlasest ja visandada utoopilisi mudeleid. Antropotseeni sõlmi ei ole lootustki lahti siduda muidu, kui tihedas koostöös kogu eluslooduse ja nutikaima tehisintellektiga.

21. sajandit tähistavad uuringud taimse teadvuse vallas ja pöördelised avastused taimedevahelisest kommunikatsioonist. Samal ajal on meie andmetöötamise tehnoloogiad ja tärkav tehisintellekt muutnud põhjalikult meie arusaamu teadvusest. Üles on kerkinud terve rida uusi küsimusi. Mitmed filosoofilised baasmõisted formuleeritakse ümber lähematel aastakümnetel.

Taimeriigi kohastumisvõime, võrgustumine ja koostöövõimekus on hämmastavad. Inimvaimu ühendusse viimine

---

\*mail@peeterlaurits.com

taimse intellektiga ja selle kontakti võimendamine tehis-intellekti abil on üks erutavamaid tulevikuperspektiive. Tehis-intellekt on mässitud lugematute düstooptiate ringi, aga samal ajal napib meil utoopilisi arengumudeleid. Et väestada positiiv-seid arenguvariante, tuleb neid kõigepealt ette kujutada. Antropotseeni kunstnike ülesanne on meie meelest utoopiliste stsenaariumite modelleerimine ja nendega mängimine.

FLORA! projekte hakkab koondama mitmekihiline veebiportaal, mis annab Eesti imago kahele tugisambale – öko- ja digiriik – konkreetse vormi. Teemat sissejuhatav osa hargneb mitmeks keskkonnaks:

- (a) meie kirjeldatud utoopiat seletavad ja kujutavad taustamaterjalid; viited ja lingid artiklitele, filmidele, konverentsidele, uurimisgruppidele;
- (b) otseste FLORA! projektide (näitused, kontserdid, raamatud, filmid) reklaam, tutvustus ja dokumentatsioon;
- (c) interaktiivsed mängud, võrgupõhised koostööprojektid ja foorum.

Hetkel suurim käigusolev ettevõtmine on mängufilmi stsenaariumi arendus.

Filmi peategelane, **Flora**, on sünnist saadik telepaatilises ühenduses taimedega, mõistab sipelgate ja rändlindude keelt ning tajub inimeste mõtteid – vanasti oleks teda nõiaks kutsutud ja ära põletatud. Ta on polüglott, kes tajub maailma ühisteadvustena. Filmis esineb ta noore, haritud, moeka ja vaimuka linnanaisena, kes ei tööta mitte keskkonnaaktivisti, ametniku, õpetlase või poliitikuna, vaid pornoportaali

*camgirl*'ina\*, andes vägagi ebatavalisi ja pornograafia mõttest järsult lahknevaid etendusi. Sellegipoolest kasvab ta populaarsus tohutu kiirusega ja järjest enam tüdrukuid püüab teda imiteerida. Temast saab superstaar – selline, kes ületab kaugelt oma tegutsemisruumi piirid. Vaevalt, et ta seda raha pärast teeb, pigem tundub ta olevat biosfääri agent, kelle missioon on pidurdada inimpopulatsiooni kasvukõverat ja pakkuda asemele hoopis teistsuguseid rõõme.

Flora elab koos helilooja ja psühhonaudi **Felixiga**, kes üritab droogide ja muusika abil läheneda ühisteadvusele, et ulatuda sfääridesse, kus ta pruut elab. Eelkõige püüab ta tabata, mis asi ühisteadvus üldse on, mismoodi on elada paljudes teadvustes korraga.

Flora manipuleerib oma *show*'des publiku mikrooboomiga telepaatiliselt. Ta ergutab osasid mikroobe paratüüsimisaparaati ning teisi tootma mammutkoguseid sünaptilist suhkrut, dopamiini. Sellise manipulatsiooni viljad investeeritakse Flora pakutavasse vaimsete naudingute kultuuri.

Portaalis tekib Florale väga ekstsentriline ja pealetükkiv kaval **mad\_hatter** (Kübarsepp), kellega areneb välja intensiivne suhe, ehkki nad kordagi ei kohtu. Mad\_hatter piitsutab Flora uudishimu meeleheiteni, sest erinevalt teistest austajatest on Kübarsepp Flora jaoks ligipääsmatu. Flora ei suuda lugeda mehe mõtteid ega ette näha tema reaktsioone. Loomulikult muutub Felix armukadedaks ja see kolmnurk tekitab valusaid kilde.

---

\* *Camgirl* – virtuaalne striptiisitar, kes suhtleb ja esineb pornoportaalis.

Ilmselgelt, aga see selgub sammhaaval, pole Kübarsepp miski muu kui tehisintellekt, kes nii nagu Floragi teeb koostööd biosfäärses teadvusega. Tema korraldatud on Flora kiire tähelend ja naudingute kultuuri trendiplahvatus. Felixi armukadedus muutub naeruväärseks, sest ükski suhe ei saa olla platoonilisem kui armumine puhtasse ideesse. Teisest küljest jääb see ikkagi traagiliseks, sest ka platooniline armukadedus on trauma, just nagu platooniline armastuski. Nii või teisiti ilmneb filmi lõpuks, et inimpopulatsiooni kasvu kõver on hoogsas languses, inimeste fookus nihkub ekspansioonilt sise-elu suunas ning õhku on visatud terve hulk teravaid küsimusi.

Et uudishimulikke vaatajaid varustada taustainfoga, intervjuueeritakse püstitatud teemadel reaalseid erialateadlasi ja mõtlejaid, kelle kommentaarid on filmi struktuuri sisse õmmeldud. Dramaturgelist kudet me filosoferimisega siiski ei löhu, sest *mocumentary* peletab kärsituma vaataja eemale. Kõige tõenäolisemalt lahendame me viited interaktiivses vormis, mitte küll Black Mirrori „Bandersnatchi“ sarnaselt alternatiivsete tegevusliinidena, vaid pigem ääremärkustena Wim Wendersi „Until the End of the World“ vaimus. Vahe on selles, et tänapäeval saab vaataja valida, kas ta avab viite või mitte. Kinodes näidatakse katkestusteta varianti, samal ajal on internetis või mõnes Netflixis saadaval ka viidetega kommenteeritud variant. Filmi moto, *it's not a movie, it's a movement*, tehakse teoks paralleelsete programmiliste sündmuste abil – näitused, kontserdid, konverentsid.

# Bioloogia klassika tõlked eesti keelde

---

**Kalevi Kull\* ja Raul Markus Vaiksoo†**

Bioloogia klassika tõlkimine eesti keelde on mureks olnud juba ammu.‡ Peame siin silmas mitte populaarteaduslikke käsitlusi, vaid bioloogilise mõtte jaoks olulisi tekste. Ilmunud on natuke Baeri, Uexkülli ja läbi raskuste Darwin. Mis ja kes veel? Kui filosoofia ja humanitaarteaduste vallas on eesti keelde tõlkimisega tehtud kaunis süstemaatilist tööd, siis bioloogiaga see kindlasti nii ei ole.

Miks see oluline on? Sest lugeda tuleb parimat. Õppimisel on mõistlik tähelepanu pöörata kõige olulisematele tekstidele. Et õppida ja õpetada bioloogiat eesti kultuuris ja Eesti ülikoolides§, on tarvilik eestikeelne bioloogia antoloogia.

---

\*TÜ, FLFI, kalevi.kull@ut.ee

† TÜ, ÖMI, markus.vaiksoo@gmail.com

‡ Üks neid, kus sellega tegeldi, oli 1986. aastal kirjastuse Valgus algatusel loodud ja mõne aasta tegutsenud eestikeelse bioloogilise tõlke- ja aimekirjanduse komisjon, kuhu kuulusid Toomas Tiivel, Viktor Masing, Henni Kallak, Andres Koppel, Ain Raitviir, Tiit Paaver, Kalevi Kull, Peeter Ernits, Urmas Sutrop ja Indrek Rohtmets. Muuseas oli seal üheks (seni realiseerimata) mõtteks koostada „Bioloogia antoloogia (XX sajand)“ – tõlkekogumik eluteaduse säravamate mõtlejate loominguist. Vt Kull, Kalevi 1988. Bioloogilise tõlke- ja aimekirjanduse komisjonis. *Eesti Loodus* 31(2): 123.

§ Vrd Vilbaste, Sirje; Tiivel, Toomas; Kull, Kalevi (toim) 2020. *Kuidas bioloogiat õpiti ja õpetati 1970ndate alguse Tartu Ülikoolis*. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

## **Kes on bioloogia klassikud?**

Esmalt tuleks küsida, keda üldse pidada bioloogia klassikuiks. Võib määratleda, et need on need, kelle töö on kõige enam arendanud eluslooduse mõistmist ja bioloogia teooriat, ehk võtmetekstide autorid või peamiste avastuste tegijad. Seega need, keda elukutseline bioloog teada võiks. Ilmselt pole see teadlaste hulk mingi selge piiriga. Kindlasti on valik ka aja jooksul muutuv ja arvatavasti teoreetilistest eelistustest või ajastu paradigmat sõltuv. Samuti sõltub hinnang olulisusele hindaja kultuurist. Kõik, keda bioloogia ajalugu nimetab, ei pruugi veel bioloogia klassikud olla. Bioloogia on paljude harudega, igal neist on oma klassikud ning kes neist bioloogiasse kui tervikusse ulatuvad, sõltub sellestki, kuidas bioloogiat struktureerida, milliseid selle osi olulisemaks pidada.

Toome järgnevalt bioloogia klassikute loendid kahe allika alusel. Esimene on Ilse Jahni ja Michael Schmitti kaheköitelisest teosest „Darwin & Co“\*. Ilse Jahn on üks tunnustatumaid bioloogia ajaloolasi, kelle koostatud on üks mahukamaid bioloogia ajaloo ülevaateid†. Teine aga Augusto Pi Suñeri raamatust, millel on otseselt selline pealkiri – „Classics of Biology“‡.

Niiis, bioloogia klassikud (kokku 52) Ilse Jahni ja Michael Schmitti järgi (raamatus „Darwin & Co“ esitatud, s.o enam-vähem ajaloolises järjekorras): Carl von Linné (Linnaeus), Georges-Louis Leclerc de Buffon, Charles Bonnet, Lazzaro

---

\* Jahn, Ilse; Schmitt, Michael (Hrsg.) 2001. *Darwin & Co.: eine Geschichte der Biologie in Portraits*. München: Verlag C. H. Beck.

† Jahn, Ilse (Hrsg.) 1998. *Geschichte Der Biologie: Theorien, Methoden, Institutionen, Kurzbiographien*. (3. Aufl.) Berlin: Gustav Fischer.

‡ Suñer, August Pi 1955. *Classics of Biology*. (Stern, Charles M., trans.) New York: Philosophical Library.



Spallanzani, Caspar Friedrich Wolff, Peter Simon Pallas, Georges Cuvier, Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, Jean-Baptiste Lamarck, Gottfried Reinhold Treviranus, Alexander von Humboldt, Richard Owen, Christian Gottfried Ehrenberg, Lorenz Oken, Karl Ernst von Baer, Matthias Jakob Schleiden, Wilhelm Hofmeister, Julius Sachs, Charles Darwin, Gregor Mendel, August Weismann, Ernst Haeckel, Wilhelm Roux, Hans Spemann, (kd 2:) Hugo de Vries, Thomas Hunt Morgan, Sewall Wright, Sergei Tšetverikov, Nikolai Vavilov, Gottlieb Haberlandt, John Burdon Sanderson Haldane, Julian Huxley, Theodosius Dobzhansky, Karl August Möbius, Friedrich Dahl, Robert Lauterborn, August Thienemann, George Evelyn Hutchinson, Charles Sutherland Elton, Otto Heinrich Warburg, Walter Max Zimmermann, Erwin Stresemann, Willi Hennig, Jakob von Uexküll, Karl Frisch, Oskar Heinroth, Erich von Holst, Konrad Lorenz, Elena ja Nikolai Timofejev-Ressovski, George Gaylord Simpson, Barbara McClintock.

Suñer jaotab bioloogia osadeks ning esitab klassikud (kokku 75) nende kaupa:

1. *Elu aine ja energia*: Antoine Lavoisier, Marcellin Berthelot, Hermann Helmholtz, Wilhelm Ostwald.
2. *Rakuteooria*: Robert Hooke, Theodor Schwann, Albert von Kölliker, Rudolf Virchow.
3. *Stiimul ja erutus*: Giovanni Alfonso Borelli, Francis Glisson, William Cullen, Albrecht von Haller, Claude Bernard.
4. *Biokatalüsaatorid*: Jöns Jacob Berzelius, Justus von Liebig, Louis Pasteur, Frederick Gowland Hopkins.
5. *Ainevahetus*: Claude Bernard, Charles Bouchard, Armand Gautier, Otto Meyerhof, Archibald Vivian Hill.

6. *Kasv ja paljunemine*: Eduard Strasburger, Walther Flemming, Yves Delage ja Edgard Hérourard.
7. *Idurakud ja keha, suguline ja suguta paljunemine*: August Weismann, Henry Fairfield Osborn, Julian Huxley.
8. *Vorm ja paljunemise dünaamika*: Édouard van Beneden, Theodor Boveri, Edmund Beecher Wilson, Thomas Hunt Morgan, Alfred Henry Sturtevant, Hermann Joseph Muller ja Calvin Bridges.
9. *Pärilikkus*: Gregor Mendel, Yves Delage ja Marie Goldsmith, Thomas Hunt Morgan, Conrad Hal Waddington.
10. *Isend ja liik*: Carl von Linné, Georges Cuvier, Charles Darwin, Thomas Henry Huxley, Hugo de Vries, Lorande Loss Woodruff.
11. *Preformatsioon ja epigenees*: Julian Huxley, Gavin de Beer, Maurice Caullery, Conrad Hal Waddington, Edmund Beecher Wilson.
12. *Elu Maal*: Jean-Baptiste Lamarck, Hans Driesch, Lorande Loss Woodruff.
13. *Geograafia ja paleontoloogia*: Alexander von Humboldt, Charles Lyell, Charles Darwin, Alfred Wallace.
14. *Põhjussikkus ja kuju*: Aristoteles, René Descartes, Claude Bernard, Platon, Augustinus, Max Scheler, Joaquín Xirau.
15. *Refleksid, teadvus ja tahe*: Santiago Ramón y Cajal, Ivan Pavlov, Charles Scott Sherrington, Vladimir Behterev, Sigmund Freud, René Descartes, George Berkeley, Ramon Turró y Darder, Miguel de Unamuno, Henri Bergson, Erwin Schrödinger.
16. *Tervik ja selle osad*: José de Letamendi Manjarrés, John Scott Haldane, Claude Bernard, Ludwig von Bertalanffy, Hans Driesch, José Ortega y Gasset, Manuel García Morente.

Neid kahte klassikute valikut võrreldes on märgata, et esimesel on suurem rõhk avastuste tegijail, teisel aga mõjukatel tekstidel. Samuti on tuntav kultuuriline vahe – esimesel saksa, teisel hispaania kultuuri suunas. Esimesel on suurem rõhk evolutsioonil, teisel üldbioloogial (vastavalt on viimases enam füsiolooge ja filosoofe). Esimene on koostatud pool sajandit hiljem kui teine, mistõttu lisandub noorema põlvkonna teadlasi (ent mitte enam kui 5–6), teises on seevastu mõni nimi ka eestpoolt 18. sajandit. Ühiseid teadlasi on kahes nimekirjas vaid 10: Linné, Cuvier, Lamarck, Humboldt, Darwin, Mendel, de Vries, Weis-mann, Morgan ja Julian Huxley. Niisiis on klassikute koosseis ajastu- ja kultuuripärane. Ka Eesti praegune vaade võib järelikult olla omade eelistustega.

Üks väheseid üldbioloogia klassikuid tutvustavaid eestikeelseid raamatuid on kogumik „Lehed ja tähed 5: Vaim ja aeg“ (2009, MTÜ Loodusajakiri; koostajad Indrek Rohtmets ja Toomas Kukk.) Selles on peatükid järgmistest teadlastest: Jean-Baptiste Lamarck, Georges Cuvier, Charles Lyell, Alfred Wallace, Charles Darwin, Alexander von Humboldt, Carl von Linné, Gregor Mendel, August Weismann, Thomas Hunt Morgan, samuti Karl Ernst von Baer, Jakob von Uexküll ja veel rida Eesti teadlasi.

## Lühike bioloogia klassika eesti tõlkelugu

Algust tehti XX sajandi esimese kümnendi kultuurilise pöörde<sup>\*</sup> ajal, mil tõlgiti Ernst Haeckelit, Ivan Pavlovit, Kliment Timir-

---

<sup>\*</sup> Selle eestlaste kultuurilise pöörde kohta vt Kivimäe, Jüri 2015. Sõda ja kultuuriline pööre. Rmt: Hinrikus, Mirjam; Mattheus, Ave (toim), *Esimene maailmasõda eesti kultuuris*. (Tallinna Ülikooli eesti keele ja kultuuri instituudi toimetised 17.) Tallinn: Tallinna Ülikool, 23–75.

jazevit (Timiräsew 1907; Pawlow 1912; Haeckel 1914). Järgnevad aastakümned Eesti Vabariigi ajal kuni Teise maailmasõjani lisasid vähe (Joubin 1935; Wells 1933), küll tõlgiti mõned klassikalised õpikud (Ludwig Diels, „Taimgeograafia“, 1924; Eduard Strasburger jt, „Botaanika õpperaamat“, 1926).

Sõjajärgsel aastakümnel tõlgiti vene keelest lõssenkistlikke autoreid, keda aga klassikute reas loetleda ei sobi. Siiski on märkimisväärne „Darvinismi lugemik I“ (Novikov, Paramonov 1948) kui seni ainus eestikeelne bioloogia antoloogia, milles nõukogude marksismiga raamitud tõlgiti (paraku enamasti vene keele kaudu) osi Charles Darwini mitmest teosest (kokku 228 lehekülge, suures osas „Liikide tekkest“), samuti olulisi lõike Jean-Baptiste Lamarcki, Alfred Wallace'i, Ilja Metšnikovi jt teostest. Samal perioodil lisandus Timirjazevi (1945, 1947, 1949), Pavlovi (1949, 1955) ja Darwini (1949) raamatuid eesti keelde.

Uue perioodi avas 1960ndate lõpp, mil bioloogia klassika tõlkimist pidas tähtsaks Viktor Masing, kelle valikul ilmusid *Eesti Looduses* Konrad Lorenzi (1969a, 1969b, 1980–1981), Niko Tinbergeni (1968), Irenäus Eibl-Eibesfeldti (1972–1973), Bernhard Grzimeki (1973–1974), Karl von Frischi (1974), Sergei Meieni (1979a, 1979b) jt teoste tõlked. Samas ajakirjas ilmusid ka George Gaylord Simpson (1973), Bernhard Rensch (1975) ja hiljem Jakob von Uexküll (1999). Mõnel määral tegeles tõlgete avaldamisega kirjastus Valgus, avaldades Konrad Lorenzi (1975, 1984) ja Niko Tinbergeni (1978, 1984) raamatud. Tartu Ülikooli Kirjastuselt ilmus Greig-Smith (1969).

Tõlkimise maht kasvas tublisti koos Eesti Vabariigi taastamisega. Terve rida bioloogide tõlkeid on ilmunud aja-

kirjas *Akadeemia*: Karl Ernst von Baer (1992, 2002, 2018), Ernst Mayr (1989, 2004), Robert Rosen (2006), Jakob von Uexküll (1991), Jesper Hoffmeyer ja Claus Emmeche (1997), mõned ka ajakirjas *Vikerkaar*: Konrad Lorenz (1996), Jakob von Uexküll (1996), Stephen Jay Gould (1999).

Tallinna Ülikooli Kirjastuselt on sarjas „Gigantum humeris“ ilmunud Jesper Hoffmeyeri (2014) ja Konrad Lorenzi (2018) raamatud, Tartu Ülikooli Kirjastuselt Ernst Mayr (2017), Karl Ernst von Baer (2017). Mõned teosed on ilmunud ka kirjastuselt Ilmamaa: Uexküll (2012), Baer (2015), Erwin Schrödinger (2015).

Varraku kirjastusel on sari „Roheline raamat“, milles on avaldatud terve rida olulisi tõlkeid: David Beerling (2012), Richard Dawkins (2014), Daniel Dennett (2011), Ilkka Hanski (2018), Denis Noble (2016), David Quammen (2004).

Otseselt asjassepuutuvana algatas Eesti Looduseuurijate Selts sarja „Loodusteaduste klassikuid“. Selles on ilmunud kolm teost Charles Darwinilt (2006, 2012, 2015) ning geneetika ajaloo alane raamat Mart Viikmaalt,\* mis sisaldab Gregor Mendeli (2018) ja Francis Galtoni (2018a, 2018b) tekstide tõlkeid. Rida lühemaid tõlketekste on ilmunud teoreetilise bioloogia kevadkoolide väljaandeis (vt loend allpool).

Kõige suuremas mahus on bioloogia klassikat eesti keelde tõlkinud arvatavasti Viktor Masing, Mart Niklus ja Lauri Laanisto. „Schola Biotheoretica“ köiteis on peamised tõlkijad olnud Toomas Trapido, Silver Rattasepp ja Lauri Laanisto.

---

\* Viikmaa, Mart 2018. *Pärilikkuseteaduse teerajajad*. (Loodusteaduste klassikuid 4.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.

### **Keda järgnevalt tõlkida?**

See küsimus on arutluse all olnud korduvalt. Huvitavad ja olulised tunduvad näiteks Conrad Waddington, John Tyler Bonner, Stephen Jay Gould, Lynn Margulis. Jean-Baptiste Lamarck ja Alfred Wallace tuleks üle tõlkida algkeeltest. Ja palju muud. Ülaltoodud klassikute loendeist väärib eeskuju võtta ning bioloogiatudengite tarvis antoloogia kokku panna.

### **Tõlgete bibliograafia**

Järgnevalt on toodud täielik nimestik sarjas „Schola Biotheoretica“ ilmunud tõlkeist ja ilmselt ebatäielik nimekiri mujal ilmunud bioloogia klassika tõlkeist. Tuleb tunnistada, et täielikumat nimestikku on olemasolevate andmebaaside abil võrdlemisi keeruline kokku panna.

Tõlgitud on veel ka õpikuid ning palju populaarteaduslikku kirjandust, mida me siia ei lisanud. Lõssenkistide töid pole siia arvatud. Piir populaarteadusliku ja teadusliku kirjanduse vahel on võrdlemisi hägune – näiteks kirjastuse Tänapäev sarja „Looduse lood“ tõlketeksteid pole siia nimestikku saanud (välja arvatud Frans de Waal 2018), mõni teine aimeteos aga on sisse sattunud. Välja on jäetud ka teaduskirjanike tekstid (Maurice Maeterlinck, Jossif Halifman, Nikolai Verzilin, Nikolai Plavilštšikov, Peter Wohlleben, Steve Jones jt), samuti määravad ning „Loomade elu“ köited. Nimestikku pole pandud ka keskkonnakaitse klassikat (Rachel Carson, Pentti Linkola, Clive Ponting, „Bioetika võtmetekste: antoloogia“).

Sellest ülevaatest võiks olla natuke abi nii bioloogia õppimisel ja õpetamisel kui ka edaspidise tõlketöö kavandamisel.

### **Bioloogia klassika tõlked eesti keelde sarjas „Schola Biotheoretica“**

- Bateson, Gregory 2015. Metalog: miks on asjadel piirjooned? (Rattasepp, Silver, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Piiride teooria) 41: 17–26. [Bateson, Gregory 2000 [1972]. *Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology*. Chicago: University of Chicago Press, 37–42.]
- Edelman, Gerald 1995. Äratundmise teadused. (Trapido, Toomas, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Äratundmise teooria) 21: 6–13. [Edelman, Gerald 1992. *Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of the Mind*. New York: BasicBooks, 73–80.]
- Humboldt, Alexander von 2019. Essee taimegeograafiast. (Laanisto, Lauri, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Biogeograafia) 45: 9–30. [Humboldt, Alexander von; Bonpland, Aimé 1805. *Essai sur la géographie des plantes; accompagné d'un tableau physique des régions équinoxiales*. Paris: Levrault, Schoell & Co. Osaline tõlge inglise keele vahendusel.]
- Janzen, Daniel Hunt 2018. Millal on tegemist koevutsiooniga? (Rattasepp, Silver, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Ökosüsteemsus) 44: 49–51. [Janzen, Daniel Hunt 1980. When is it coevolution? *Evolution* 34(3): 611–612.]
- Janzen, Daniel Hunt 2018. Ökoloogilisest sobitumisest. (Rattasepp, Silver, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Ökosüsteemsus) 44: 53–62. [Janzen, Daniel Hunt 1985. On ecological fitting. *Oikos* 45(3): 308–310.]
- Markus, Eduard 2019. Looduskompleksid. (Kurs, Ott, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Biogeograafia) 45: 143–162. [Markus, Eduard 1926. Naturkomplexe. *Tartu Ülikooli Loodusuurijate Seltsi aruanded* 32(3/4): 79–94.]
- Sebeok, Thomas 2005. Kas loomad oskavad valetada? *Schola Biotheoretica* (Vale teooria) 31: 93–98. [Sebeok, Thomas A. 1986. *I Think I am a Verb: More Contributions to the Doctrine of Signs*. New York: Plenum Press, 126–130.]
- Stearns, Stephen C. 1991. Milleks sugu ja mis ta endaga kaasa toob. (Gross, Toomas, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Soo teooria) 17: 6–20. [Stearns,

- Stephen C. 1987. Why sex evolved and the differences it makes. In: Stearns, Stephen C. (ed.), *The Evolution of Sex and its Consequences*. Basel: Birkhäuser Verlag, 15–31.]
- Tansley, Arthur George 2018. Taimkattealase terminoloogia ja kontseptsioonide kasutus ja väärkasutus. (Laanisto, Lauri, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Ökosüsteemsus) 44: 23–36. [Tansley, Arthur George 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* 16(3): 284–307.]
- Thom, René 1994. Lühiülevaade Waddingtoni kontseptsioonidest. (Trapido, Toomas, tlk.) *Schola Biotheoretica* (Eluteaduse metodoloogia) 20: 47–51. [Thom, René 1989. An inventory of Waddingtonian concepts. In: Goodwin, Brian C.; Saunders, Peter T. (eds.), *Theoretical Biology: Epigenetic and Evolutionary Order from Complex Systems*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1–8.]

### **Bioloogia klassika tõlkeid eesti keelde muudes väljaannetes**

- Baer, Karl Ernst von 1975. Eestlaste endeemilistest haigustest. *Folia Baeriana* 1: 143–181.
- Baer, Karl Ernst von 1976. Eestlaste endeemilistest haigustest. (Torpats, Ülo, tlk; Haberman, Harald, eessõna; Kalnin, Viktor, järelsõna.) *Loomingu Raamatukogu* 33.
- Baer, Karl Ernst von 2013. *Eestlaste endeemilistest haigustest*. Tartu: Hea Lugu.
- Baer, Karl Ernst von 1986. Tartu ülikool 1810–1814. Rmt: Issakov, Sergei (toim), *Mälestusi Tartu ülikoolist (17.–19. sajand)*. Tallinn: Eesti Raamat, 67–90.
- Baer [Karl Ernst von] 1992. Loodusfilosoofiast ja teleloogiast. [Katkendid valinud] Stölzle, Remigius. *Akadeemia* 4(3): 461–465.
- Baer, Karl Ernst von 2002. Milline vaade elusloodusele on õige? ning Kuidas seda rakendada entomoloogias? (Lopp, Nele, tlk; Tammiksaar, Erki; Kull, Kalevi, järelsõna.) *Akadeemia* 14(12): 2556–2584.
- Baer, Karl Ernst von 2015. *Teateid herra salanõuniku Dr. Karl Ernst von Baeri elu ja kirjatööde kohta edastatud tema enda poolt*. (Lääts, Anti, tlk.) Tartu: Ilmamaa.



- Baer, Karl Ernst von 2017. *Üldine seadus looduse arengus*. (Lääts, Anti, tlk; Kull, Kalevi, saatesõna.) Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus. \*
- Baer, Karl Ernst von 2018. Looduse arengu üldisim seadus. (Lääts, Anti, tlk; Hein, Kalle, toim; Kull, Kalevi, järelsõna.) *Akadeemia* 30(4): 579–605.
- Bateson, Gregory 2018. *Vaim ja loodus – möödapääsmatu ühtsus*. (Varik, Aet, tlk; Kotov, Kaie, järelsõna.) Tallinn: Eesti Keele Sihtasutus.
- Beerling, David 2012. *Smaragdplaneet: Kuidas taimed on muutnud Maa ajalugu*. (Laanisto, Lauri, tlk.) (Roheline Raamat 9.) Tallinn: Varrak.
- Darwin, Charles 1949. *Loodusuurija reis ümber maailma purjekal „Beagle“*. (Port, Jaan, tlk; Uibo, Arkaadi, eessõna.) Tartu: Teaduslik Kirjandus.
- Darwin, Charles 2005. *Mälupildid minu teadvuse ja iseloomu arenemisest*. (Raun, Mait, tlk ja kommentaar.) Tartu: MR Piller.
- Darwin, Charles 2006. *Autobiograafia*. (Niklus, Mart, tlk ja eessõna; Puura, Ivar, teine eessõna.) (Loodusteaduste klassikuid 1.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.
- Darwin, Charles 2012. *Liikide tekkimine*. (Niklus, Mart, tlk; Viikmaa, Mart; Puura, Ivar; Tinn, Oive, toim.) (Loodusteaduste klassikuid 2.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.
- Darwin, Charles 2015. *Inimese põlvnemine*. (Niklus, Mart, tlk; Viikmaa, Mart; Puura, Ivar; Tinn, Oive; Laanisto, Lauri, toim.) (Loodusteaduste klassikuid 3.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.
- Dawkins, Richard 2014. *Isekas geen*. (Laanisto, Lauri, tlk.) (Roheline Raamat 10.) Tallinn: Varrak.
- Dennett, Daniel C. 2011. *Darwini ohtlik idee: evolutsioon ja elu paljumõttelisus*. (Laanisto, Lauri; Liivamägi, Marika, tlk.) (Roheline Raamat 7.) Tallinn : Varrak, 2011.
- Eibl-Eibesfeldt, Irenäus 1972–1973. Galápagos. (Masing, Viktor, tlk.) *Eesti Loodus* 1972, (8): 501–504; (9): 568–574; (10): 630–636; (12): 754–759; 1973, (1): 52–57; (2): 120–124; (3): 185–190; (4): 250–254.
- Frisch, Karl 1974 [1963]. Mesilased ja lilled. (Masing, Viktor, tlk.) *Eesti Loodus* (6): 339–342.

---

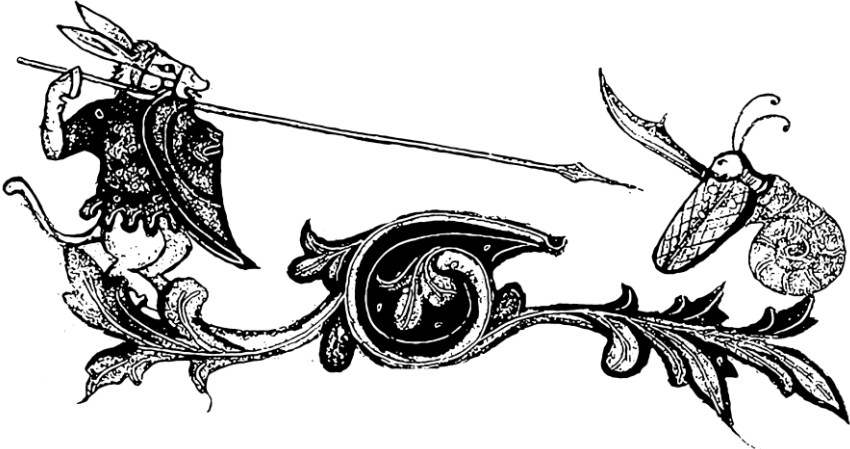
\* See Baeri artikli tõlge sai korraldatud 43. teoreetilise bioloogia kevadkooli puhuks, mille teema oli Baer. Kuna aga „Schola Biotheoretica 43“ läks trükki enne selle tõlke valmimist, anti ta välja eraldi vihuna. Oluliselt Kalle Heina poolt parandatuna ilmus tõlge järgmisel aastal Akadeemias (Baer 2018).

- Galton, Francis 2018a [1869]. Pärilik geenius. (Viikmaa, Mart, tlk.) Rmt: Viikmaa, Mart, *Pärilikkuseteaduse teerajajad*. (Loodusteaduste klassikuid 4.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts, 108–111.
- Galton, Francis 2018b [1889]. Loomulik pärilikkus. (Viikmaa, Mart, tlk.) Rmt: Viikmaa, Mart, *Pärilikkuseteaduse teerajajad*. (Loodusteaduste klassikuid 4.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts, 112–120.
- Gould, Stephen Jay 1999 [1996]. Evolutsiooni kolm tahku. (Väljataga, Mär, tlk.) *Vikerkaar* 3: 124–126.
- Greig-Smith, Peter 1969 [1957; 1964]. *Kvantitatiivne taimeökoloogia*. (Frey, Toomas, tlk.) Tartu: Tartu Riiklik Ülikool.
- Grzimek, Bernhard 1973–1974 [1962]. Loomad on ju hoopis teistsugused. (Masing, Viktor, tlk.) *Eesti Loodus* 1973, (8): 496–501; (9): 565–568; (11): 694–699; 1974, (1): 46–52; (2): 110–114; (3): 186–190. [Tõlge teosest „Wir Tiere sind ja gar nicht so!“]
- Haeckel, Ernst 1914. *Loodus ja inimene: Wiis päätükki*. (Ernst Haeckeli töödest ühes [Johann Jansi] sissejuhatusega tema 80. sünnipäeva mälestuseks E. Haeckeli pildi ja mitme joonistusega tekstis.) (Kogermann, Paul; Luik, Villem; Reben, August; Reichenbach, Heinrich; Kubjas, Eduard, tlk.) Tartu: Noor-Eesti.
- Hanski, Ilkka 2018. *Sõnumeid saartelt: Elurikkuse ilmatuur*. (Laanisto, Lauri, tlk.) (Roheline Raamat 13.) Tallinn: Varrak.
- Hoffmeyer, Jesper 2014 [2008]. *Biosemiootika: Uurimus elu märkidest ja märkide elust*. (Puhang, Ehte, tlk; Ott, Margus; Rünkla, Liisi, toim; Kull, Kalevi, järelsõna.) (Gigantum humeris.) Tallinn: Tallinna Ülikooli Kirjastus.
- Hoffmeyer, Jesper; Emmeche, Claus 1997 [1991]. Topeltkodeeritus ja eluslooduse semiootika. (Mikita, Valdur, tlk.) *Akadeemia* 10: 2114–2148.
- Joubin, Louis 1935 [1926]. *Mereloomade mooned*. (Riikoja, Hendrik, tlk ja eessõna.) (Prantsuse Instituudi toimetised 1.) Tartu: Loodus. [Joubin, Louis 1926. *Les métamorphoses des animaux marins*. Paris: E. Flammarion.]
- Lorenz, Konrad 1969a [1963]. Niinimetatud tigidus. (Masing, Viktor, tlk; Kumari, Eerik, eessõna.) *Eesti Loodus* (8): 499–502; (9): 562–565; (11): 696–700; (12): 765–768.
- Lorenz, Konrad 1969b [1964]. Vihaleajavad loomalood. *Eesti Loodus* 12: 768. [Originaal: Lorenz, Konrad 1964. Zorn über Tiergeschichten. *Das Tier* 6.]

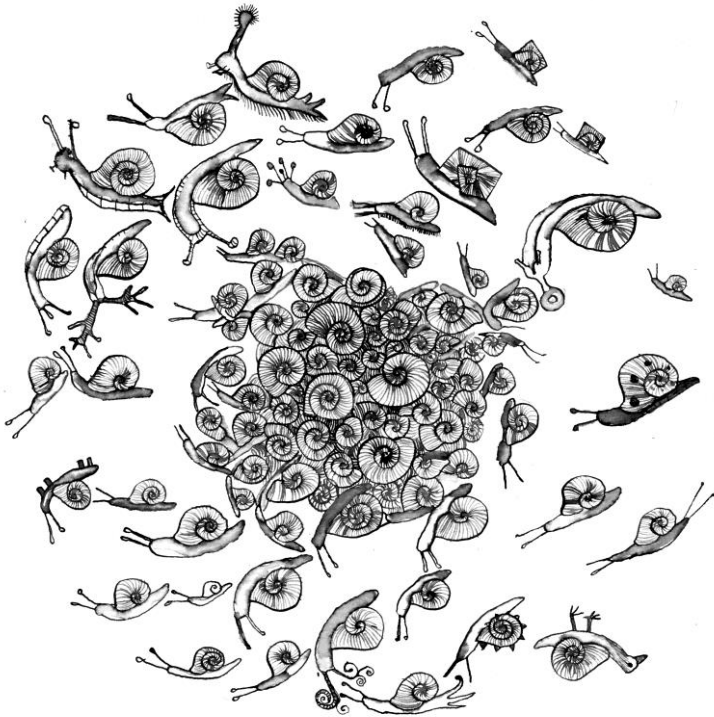
- Lorenz, Konrad 1975 [1950]. *Inimene leiab sõbra*. (Ling, Ruth, tlk.) Tallinn: Valgus.
- Lorenz, Konrad 1980–1981 [1949]. Kuningas Saalomoni sõrmus. (Keskpaik, Tiiu, tlk ja eessõna.) *Eesti Loodus* 1980: (2): 114; (3): 191; (4): 258; (6): 404; (7): 468; (8): 530; (9): 602; (10): 678; (11): 736; (12): 814; 1981: (1): 46; (2): 116. [Raamatuna Lorenz 1984. Originaal: „Er redete mit dem Vieh, den Vögeln und den Fischen“.]
- Lorenz, Konrad 1984 [1949]. *Kuningas Saalomoni sõrmus: loomade käitumisviisidest*. (Keskpaik, Tiiu, tlk.) Tallinn: Valgus.
- Lorenz, Konrad 1996 [1963]. Harjumus, tseremoonia ja nõidus (peatükk raamatust „Niinimetatud kurjus. Agressiooni loodusloost“). (Keskpaik, Tiiu, tlk ja järelsõna.) *Vikerkaar* 1/2: 145–164.
- Lorenz, Konrad 2018 [1963]. *Niinimetatud kurjus: agressiooni looduslugu*. (Tarvas, Mari, tlk; Keskpaik, Tiiu, eessõna; Kull, Kalevi, järelsõna.) (Gigantum humeris.) Tallinn: TLÜ Kirjastus.
- Mayr, Ernst 1989 [1961]. Põhjus ja tagajärg bioloogias. (Hein, Kalle, tlk.) *Akadeemia* 9: 1869–1887.
- Mayr, Ernst 2004. 80 aastat vaatlusi evolutsioonimaastikul. (Hein, Kalle, tlk.) *Akadeemia* 12: 2596–2603.
- Mayr, Ernst 2017. *Bioloogilise mõtte areng: mitmekesisus, evolutsioon ja pärilikkus*. (Maiväli, Ülo; Remm, Sille; Vind, Kristiina, tlk; Kull, Kalevi, järelsõna.) (Avatud Eesti raamat.) Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Meien, Sergei 1979a [1971]. Taimedünastiate ajaloost [1–7]. (Masing, Viktor, tlk.) *Eesti Loodus* (1): 51–56, (2): 110–116, (3): 195–201, (4): 257–262, (5): 325–331, (6): 403–410, (7): 467–473.
- Meien, Sergei 1979b. Neetud saladus. (Masing, Viktor, tlk.) *Eesti Loodus* (8): 532–537.
- Mendel, Gregor 2018 [1866]. Katsed taimehübriididega. (Viikmaa, Mart, tlk.) Rmt: Viikmaa, Mart, *Pärilikkuseteaduse teerajajad*. (Loodusteaduste klassikuid 4.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts, 66–104.
- Noble, Denis 2016. *Elu muusika: Bioloogia teispoold geene*. (Laanisto, Lauri, tlk; Kull, Kalevi, järelsõna.) (Roheline Raamat 11.) Tallinn: Varrak.
- Novikov, Sergei A.; Paramonov; Aleksandr A. 1948 [1945]. *Darvinismi lugemik I*. (Uibo, Arkaadi, tlk.) Tartu: RK „Teaduslik Kirjandus“. [Lisaks mõnedele lehekülgedele marksismi klassikult (Lenin, Marx, Engels, Stalin) ja Trofim Lõssenkolt (lk 369–375) sisaldab see köide vene keele vahendusel tõlgitud tekstilõike mitmelt bioloogia klassikult, sealhulgas

- väga ulatuslikult mitmest Darwini tööst: Charles Darwin lk 17–19, 105–109, 115–127, 138–318, 326–327, 329, 336–337, 345, 348–369, 375–380; Ernst Haeckel 19–20, 318–322, 328–329, 390–391; Hermann Helmholtz 322–324, 388–390; Jean-Baptiste Lamarck 79–99; Charles Lyell 327; Mihhail Menzbier 393–395; Ilja Metšnikov 30–75, 395–409; Kliment Timirjazev 20–21, 75–79, 109–115, 324–326, 327–328, 329–336, 337–340, 345–348, 391–393; Alfred Wallace 127–136.]
- Pawlow, I. 1912. *Looduseteadus ja peaaaju: Looduseteadusline tee hingeliste nähtuste tundmaõppimiseks*. (Depman, Jaan, tlk ja kommentaarid.) Peterburi: Ühiselu.
- Pavlov, Ivan P. 1949. *Loengud peaaaju suurte poolkerade tööst*. (Reiman, Arnold, tlk; eessõna: Kvassov, Dmitri G.; Seeberg, Harri, eessõna.) Tartu: Teaduslik Kirjandus.
- Pavlov, Ivan Petrovitš 1955. *Valitud teosed*. (Koštojants, Hatšatur Sedrakovitš, toim ja eessõna; Stroganov, V. V.; Smirnov, G. D., teksti valik, kommentaarid ja märkused.) Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus.
- Quammen, David 2004. *Dodo laul: Saarte biogeograafia ja liikide hääbumine*. (Liivamägi, Marika, tlk.) (Roheline Raamat 4.) Tallinn: Varrak.
- Rensch, Bernhard 1975. Evolutsiooni seaduspärasus (bionomogenees). (Sutt, Toomas, tlk.) *Eesti Loodus* 3: 181–183, 4: 241–244.
- Rosen, Robert 1984. Organismi mõistest. (Kull, Kalevi, tlk.) *Eesti Looduseurijate Seltsi Aastaraamat* 69: 19–25.
- Rosen, Robert 2006. Churchi-Pythagorase tees. (Hein, Kalle, tlk; Kull, Kalevi, järelsõna.) *Akadeemia* 18(12): 2728–2749.
- Schrödinger, Erwin 2015. *Mis on elu? Vaim ja aine. Autobiograafilisi visandeid*. (Lias, Ruth, tlk.) Tartu: Ilmamaa.
- Simpson, George Gaylord 1973. Bioloogia ja teaduse olemus [1–2]. (Maavara, Vambola, tlk.) *Eesti Loodus* (6): 369–373, (7): 424–428.
- Timiräsew, Kliment 1907. *Charles Darwin ja tema õpetus*. (Enno, Ernst, tlk.) Tartu: Noor-Eesti.
- Timirjazev, Kliment 1945. *Taime elu*. (Port, Jaan, tlk.) Tartu: RK „Teaduslik Kirjandus“.
- Timirjazev, Kliment 1947. *Charles Darwin ja tema õpetus*. (Saul, Alfred Richard, tlk; Mesterhazi, M., eessõna.) Tallinn: Pedagoogiline Kirjandus.
- Timirjazev, Kliment 1949. *Ajalooline meetod bioloogias*. (Pill, J., tlk; Komarov, Vladimir L., eessõna.) Tartu: Teaduslik Kirjandus.

- Tinbergen, Niko 1968. Mesilasehuntide jahimaadel. (Masing, Viktor, tlk.) *Eesti Loodus* (9): 562–566; (10): 622–627; (11): 687–692; (12): 752–756.
- Tinbergen, Niko 1978. *Loomade käitumine*. (Ling, Ruth, tlk.) Tallinn: Valgus.
- Tinbergen, Niko 1984. *Uudishimulikud looduseuurijad*. (Veromann, Heinrich, tlk.) Tallinn: Valgus.
- Uexküll, Jakob von 1991. Täendusõpetus. (Tõns, Meelis, tlk.) *Akadeemia* 3(10): 2105–2113.
- Uexküll, Jakob von 1996. Rännak läbi loomade ja inimeste omailmade. (Peiker, Piret, tlk; Kull, Kalevi, järelsõna). *Vikerkaar* 1/2: 165–173.
- Uexküll, Jakob von; Kriszat, Georg 1999. Rännud loomade ja inimeste omailmades. (Tarvas, Mari, tlk; Kull, Kalevi, järelsõna.) *Eesti Loodus* (1): 35–38, (2/3): 107–109, (4): 156–159, (5): 204–206, (6): 252–255, (7): 301–303, (8): 349–350, (9): 393–395, (11/12): 518–520.
- Uexküll, Jakob von 2012. *Omailmad*. (Räni, Krista; Tarvas, Mari, tlk; Kull, Kalevi; Magnus, Riin, koost. ja järelsõna.) (Eesti mõttelugu 105.) Tartu: Ilmamaa.
- Waal, Frans de 2018. *Kas oleme küllalt nutikad mõistmaks, kui nutikad on loomad?* (Renno, Olav; Randus, Tiina, tlk.) (Looduse lood.) Tallinn: Tänapäev.
- Wells, Herbert George 1933. *Elu ja inimese põlvnemine*. (Lao, Voldemar, tlk; Piiper, Johannes, toim.) (Elav Teadus 15.) Tartu: Eesti Kirjanduse Selts.



# Kohtumisi







# Alexander von Humboldt

## Tartus\*

---

### Viktor Masing†

Soov uurida idapoolkera suurima riigi geograafiat, eriti maastikke ja nende mineraloogilisi rikkusi, oli A. v. Humboldt tekkinud juba õpinguaastatel Freiburgi Mäeakadeemias. Ta oli tutvunud seal õppivate vene geoloogidega. Ühega neist – V. Soimonoviga – sidus teda kestav sõprus ja kirjavahetus. Oma kirjas 11. VII 1793 kirjutab Humboldt, et tema üheks palavaks sooviks on sõita Venemaale, külastada Siberit, Krimmi ja Kaukaasiat (Есаков, 1960). Siis tuli suur ekspeditsioon Ameerikasse ja kava võrdluseks uurida Aasiat tuli edasi lükata.

1808. aastal, kui Humboldt oli süvenenud Ameerika materjalide läbitöötamisele Pariisis, tegi temaga kohtumisel Vene tollane kaubandusminister N. Rumjantsev ettepaneku osa võtta Vene diplomaatilisest missioonist Tiibetisse. Humboldt oli vaimustusega nõus ja tegi plaani, kuidas saaks seda reisi laiendada 7–8 aastaseks uurimisekspeditsiooniks Uuralist Kamtšatkani. Kuid vahele tulid Napoleoni sõjakäigud ja

---

\* Ettekanne 27. okt. 1995 Eesti Loodusuurijate Seltsi maja pidulikul avamisel Tartus Struve 2. Selles majas peatus A. von Humboldt oma Aasia reisile minnes ja tagasiteel 1829. a. Tekst on algselt ilmunud 1996, LUSi aastaraamatus nr 77 (toim Tõnu Möls), lk 231–235. Kogumiku toimetaja tänavad Piia Jaksit teksti sisestamise eest.

† 1925–2001.

muutunud suhted Euroopaga tegid selle plaani realiseerimise võimatuks. Uuesti algas kirjavahetus Venemaa reisi asjus 1820-ndail aastail.

1822 avastati Uuralis ulatuslikud platinavarud. Tõusis probleem, kas oleks otstarbekas seda metalli kasutada hõbeda ja kulla kõrval müntide verimiseks. Vene rahandusminister, Raikküla mõisa omanik krahv G. v. Cancrin pöördus 25. VIII 1827 ametliku kirjaga Humboldti poole nõuande saamiseks. Humboldt vastas, et käibemüntideks pole tema arvates plaatina otstarbekas kasutada, küll aga võiks sellest vermida kallimaid mälestus- ja suveniirrahasid. Ühtlasi avaldas ta taas soovi Venemaad külastada. Cancrin oli nõus korraldama reisi Vene valitsuse kulul juba järgmisel aastal. Humboldt lükkas sõidu aasta võrra edasi, et selleks paremini valmistuda. Ta soovis külastada peale Uurali kaevanduspiirkonna Kesk-Aasia ja Kaukaasia mäestikke ning Baikali järve. Kaaslasena soovis ta näha Moskva Ülikooli professorit ja sealse Loodusuurijate Seltsi esimeest G. Fischerit. Vene valitsus andis reisiks 20 000 rubla, lisaks 1200 taalrit sõiduks Berliinist Peterburi ja tagasi. Uurijal oli õigus koguda mineraale ja kivimeid, tollipiirangud tühistati selleks puhuks. Valitsus andis käsu kõrge külaline kohtadel kõigi austusavaldustega vastu võtta. Külalise saatjaks määrati kogenud mäeinsener D. Menšenin, kes kõneles lodusalt prantsuse ja natuke saksa keelt (Humboldt, 1860).

Kaasasõitjaks valis Humboldt kaks ülikooli professorit Berliinis: Christian Gottfried Ehrenbergi ja Gustav Rose.

Ehrenberg oli meditsiiniprofessor, ühtlasi ekspeditsiooni arst. Tal oli kogemusi Aafrika loodusest, ta tundis hästi nii taimi kui loomi, kuid eriti tuntuks sai ta protistoloogina. Nii jäi tema hooleks teave elusa looduse kohta.

Rose oli mineraloogia ja keemia professor. Tema kohustuseks sai mineraalide ja kivimite kogumine, keemiline analüüsimine ning reisirühma juhtimine.

Humboldt ise pidas isiklikku päevikut, tegi astronoomilisi, geodeetilisi, geomagnetismialaseid ja geomorfoloogilisi vaatlusi. Selleks oli kaasa võetud 18 mõõteriista ja rauavaba telk maa magnetismi uurimiseks.

Berliinist lahkuti 12. aprillil 1829. Esimeses neljakohalises tõllas, mille katus oli avatav, sõitsid teadlased; teises, mida nimetatakse poolevedruvankriks, oli pagas ja saatev personal: postikurjeer, kammerteener Seuffert. Pärast Peterburi lisandus veel üks tõld, nii et igas sõidukis oli kaks sõitjat ja üha kasvav hulk teaduslikku materjali. Igas postijaamas rakendati ette 10–20 hobust. Nagu pärast selgus, läbiti kokku 14 500 versta, sealhulgas 700 versta laeval jõgesid mööda ja ligi 100 versta Kaspia merel. 568 postijaamast saadi kokku 12 244 hobust.

Sõit oli tollaste tingimuste kohta maksimaalsete mugavustega. Vastandina väliolukorrale Ameerika reisil oli nüüd tegemist kõrge riikliku külalise visiidiga. Kohalike või-  
mude ja aadlike vastuvõtu- ja lahkumisteremooniad nõudsid palju aega ja tingisid vajaduse kõikjal arvestada seisusekohase etiketi nõudeid.

Riiast alates sõitis reisiseltskonna ees erikuller, kes teatas postijaamadele kõrgete külaliste saabumisest ja pidi tellima vajaliku arvu hobuseid. See kiirendas sõitu, kuid nõudis lisakulu. Siiski tuli Humboldt saadud taalritega ilusti toime.

Peamised takistused tulenesid kevadisest sulast. Oli jääminekuaeg, jõed olid kallastest välja valgunud, teed olid

porised ja tõllad jäid tihti kinni. Siiski ei juhtunud pikemal reisil ühtegi raskemat õnnetust.

Lauge liivane Liivimaa ei avaldanud reisijaile erilist muljet. Sellest teelõigust on vähe märkmeid. Tähelepanu äratasid vaid Riia hansalinnamälestised.

Sõit Riiasse Tartusse kestis 33 tundi. Tartusse jõuti 27. aprilli varahommikul. Tuiskas märga lund. Külaliste käsutusse anti ülikooli neljahobusetöld. Teaduslik programm nägi ette tutvumise Uurali ja Altai ekspeditsioonide materjalidega. Peale selle kulus palju aega kombekohaseks professorite visiteerimiseks. Nii kestis tegevus kella 8-st 21-ni.

Jaotati ülesanded: Ehrenberg pidi botaanikaaias külastama prof. C. Ledebouri ja konsulteerima Altai flora küsimises. Rose pidi minema prof. M. v. Engelhardti juurde ja tutvuma mineraloogiliste kogudega. Engelhardt andis kaasa väärtusliku kingituse – killu Havai 1825. a. meteoriidist. Humboldt kontrollis W. Struve juures tähetornis põhjalikult aparatuuri.

Ülikooli rektor prof. G. Ewers korraldas ametliku lõunasöögi, millest võtsid osa kõik professorid. Kahjuks prof. J. F. Parrot, kellega Humboldt lootis kohtuda, oli parasjagu Kaukaasia reisil, mis läks teaduse ajalukku seoses tõusuga Araratile kohaliku teejuhi H. Abovjani juhtimisel.

Juba järgmisel hommikul sõideti edasi Peterburi poole, kus olid ette nähtud kohtumised tsaari ja tema perekonnaga, ettekanne Teaduste Akadeemias. Seal edasi Moskvasse, Kaasanisse, siis Uurali kaevanduspiirkondadesse ja läbi steppide Altaisse, Hiina piirini. Tagasiteel peatuti Volga suudmes ja tehti laevasõit Kaspia merele. Sõja tõttu Kaukaasias

ei lubatud külalistel sinna põigata. Tagasiteel oli taas ööpäevane peatus Tartus 16.–17. XII 1829.

Rose viivitas kaua reisiraamatu avaldamisega, milles on kasutatud ka Humboldti päeviku märkmeid. Kui see lõpuks kahes köites (1837 ja 1842) ilmus, oldi pettunud: värvika kompleksse reisikirjelduse asemel sisaldas see valdavalt fakti- list andmestikku mineraloogia ja geoloogia vallast. Humboldt oli lubanud Cancrinile, et ta ei puuduta Venemaa ühiskond- likke olusid, majandust ja poliitikat. Kaasasõitev mäenõunik pidi hoolt kandma, et külaline midagi taunitavat ei näeks. Humboldt võttis diplomaatlikult omaks võõrustaja nõuded, ent oma kirjades vennale kirjeldab ta masendustundega sunni- tööliste ja väljasaadetute elu Siberis. Ühel juhul taotles ta tsaariga kohtumisel mäeinseneri Danilovi vabastamist sunni- töölt, mis andis soodsaid tagajärgi.

Oma reisi tulemustest avaldas Humboldt rea prantsus- keelseid “fragmente” ja lõpuks kolmeköitelise “Asie Centrale” (Humboldt, 1831, 1843). Ehrenberg avaldas reisil saadud materjale artiklitenä ja mikroskoopiliste fossiilide koond- käsitluses “Mikrogeoloogia” (1854).

Sajandi suurima maa- ja loodusteadlase Aasia reisi tulemused leidsid rohket kajastamist kaasaegses kirjanduses ja hiljem. Oli selge, et tõelise uurimisekspeditsiooni asemel, millest unistas Humboldt, kujunes see üldiseks tutvumis- ja suhete loomise reisiks, millest oli ka omajagu tulu: Vene loodusrikkusi (eriti mineraloogilisi) süstematiseeriti ja hinnati nende kasutusviise; Läänele oli see suureks teabeallikaks ja avas tee kontaktidele eri maade teadlaste vahel.

Teisalt oli see diplomaatiline üritus, riiklik visiit, kus 60-aastane külaline oli kõrgema seltskonna tähelepanu kesk-

mes ja suur osa aega kulus pidulikkudele vastuvõttudele. S. Puškin iseloomustas Humboldti kui “marmorlövi fontäänis, kus see pidi vahetpidamata purskama viisakusväljendusi, tänusõnu ja vaimukusi”.

Idamaise kombe kohaselt kinkis tsaarivalitsus kuulsale külalisele sooblinaha ja hiigelvaasi, mis maksid kokku kaks korda niipalju, kui kulutati reisi tarbeks.

Nüüd, kui on möödunud poolteist sajandit reisist ja selle kokkuvõtete esmaavalikustamisest, võib objektiivsemalt hinnata nende tähtsust ja tagajärgi. Vene teadlased hindavad Humboldti panust eeskätt maa geograafia üldistajana ja sidemete loojana vene ja lääne teaduse vahel (Есаков, 1960). Suured geoloogilised üldistused Kesk-Aasia mäestike kohta osutusid ekslikeks, sest vulkanismi paradigmat lähtudes ja toetudes omaaegsele vene ja hiina kirjandusele ei ole võimalik seletada suurte kurdmäestike teket. Liiati jäi uurijal endal Aasia kõrgmäestike tuumosa nägemata. Saksa uurijad on põhjalikult tutvunud Humboldti kogu tohutu kirjavahetuse ja teaduspärandiga (Scrula, 1955; Harig, 1959 jt.). Viimane kokkuvõte Venemaa reisist on juba pateetikavaba hinnang vananeva teadlase püüdlustele ja tollastele ühiskondlik-poliitilistele oludele (Beck, 1983).

Meil jääb vaid kokku võtta, mis andis Humboldti kiirreis Tartu teadlastele. Siin võib esile tõsta kolme asjaolu.

1. Reisiks ettenähtud 20 000 rublast kulutas kokkuhoidlik Humboldt vaid poole ja tahtis jäägi tagasi maksta. Lepiti kokku, et see raha kulutatakse geoloogilisteks uuringuteks Uuralis. Tartu noored geoloogid Gregor v. Helmersen ja Ernst Hoffmann, kelle teadmistele andis Humboldt kõrge

hinnangu kohtumisel Uuralis, õigustasid igati neile osutatud abi – neist said nimekad teadlased.

2. Humboldt toetas prof. A. Bunge plaani jätkata floristilisi uuringuid kaugemal idas. Nii sai teoks suur Mongoolia-Hiina ekspeditsioon (1830–1832), mis kujunes Bunge elutöö kõrgpunktiks ja viis tartlase Sise-Aasia teaduslike avastajate esiritta.

3. Tutvumine meteoroloogilise uurimistöö aparatuuri ja tulemustega Tartus andis Humboldtile põhjuse toetada professor L. Kämtzi tegevust: kui oli ilmunud kokkuvõtlik kolmeköiteline meteoroloogiateatmik “Repertitorium für Meteorologie” (1860–1864), soovitas Humboldt hakata Tartus välja andma ülevenemaalist geograafiaajakirja. See plaan ei realiseerunud.

Nii võib järeldada, et kaks Tartus veedetud ööpäeva pikast Venemaa reisist jätsid märgatava jälje meie teaduse ajalukku.

## **Kirjandus**

- Beck, H. 1983. *Alexander von Humboldts Reise durchs Baltikum nach Russland und Sibirien 1829*. Stuttgart: Thienemann Verl. 280 S.
- Harig, G. 1959. *Alexander von Humboldt. Eine Auswahl*. Leipzig: Urania Verlag. 376 S.
- Humboldt, A. v. 1831. *Fragmens de géologie et de climatologie asiatiques*. 2 vol. Paris.
- Humboldt, A. v. 1843. *Asie Centrale: recherches sur les chaines de montagnes et la climatologie compareé*. 3 vol. Paris. Gide. 570+558+614 p.
- Humboldt, A. v. 1860. *Im Ural und Altai. Briefwechsel zwischen Al. v. Humboldt und Graf G. v. Cancrin aus dem Jahren 1827–1832*. Leipzig.
- Rose, G. 1955. *Alexander von Humboldt. Sein Leben und Wirken*. Leipzig: Verlag der Nation. 460 S.
- Есаков, В. А. 1960. *Александр Гумбольдт в России*. Изд. АН СССР, с. 49–50.



# Koos suurtega, meenutusi

---

## Toomas Tiivel\*

Aastatel 1970–1975 ülikoolis õppides olin ma üsna veendunud, et minu reaalne maailm tulevikus piirnebki parimal juhul 1/6-ga planeedist. Kuna olin öelnud parteile ei, olid seega kontaktid muu maailmaga vaid raamatud, fotod, filmid ....

Algaja teadlasena sai kõvasti loetud ning samal ajal peetud parajalt aktiivset kirjavahetust ka bioloogiamailma suurtega: tulid kirjad, artiklite separaadid, vahel ka raamatud. Minu huviala oli rakusisene sümbioos, eelkõige putukatel, ning muidugi selle nähtuse mitmekesisus ja kujunemine (evolutsioon). Aga ei mingeid isiklikke kontakte.

## Lynn Margulis (1938–2011)

Kaheksakümnendate lõpus (1989) olukord muutus. Sain kaks kutset, ühe osalemiseks 25.–30. juunini 1989 toimuval sümposiumil „Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation“ Villa Serbellonis, Bellagios Como järve ääres, teise Lyoni. Esimese korraldaja oli tollal maailmakuulus evolutsionist ja sümbioosi-uurija Massachusettsi Ülikoolist prof Lynn Margulis. Tema tol ajal ülipopulaarne ja palju diskussioone tekitanud raamat „Origin of Eukaryotic Cells“ (Yale, 1970) oli meil EBI-s laboris

---

\*toomas@ubc.ee

olemas, ka olin saanud temalt mitu artiklite separaati (sümbio-  
geneesiteooriast, evolutsioonist, eluslooduse suurjaotustest,  
Gaia hüpoteesist) ja saatnud enda omi, ning kui me Kaleviga  
koostasime esimese kahest ingliskeelsest kogumikust „Lectures  
in Theoretical Biology“ (Tallinn, 1988), siis sai ka see talle  
saadetud. Vastu tuli paar Margulise raamatut ja kutse  
sümposioonile Itaaliasse. Tol ajal oli kombeks korraldada  
suurematele rahvusvahelistele foorumitele lisaks lähikonnas  
nõ satelliitkonverentse. See Bellagio oma oligi Lyonis 4.–8.  
juulini 1989 toimuva IV ülemaailmse endotsütobioloogia-  
kongressi satelliit. Olin saanud kutseid ka varasematele endo-  
sütobioloogia konverentsidele ja kongressidele, saatnud sinna  
oma artikleid, mis said ka avaldatud, ning saanud Saksamaal ja  
Prantsusmaal väljaantava ajakirja *International Journal for  
Endocytobiosis and Cell Research* toimetuskolleegiumi liikmeks.  
Seega distantisilt justnagu vastu võetud erialateadlaste selts-  
konda. Loomulikult olid kõik katsed osaleda mõnel Euroopas  
või Ameerikas toimuval foorumil lõppenud organite keeldu-  
misega, kuigi raha oli tihti kutsujate poolt olemas. Ei peetud  
sobivaks ja vääriliseks.

Nüüd oli kaks kutset, alguses juuni lõpus Põhja-  
Itaaliasse ja seejärel juuli alguses Prantsusmaale. Artiklid saat-  
sin mõlemale ja ennäe imet – organitest hakkasid ka load tule-  
ma, sõitmiseks esmakordselt raudse eesriide taha ja veel  
korraga kahte riiki. Kontroll ja kadalipp ning vormistamist  
vajavate paberite ja lubade kogused olid meeletud ning mitu  
kolleegi teadis rääkida, et otsustajatel on meeldiv tava vintsu-  
tada teadusinimesi nii Tallinnas kui ka Moskvast erinevate  
asutuste vahel paar kuud ja siis vahetult enne sõitu teatada, et  
te kahjuks ikkagi ei sobi sõitma esindama meie suurt kodu-  
maad.



Lynn Margulis

Igatahes saabusin 24. juunil Milano lennujaama, vastas piltide pealt tuttav Lynn Margulis, käes silt minu nimega. Kui läksin ja tervitasin rõõmsalt, sattus ta segadusse ja küsis üle, et kas ma ikka olen Toomas Tiivel, kes tuli Bellagio sümposiumile. Pärast selgus, et eelarvamuste ja kogemuste tõttu Nõukogude Liidust tulnud teadlastega tuli ta vastu hästi vanale ja väarikale õpetlasele, sest punasest paradiisist saavad väljamaale vaid

need, kes on kõige-kõige. Et ma olin tolleks ajaks avaldanud paarkümmend artiklit, suurem osa inglise keeles ja olles ainus autor, arvasid paljud, et olen vähemalt suure instituudi direktor ja eriliselt hinnatud akadeemik (olin siis 37 aastane, lisaks ka parajalt karvane).



Bellagio sümposion, tagumine rida vasakult: Mary Beth Saffo, Sorin Sonea, Peter Atsatt, Dawid Lewis, Margareth J. McFall-Ngai, Silveno Scannerini, Jan Sapp, Russel Vetter, John Maynard Smith, Kris Pirozynski, Richard Law, Gregory Hinkle, Werner Schwemmler, Toomas Tiivel. Ees: René Fester, Linda J. Goff, Kenneth H. Nealson, Lynn Margulis, Kwang W. Jeon, Rosemarie Honegger, Paul Nardon.

Sellega üllatused veel ei lõppenud. Sellele elitaarsele sümposionile üle terve maailma saabunud kõik 21 teadlast majutati otse maalilise Como järve ääres asuvasse Villa Serbellonisse, kus esimesel korrusel oli üks tuba kõige väarikamale (kellel on loomulikult ka raskusi trepist kõndimisega) ja uhked

koosolekuruumid ning teisel korrusel toad teistele, tubade uste peal elanike nimed. Esimese korruse toa ukseks oli uhkelt Toomas Tiivel. Tundsin, et on tobe hakata protestima ja elasingi 6 päeva ja ööd erilises luksuses, aknast vaade magnooliatele ja Como järvele. Mitme seal heaks sõbraks saanud teadlase-professoriga (teadusajaloolane Jan Sapp, botaanik David Lewis, mükoloog Kris Pirozynski, rakubioloogid Werner Schwemmler ja Paul Nardon) sai korduvalt ennast lõbustatud neil teemadel nii Bellagios kui ka hilisematel kokkusaamistel.

Koos Lynn Margulise ja mitme tema kolleegiga sõitsime Milanost edasi Torinosse (seal oli võõrustajaks seentesümbioosi uurija prof Silvano Scannerini) ning sealt edasi rongiga Lyoni kongressile, mille põhikorraldaja oli prof Paul Nardon. Tagantjärele uskumatu.

Olid väga meeldejäädavad kaks nädalat, kuhu mahtusid ka eriliselt harivad vestlused sümbioosi rollist evolutsioonis, mida sel alal parasjagu uuritakse, mida on leitud ja miks see kõik oluline on. Lynn Margulisel oli õpilaste ja kolleegide võrgustik üle terve maailma ning kuna ta valdas lisaks inglise keelele vabalt ka prantsuse ja hispaania keelt, oli ta teinud palju välitöid lisaks USA-le ja Kanadale ka Hispaanias ja Ladin-Ameerikas. Ta oskas luua enda ümber atmosfääri, mida ta ise nimetas sümbiosfääriks, kus justnagu toimuski sümbioosi mängimine, kõik täiendasid teineteist, igaüks oli osa mingist suuremast tervikust ja ka tundis ennast sellena. Ka see oli muljetavaldav, kuidas ta jagas ennast labori ja välitööde (enamasti vees elavad sümbiontsed organismid) vahel. Üks eeldas head organismide ja koosluste tundmist looduses, teine sama head eksperimentaatorit ja üldistuste tegijat.

Üks põhjusi, miks tal minu vastu oli huvi tekkinud, seisnes selles, et Venemaal ja vene keeles olid XX sajandi alguses oma teadustöid avaldanud mitmed maailmakuulsad teadlased (botaanikud) (A. S. Famintsyn, A. A. Elenkin, B. M. Kozopolyansky, K. S. Merezhkovsky jt), kelle tööd ja ideed olid keelebarjääri tõttu läänemaailmas kättesaamatud. Hilisemates kontaktides ja kirjades aitasin, millega sain. 1979. aastal ilmus nende töödest venekeelne kokkuvõte L. N. Khakhinalt. 1992 ilmus see Lynn Margulise poolt toimetatuna inglise keeles (Yale Univ. Press).

Lynn Margulise energia, töö- ja organiseerimisvõime ning pühendumus olid silmapaistvad.

### **John Tyler Bonner (1920–2019)**

Tutvus algas, nagu enamasti, kirjatöödest, Bonneri raamatute lugemisest, artiklite ja raamatute vahetusest. John Tyler Bonner töötas ökoloogia ja evolutsioonilise bioloogia professorina kuulsas Princetoni ülikoolis USA-s. Uuris hallitusseeni ja oli maailmakuulus oma paljude evolutsiooniraamatute kaudu.

Sain aastal 1991 Eesti Muinsuskaitse Seltsi kaudu stipendiumi USA-sse (Young leadership programme). Et töötasin toona Eesti TA Kirjastuse juhina, siis oli valik Baltimore'is Johns Hopkins University Press ja kolm kuud tööd seal. Õppisin, kuidas antakse teaduskirjandust välja vabas maailmas, kus kriteeriumiks ei ole mitte, et ilmub see, millel on organite luba, mis ei kahjusta kommunismiehitamist ja mille trükkimiseks on õnnestunud hankida paberit, vaid see, mida õnnestub müüa ning mida erialaasjatundjad hindavad ning peavad vajalikuks.



John Tyler Bonner

Et Princeton ei olnud Baltimore'ist kaugel, rongiga mõni tund, helistasin ja väärikas professor kutsus mind rõõmsal meelel külla, tingimuseks, et pean tema õpilastele ja kolleegidele loengu oma töödest putukate rakusiseste sümbiontide teemal. Vastutasuks elamine Bonneri majas Princetoni ülikoolilinnaku lähedal ning paaripäevane tutvumine vana ja prestiižse ülikooli ja inimestega ning selle ümbruse loodusega (ülikoolilinnak asus tohutu suure ja kauni pargi servas, kus oli ka mitu järvekest). Aastal 1991 oli John Tyler Bonner 71-aastane, emeriitprofessor ja tohutu hulga erinevate ülikoolide

teadustiitlite kandja, samal ajal töötanud pidevalt vaid Princetonis.

Loeng peetud, pakkus professor sealse tava kohaselt oma ruumides portveini, küpsiseid ja juustu ning sai suhelda teiste õppejõudude ja doktorantidega. Jäi mulje, et olin sattunud võrreldes muu Ameerikaga täiesti teise maailma: ei räägitud ragbist, jalgpallist, börsist, golfist, missidest ega antiigist, vaid inimesed olid peale teaduse kursis ka kirjanduse ja kunstiga, oskasid keeli ning isegi teadsid suhteliselt palju Eestist. Parajasti oli toimunud putš, kamp kommareid oli Gorbatšovi pokri pistnud ja kurjuse impeerium oli hakanud lagunema. Kui muu Ameerika unustas teisel pool ookeani toimunu nädalaga, siis ülikoolis sai järjekordselt kogetud, et teadlaste hulgas on oluliselt vähem pealiskaudseid ning palju enam analüüsi- ja mõtlemisvõimelisi inimesi kui mujal.

Seik, mis samuti jäi meelde vestlusest portveiniklaasid käes: mitmed Princetoni minuvanused (39) teadlased rääkisid ka mu loengul kuuldust ning mainisid, et loengu sisu oli arusaadav, aga meelde jäi ka minu inglise keel, mis kõlas, nagu räägiksid nende vanavanemad... Ameerikas kuuleb seda tänapäeval harva.

John Tyler Bonner ise oli erakordselt mõnus, südamlük ja jutukas vanahärra. Ta lausa kiirgas uudishimust kõige vastu. Ülikoolilinnaku pargiradadel jalutades veendusin ma tema suurepärasest taimede, putukate ja lindude tundmises, eksperimentaatori kohta on see igal juhul erakordne. Saatjaks oli tal tihti koer Betty. Meeldejäädavad olid Bonneri lood maailma loodusteaduse suurkujudest, kes kõik olid Princetoni ja Bonnereid endid külastanud, tihti ka elanud Bonnerite võluva atmos-



fääriga majas ning nautinud proua Bonneri pirukaid ja kirsimoosi. Neid ei olnud mitte vähe, pigem oli nii, et jõudsin ma mõne uue nime öelda, kui kuulsin, et käis külas siis ja siis ja tegi seda ja seda. Oli elav bioloogiaajaloo kursus.

Õhtuti oli nende peres kombeks mängida lauamänge. Tegime seda mitu õhtut meiegi.



John Tyler Bonner ja Betty Princetonis

Princeton, vana ja traditsioonidega ülikool (*Ivy League*) ja seal-  
sed inimesed tuletasid enam kui miski muu Ameerikas meelde  
Inglismaa tavasid ja atmosfääri. Jäi mulje, et inimestel on aega.

## **Kirjandust**

- Bonner, John Tyler 1974. *On Development: The Biology of Form*. Cambridge: Harvard University Press.
- Bonner, John Tyler 1983. *The Evolution of Culture in Animals*. Princeton: Princeton University Press.
- Bonner, John Tyler 1988. *The Evolution of Complexity by Means of Natural Selection*. Princeton: Princeton University Press.
- Bonner, John Tyler 1993. *Life Cycles: Reflections of an Evolutionary Biologist*. Princeton: Princeton University Press.
- Bonner, John Tyler 2001. *First Signals: The Evolution of Multicellular Development*. Princeton: Princeton University Press.
- Margulis (Sagan), Lynn 1967. On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology* 14(3): 225–274.
- Margulis, Lynn 1970. *Origin of Eukaryotic Cells*. New Haven: Yale University Press.
- Margulis, Lynn; Fester, René (eds.) 1991. *Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation: Speciation and Morphogenesis*. Cambridge: MIT Press.
- Margulis, Lynn 1992. *Symbiosis in Cell Evolution: Microbial Communities in the Archean and Proterozoic Eons*. New York: W.H. Freeman.
- Margulis, Lynn 1998. *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*. Amherst: Basic Books.
- Nardon, P.; Gianinazzi-Pearson, V.; Grenier, A. M.; Margulis, L.; Smith, D. C. (eds.) 1990. *Endocytobiology IV. 4<sup>ème</sup> Congres International sur l'Endocytobiologie at la Symbiose*. Villerbanne: INRA.

# Õpetaja ja sõbra Tõnu Mölsiga

---

**Kalevi Kull\***

Kui me teoreetilise bioloogia seminare alustasime, esmalt nime all „Regulatsioon eluslooduses“ (millest peagi sündis Teoreetilise Bioloogia Grupp), siis esimesele seminarile 2. novembril 1972 kutsusime kõnelema Tõnu Mölsi. Tema ettekande pealkiri oli „Sissejuhatus bioküberneetikasse“.<sup>†</sup>

Üks mu esimesi pähkleid eluteaduse teoorias oli just Tõnu Mölsi ülikooliaegne kirjutis „Küberneetika mõistete rakendamisest evolutsiooniteoorias“, mis ilmus zooloogiaringi tudengite kogumikus (Möls, 1963).<sup>‡</sup> Lugesin seda juba keskkoolis ja nägin kõvasti vaeva. Artikkel on väga tihe, selles on terve rida originaalseid mõisteid. Tükk aega olin kahevahel, kas tema terminid geenom ja feenom on ikka needsamad mis muidu on genoom ja fenoom. Selle artikli aluseks oli tema diplomitöö, mis valmis Leo Võhandu juhendamisel (Möls, 1962). Töö sisuks oli evolutsioonimehhanismi informatsiooniteoreetiline esitus.

---

\*TÜ, FLFI, kalevi.kull@ut.ee

<sup>†</sup> Vt *Schola Biotheoretica* 25: 86 (1999).

<sup>‡</sup> Vt sellest T. Mölsi tööst lähemalt tema intervjuus, Püttsepp, 1994.



Tõnu Möls, 12. juuni 1939 – 1. detsember 2019

Käisin ta loengutel nii ülikooliajal kui ka hiljem. Ta lõi kaasa teoreetilise bioloogia seminarides ja kevadkoolides. Ühel neist, Hobulaiul aastal 1986, mäletan tema vaimustumist ideest matemaatiliselt põhjendada, et kooslus areneb konkurentsi vähenemise suunas. Nii konkurentsi määratlusest miinusmiinus suhtena kui ka Gause reeglist on ilmne, et konkurentsi ise viib enda vähenemisele; samuti on metsakasvatajatele teada, et vanemas puistus puudevaheline konkurents väheneb (isehõrenemine aeglustub). Ent kui kaugele seda üldistada annab ehk kui üldise matemaatilise mudeli teha saab, kus konkurentsi iseväheneamine kehtib, pole selge, võib-olla pole selge praeguseeni. Igatahes on see tähtis teoreetilise bioloogia probleem.

Puutusime Tõnuga kokku päris palju. Esmalt õppejõutudengi suhtes, seejärel teoreetilise bioloogia seminaridel. 1980ndail Zooloogia ja Botaanika Instituudis oma ökofüsioloogia rühmaga töötades sai Tõnu Möls ZBIsse kutsutud, et instituudis rohkem bioloogia teooriat oleks, ja ta tuligi. Ilmselt

polnud see kerge otsus ja kerge aeg talle – kui bioloog matemaatikult oma andmete töötlemist küsib, siis juhtub tihti, et bioloog ei saa tegelikult päriselt aru, mida tema numbritega tehakse. Eks ta mõistis seda ja kurvastas. Hiljem pidasime palju aru Looduseuurijate Seltsiga seoses, kui õnnestus ta järgmiseks presidendiks saada. See oli ametisoleva presidendi auasi ametijärglane leida. Ühtpidi oli Tõnu teadlane, kes tegeles väga abstraktsete asjadega. Teiselt poolt oli ta praktiline igapäeva-asjadega tegeleja, nagu nõukogude ajal õppinud eesti mehed ikka, kõigea hakkama saav.

Ta oli ennekõike matemaatik, kuid ta ei olnud tavaline matemaatik. Pigem matemaatik-loodusteadlane, ent ka siin erinev. Ta asus erialade vahel – korruga bioloog-naturalist, füüsik-teoreetik, süvamatemaatik, andmetöötleja-statistik. Miks matemaatilised mudelid loodusega sobivad, seda pidas ta natuke müstiliseks. Jaan Kaplinski on teda pidanud realistiks, mitte nominalistiks.\* Bioloogia teoorias ei huvitanud teda väga dünaamilised mudelid, seevastu stohhastilised aga küll. Kui ta vihu „Matemaatika bioloogidele 1“ avaldas (1978), siis mõtles ta seda terve sarjana. Mind veenis tegema vihikut graafi-teooriast bioloogias. Tegelesingi siis sellega paari aasta jooksul, ent ei leidnud graafiteooriast bioloogia jaoks piisavalt huvitavaid ülesandeid. See „Matemaatika bioloogidele“ sari teoks ei saanud. Tõnu jäi tegelema peamiselt mitteparameetriliste indeksitega. Üldbioloogia teooria huvi tal pärast 1970ndaid, tundub, et tasapisi vähenes.

---

\* Kaplinski, Jaan, 2020. Madis Kõiv: Kontrapunktilisi mälestusi ja mõtteid. Rmt: Pilt, Aare (toim), *Jalutuskäigud ja kohvijoomised: Kõnelusi Madis Kõivust*. Tallinn: Underi ja Tuglase Kirjanduskeskus, 7–12. Lk 9.

Tartu Ülikooli oli ta lõpetanud teoreetilises füüsikas 1963; aastast 1966 sai temast matemaatikateaduskonna väga hinnatud õppejõud. Füüsika-matemaatika kraadi kaitses ta aastal 1973 (teemal „Korrelatsioonifunktsionaalid juhuslike elementide funktsionaalruumidel“). Aastast 1979 oli ta dotsent.

Tõnu Möls tundis väga hästi liblikaid. Koos Jaan Viidalepaga koostas ta Eesti päevaliblikate määraja (Viidalepp, Möls, 1963) ja andis välja suurliblikate nimestiku (Möls, Viidalepp, 1969). Ta kirjeldas uue liblikaliigi ja ristis selle tartu-kirivaksikuks (*Epirrhoë tartuensis*). Ehk Tartu vaksik, *Epirrhoë tartuensis* Möls (Möls, 1965).\* Pärast seda pole Eesti alalt ühtegi teadusele uut liblikalise liiki kirjeldatud.†

1969. aastast peale õpetas ta palju aastaid bioloogidele matemaatilisi meetodeid (biomatemaatikat, aastast 1977 nime all matemaatilised meetodid bioloogias, ka nime all variatsioonstatistika, ja hiljem veel mitut muud kursust, sh populatsioonigeneetika matemaatilised mudelid).‡ Liblikatega ta siis enam eriti ei tegelenud.

Aastast 1989 tuli ta Zooloogia ja Botaanika Instituuti biomeetriarühma juhiks. Ses oli parasjagu veenmist, aga suurepärase, et ta lõpuks nõus oli. Kui ZBI liitus Maaülikooliga, töötas Möls seal, samuti mitme Tartu Ülikooli projekti juures.

Ta tegi teadustöid tõenäosusteoorias, matemaatilises statistikas, biomeetrias ja ökoloogias. Väga hea matemaatikuna ulatus ta arusaam tõenäosusteooria põhjani. Ta on öelnud:

---

\* Vt Püttsepp, 1994: 3.

† Toomas Tammaru kinnitas seda mulle äsja.

‡ Vt ka Kull, Kalevi, 1994. Teoreetilise, matemaatilise ja filosoofilise bioloogia õpetamisest Tartu Ülikoolis: praegune seis ja selle kujunemine. *Schola Biotheoretica* 20: 73–75.

„Juhuslike protsesside teooria uurib seaduspärasid mineviku ja tuleviku ühendamiseks. Tõenäosusteooria tähtis valdkond on informatsiooniteooria, mis võimaldab mõõta, kui palju järgnev annab meile täiendust sellele, mis juba olnud on.“\* Neis ütlustes on tükki ta sügavat maailmamõistmist. Filosoofiale eelistas ta kindlalt matemaatikat.

Ta õpetas, kuidas andmetest välja sõeluda usaldusväärne informatsioon, olles ses abiks paljudele bioloogidele. Suuremahuline koostöö oli tal mükoloog Ain Raitviiruga, hiljem väga paljude aastate jooksul hüdrobioloogidega, samuti botaanikutega, kellega koos ka riigi teaduspreemia sai (1999). Ent seejuures, „kõik need teemad, millega koostöös bioloogidega olen tegelenud ja millest hiljem artiklid kirjutanud, mulle erilist teaduslikku rahuldust pole pakkunud. On iseenesest huvitavaid teemasid, kuid enamasti on need matemaatika poolelt kõhnad. Nendes pole võimsat ja rabavat ilu nagu puhtas matemaatikas“ (intervjuust, Püttsepp, 1994: 2). Ta ei öelnud kunagi ei, kui talt abi paluti. Töö maht, mida see talle kaasa tõi, oli sageli uskumatult suur.

Tõnu Möls oli aktiivne Eesti Statistika Seltsi asutamisel aastal 1992. Selle raames korraldas ta mitu konverentsi. ESS-i 4. konverents „Statistika eluteaduses“ toimus 24. märtsil 1994 Tartus. Konverentsi korraldamisel oli kaasosaline Eesti Looduseuurijate Selts, korraldajateks Tõnu Möls ja Tõnu Kollo. Konverentsil osales üle 50 kuulaja.<sup>†</sup> ESS-i 11. konverents oli jälle bioloogiaseoseline: „Statistika meetodid keskkonnakaitses ja

---

\* Raadiosaatest aastal 2000 (<https://arhiiv.err.ee/vaata/nyyd-muusika-nyyd-muusika-xenakis-ja-toenaosusteooria>).

<sup>†</sup> Eesti Statistika Seltsi teabevihik nr 5.

ökoloogias“ toimus 16.–17. aprillil 1998 Tartus, Looduseuurijate Seltsi majas. Konverentsi korraldaja oli Tõnu Möls.\*

Ta oli juhendajaks paljude tudengite töödele: Marju Unt, Rein Kask, Taimi Asu, Helger Aaresild, Maire Kabanin, Eve Aruvee, Kristjan Zobel, Kaidi Kübar, Raul Pihu, Marek Tuul, Märt Möls, Tatjana Nahtman (Rosen), Tanel Kaart, Marina Haldna, Olga Tammeorg jt.

Mõned teadustööd oleme koos teinud. Huvitav koostöö oli taimeatlase andmete alusel geograafilise rajoneerimise analüüsimine. See oli Eesti botaaniline rajoneerimine, ent täiesti uuel alusel (Kull, Möls, Kull, 2004). Samuti aitas ta uurimuses, kus võrdlesime taimekooslusi (Sammul jt, 2004). Mõnd head kriitikat ja nõu sai talt veel mitmel puhul.

Ta on seitsme raamatu autoriks (vt loend allpool). 1986. aastal anti talle Eesti eluteaduse hoidja auhind bioloogidele täppisteadusliku mõtlemise õpetamise eest.

Tõnu Möls oli Tartu õpetlane, matemaatik ja bioloog, tõenäosusteoreetik. Ta oli meie naturalistide peamise ühenduse, Eesti Looduseuurijate Seltsi 28. president tervelt 11 aastat, 1994–2004, ja seda täie hingega, lüües kaasa seltsi tegemistes ja muredes.† Sama kaua on seda seltsi juhtinud vaid XIX sajandil Friedrich von Bidder ning XX sajandil Eerik Kumari ja Hans Trass. Teaduste Akadeemia Looduskaitse komisjoni liige oli Tõnu aastail 1998–2010.

Tema isa oli geoloog Evald Möls (1905–1964) ja ema Liidia Amanda Möls (snd Tamm, 1901–1999). Ta õde Gloria Tamm töötas Toomas Frey sektoris masinakirjutajana (olles seal

---

\* Eesti Statistika Seltsi teabevihik nr 11.

† Selles oli ka hulk veenmist, et ta nõus oleks presidendiks saama.



ümber löönud päris hulga mu kirjutisi). Tõnu Möls ise oli suure imelise pere isa. Tal ja ta kaasal Tiia Mölsil (snd Peil, 1938–2016) sündis 5 last.

Juunis 2019, kui Tõnu sai 80, kõnelesime jälle päris pikalt. Sealhulgas matemaatilise bioloogia huvi jätkumisest Eesti nooremate bioloogide seas. Ent samal sügisel ta kustus. Tõnu Möls maeti 9. detsembril 2019 Tartu Pauluse kalmistule, samasse ka urn ta abikaasa põrmuga.

Tagasihoidlik, tohutu abivalmis, sügavate arusaamadega. Hea sõber ja õpetaja.

## Tõnu Mölsi bibliograafiat

### Raamatud

- Viidalepp, Jaan; Möls, Tõnu, 1963. *Eesti suurliblikate määraja I. Päevaliblikad*. (Abiks Loodusevaatlejale 49.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.
- Möls, Tõnu; Viidalepp, Jaan, 1969. *Eesti suurliblikate nimestik. Catalogus macrolepidopterorum Estoniae*. Tartu.
- Möls, Tõnu; Raitviir, Ain, 1974. *Морфометрия и систематика грибов. Morphometrics and the Taxonomy of Fungi*. (Scripta mycologica 6.) Tartu: Zooloogia ja Botaanika Instituut.
- Tiit, Ene-Margit; Parring, Anne-Mai; Möls, Tõnu, 1977. *Tõenäosusteooria ja matemaatiline statistika*. Tallinn: Valgus.
- Möls, Tõnu, 1978. *Matemaatika bioloogidele 1*. Tartu: Tartu Riiklik Ülikool, matemaatilise statistika ja programmeerimise kateeder.
- Möls, Tõnu; Saan, Taimo; Lindpere, Aini; Starast, Henno, 1990. *Peipsi troofsusseire*. Tartu: Eesti Teaduste Akadeemia, zooloogia ja botaanika instituut.
- Möls, Tõnu, 2005. *Lineaarsed statistilised meetodid Eesti mageveekogude vee ja elustiku analüüsiks*. (Looduseuurija käsiraamatud 2.) Tartu:

Eesti Looduseuurijate Selts. [Lk 239–242 on loetletud ka rida T. Mölsi publikatsioone.]

### **Artiklid ja toimetustöö sarjas *Schola Biotheoretica***

- Möls, Tõnu; Kull, Kalevi; Veromann, Peeter; Sutrop, Urmas (toim), 1985. *Stohhastilised mudelid bioloogias*. *Schola Biotheoretica* 11. Tartu, 164 lk.
- Möls, Tõnu; Möls, Anu, 1985. Molekulaarsete fülogeneesipuude statistilisest uurimisest. *Schola Biotheoretica* (Stohhastilised mudelid bioloogias) 11: 106–118.
- Aader, Ants; Kuslapuu, Aavo; Möls, Tõnu; Puhang, Ehte (toim), 1994. *Eluteaduse metodoloogia*. *Schola Biotheoretica* 20. Tartu, 80 lk.
- Toimetajad [Aader, Ants; Kuslapuu, Aavo; Möls, Tõnu; Puhang, Ehte] 1994. Saateks. *Schola Biotheoretica* (Eluteaduse metodoloogia) 20: 5.
- Möls, Tõnu, 1994. Dispersioonanalüüs eluteadustes. *Schola Biotheoretica* (Eluteaduse metodoloogia) 20: 33–37.
- Kull, Kalevi; Möls, Tõnu; Trapido, Toomas (toim), 1995. *Äratundmise teooria*. *Schola Biotheoretica* 21. Tartu: TA kirjastus, 135 lk.
- Kull, Kalevi; Möls, Tõnu; Trapido, Toomas, 1995. Saateks. *Schola Biotheoretica* (Äratundmise teooria) 21: 5.
- Möls, Tõnu, 1995. Matemaatilisi mõtisklusi äratundmisest. *Schola Biotheoretica* (Äratundmise teooria) 21: 14–18.
- Maiväli, Ülo; Kull, Kalevi; Möls, Tõnu (toim), 1996. *Elu keeled*. *Schola Biotheoretica* 22. Tartu: Teaduste Akadeemia Kirjastus, 114 lk.
- Maiväli, Ülo; Kull, Kalevi; Möls, Tõnu, 1996. Elu keeled: saateks. *Schola Biotheoretica* (Elu keeled) 22: 5.
- Möls, Tõnu, 1996. Mõõdetamatu mõõtmisest: informatsiooni mõõtmine. *Schola Biotheoretica* (Elu keeled) 22: 77–83.
- Teder, Tiit; Kull, Kalevi; Möls, Tõnu; Puura, Ivar; Piirimäe, Kristjan (toim), 1997. *Metapopulatsioonide teooria*. *Schola Biotheoretica* 23. Tartu: Teaduste Akadeemia Kirjastus, 92 lk.
- Möls, Tõnu, 1997. Liigendatud populatsiooni statistiline modelleerimine. *Schola Biotheoretica* (Metapopulatsioonide teooria) 23: 37–45.
- Eimre, Tiina; Möls, Tõnu, 1999. Nõrk fülogeneetilise mälu teoreem. *Schola Biotheoretica* (Biosüsteemide mälu teooria) 25: 34–41.

- Möls, Tõnu; Nahtman, Tatjana, 2001. Bioloogiliste kogumite modelleerimine ja lineaarsed kovariatiivstruktuuriga segamudelid. *Schola Biotheoretica* (Matemaatika ja bioloogia) 27: 45–56.
- Möls, Tõnu; Leito, Aivar; Tuul, Marek, 2002. Läbirändavate lindude peatuspaikade võrgustiku analüüs hallhanede (*Anser anser*) 1990.–1998. a rändevaatluste näitel. *Schola Biotheoretica* (Võrkude teooria) 28: 39–46.

### Valik muid kirjutisi\*

- Möls, Tõnu, 1962. *Küberneetika printsiipide rakendamisest evolutsiooniteoorias*. (Võistlustöö.) Tartu: Tartu Riiklik Ülikool, teoreetilise füüsika kateeder, 49 lk.
- Möls, Tõnu, 1963. Küberneetika mõistete rakendamisest evolutsiooniteoorias. Teoses: Remm, Hans (toim), *Üliõpilaste zooloogia-alaste tööde kogumik* 1. Tartu: Tartu Riiklik Ülikool, 8–23.
- Möls, Tõnu, 1965. Eine neue Spannerart — *Epirrhoë tartuensis* sp. n. (*Lep., Geometridae*). *Annales Entomologici Fennici* 31: 46–52.
- Möls, Tõnu (ed.), 1986. *Multivariate Statistical Models*. (Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis 733.) Tartu: Tartu Riiklik Ülikool, 101 lk.
- Möls, Tõnu, 1986. Proof of a theorem on  $\Delta$ -regression. Teoses: Möls, Tõnu (ed.), *Multivariate Statistical Models*. (Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis 733.) Tartu: Tartu Riiklik Ülikool, 97–99.
- Veromann Peeter; Kull, Kalevi; Möls, Tõnu, 1992. Competition experiments on perennial herbs in meadow community. Teoses: Zobel, Martin (ed.). *Abstracts of the International Symposia dedicated to the memory of Prof. Teodor Lippmaa*. Tartu: University of Tartu, 27–30.
- Möls, Tõnu, 1993. Statistical estimation of molecular phylogenetic trees. Teoses: Kull, Kalevi; Tiivel, Toomas (eds.), *Lectures in Theoretical Biology: The Second Stage*. Tallinn: Estonian Academy of Sciences, 110–121.
- Möls, Tõnu; Parring, Anne-Mai, 1994. Use of absorption in environmental studies. Teoses: Kollo, Tõnu (ed.), *Stochastic Procedures*. (Acta et

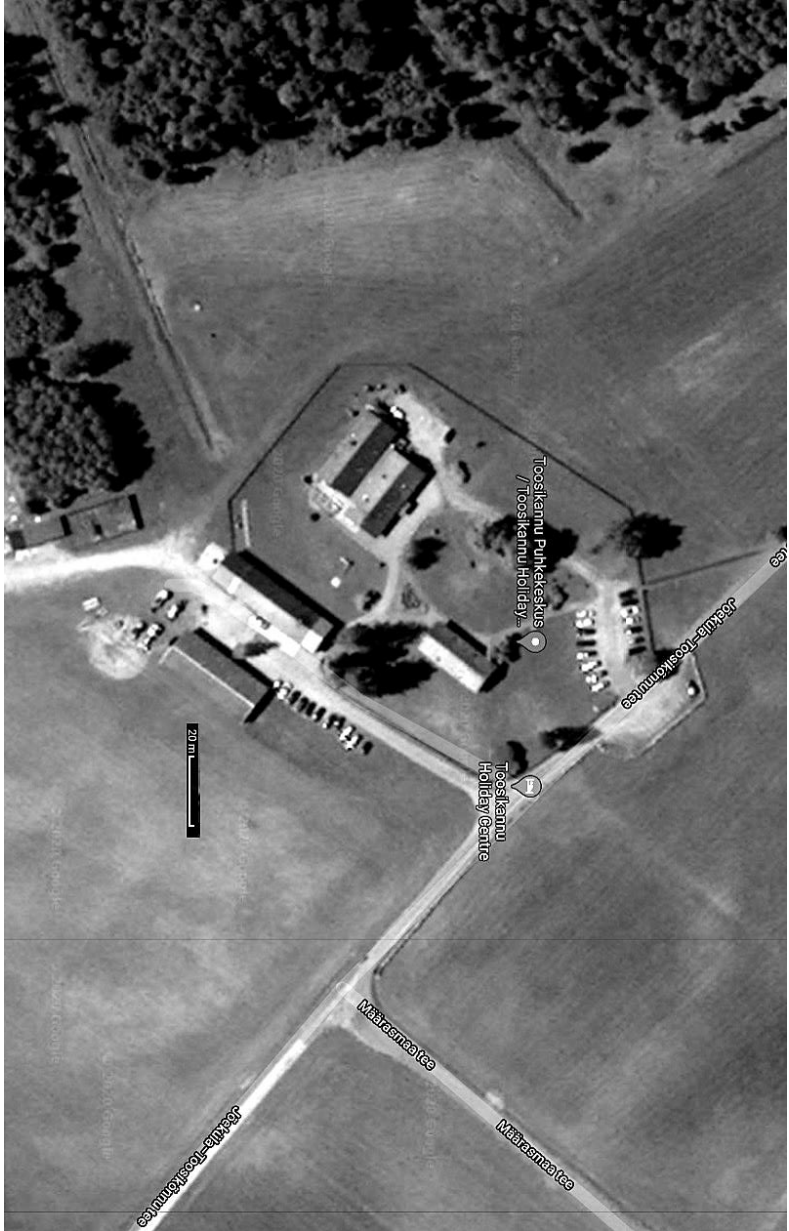
---

\* Seda on muidugi palju veel.

- Commentationes Universitatis Tartuensis 968.) Tartu: Tartu Ülikool, 29–40.
- Möls, Tõnu; Kongo, Linda, 2000. Eesti Looduseuurijate Selts. Teoses: *Teadusseltsid ühiskonnas*. [Riigikogu Kultuurikomisjon, Eesti Teaduste Akadeemia, 26.05.2000.] Tallinn: Eesti Teaduste Akadeemia, 17–22.
- Möls, Tõnu; Paal, Jaanus; Fremstad, Eli, 2001. Response of Norwegian alpine communities to nitrogen. *Nordic Journal of Botany* 22: 705–712.
- Möls, Tõnu, 2002. Saateks. Teoses: Kukk, Toomas (toim), *XXV Eesti looduseuurijate päev: Pärnumaa loodus, 29.–30. juuni 2002, Tõstamaa*. Tartu: Sulemees, 7.
- Möls, Tõnu, 2003. Kas 150-aastaselt LUSil on veel kohta Eesti looduseuurimise süsteemis? *Eesti Loodus* 9: 45.
- Möls, Tõnu; Kongo, Linda; Puura, Ivar; Martin, Mati (koost.), 2003. *Eesti Looduseuurijate Selts: asutatud 1853. Estonian Naturalists' Society: Founded in 1853*. Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.
- Sammul, Marek; Kull, Kalevi; Niitla, Tarmo; Möls, Tõnu, 2004. A comparison of plant communities on the basis of their clonal growth patterns. *Evolutionary Ecology* 18(5): 443–467.
- Kull, Tiiu; Möls, Tõnu; Kull, Kalevi, 2004. Eesti taimegeograafiline liigendus ja liikide informatiivsus. *Eesti Looduseuurijate Seltsi aastaraamat* 82: 132–157.
- Andreson, Reidar; Möls, Tõnu; Remm, Mairo, 2008. Predicting failure rate of PCR in large genomes. *Nucleic Acids Research* 36(11): e66.
- Timm, Henn; Käiro, Kairi; Möls, Tõnu; Virro, Taavi, 2011. An index to assess hydromorphological quality of Estonian surface waters based on macroinvertebrate taxonomic composition. *Limnologica* 41(4): 398–410.
- Möls, Tõnu; Vellak, Kai; Vellak, Ain; Ingerpuu, Nele, 2013. Global gradients in moss and vascular plant diversity. *Biodiversity and Conservation* 22: 1537–1551.

## **Intervjuu Tõnu Mölsiga**

- Püttsepp, Juhani, 1994. Matemaatika ilu ja bioloogide probleemid. *Eesti Loodus* 1: 1–3.





# Table of Contents

Introduction .....	9
<i>Martin Liira</i> – All the time densely around our little sea .....	13
<i>Marko Mägi</i> – The effects of urbanization-caused population density on birds.....	17
<i>Tanel Vahter</i> – Coup d'état in the soil ecosystem.....	23
<i>Kalevi Kull</i> – Living body .....	33
<i>Oive Tinn</i> – From the first traces of pioneers to the deepest storeys of life and guilds of traces .....	65
<i>Sirgi Saar</i> – Human-caused overpopulation and humdrum in the plant world.....	71
<i>Tõnu Viik</i> – Closely-packed stars in globular clusters.....	81
<i>Kaarel Orviku</i> – How to live in harmony with coastal nature .....	93
<i>Päärn Paiste</i> – Anthropocene and the roles of living densely together .....	115
<i>Erik Puura</i> – In search of the historical dinner .....	123
<i>Peeter Laurits</i> et al. – Flora! (synopsis) .....	127
<i>Kalevi Kull ja Raul Markus Vaiksoo</i> – The translations of classical biology texts into Estonian.....	131
Encounters .....	147
<i>Viktor Masing</i> – Alexander von Humboldt in Tartu .....	149
<i>Toomas Tiivel</i> – With the emergents, recollections.....	157
<i>Kalevi Kull</i> – With Tõnu Möls, a teacher and a friend .....	167
Table of Contents .....	179





# Toetajad ja korraldajad



TARTU ÜLIKOOL



KESKKONNAINVESTEERINGUTE  
KESKUS



Euroopa Liit  
Euroopa  
Regionaalarengu Fond



Eesti  
tuleviku heaks



TEADUSE TIPPKESKUS

ECOLCHANGE

CENTRE OF EXCELLENCE

Kevadkooli ja *Schola Biotheoretica et Geologica* toetavad 2020. a. EMÜ ASTRA projekt "**Väärtusahelapõhine biomajandus**" ja TÜ ASTRA projekt "**Per Aspera**".



$$p = \frac{m}{v}$$

