

## Organism kui dirigendita orkester — ja eluteaduse süda

*Kalevi Kull*

Elu kui muusika. Ongi ta ehk muusika? Seisneb elu ju kooskõlapüüdudes, rütmijärgimistes, harmooniahoius, meloodiamõnus... Elu pole ometi suhkur ja lubi ja muud molekulid, millest me kehad koosnevad, vaid suhtestik, tajus ja toimimine, mis imepärast aina ennast loob, keerukas viis, mis teiseneb ja kordub.

Elu muusika. On see luule või teadus? Poetiline metafoor või teaduslik mõiste?

Metafoor on kõnekujund, mis põhineb sarnasuse märkamisel mõistete vahel. Näiteks „lindude kontsert metsas”. Loomulikult ei anna linnud kontserti, ometi on nende häältekooris midagi kontserdi moodi. „Kontsert“ on siin metafoor, „koor“ samuti. See sarnasus võib olla sügavam või pealispindsem.

Metafoorid aitavad kirjeldada ja mõistmiseni jõuda. See ei puuduta üksnes igapäevast mõtlemist ja tavakeelt, vaid kindlasti ka teaduslikku mõistete arengut.<sup>1</sup> Mõtlemine millegi tuttava ja sarnase kaudu on üks tavapärane modelleerimise viis. Nii ongi metafoorid esmasteks mudeliteks, mille abil me asju mõistame ehk seletame.

Metafoorid juhatavad. Nad juhatavad kätte, mis suunas mõtelda, juhatavad taipama. Ühelt poolt leiame neid palju aimekirjandusest, kus nende abil seletatakse keerulisi asju või seostatakse tundmatut tuntuga. Ent teiselt poolt on metafooridel kahtlemata oluline roll ka uue teadusliku teadmise saamisel, avastusteni jõudmisel või teoreetiliste mudelite ehitamise radadel.

Bioloogias on metafoore külluses ning mitmeist neist on saanud terminid. Olgu või looduslik *valik* — ei peeta ju sellega silmas mingit kellegi tehtud valikut, vaid üksnes seda, et mõned paljunevad rohkem kui teised, kui tingimused seda võimaldavad. Ent see sõna, nagu Darwin kunagi kasutas, on kauaks tarvitusse jäänud. Tänapäeval vaieldakse, kas Darwini toonasest sõnavalikust sündis rohkem häda või õnne, kas on see mõistmisele kaasa aidanud või pigem eksitanud.

Muusikalised metafoorid olid elu iseloomustajatena populaarsed juba 19. sajandi hakul, kui oli moes loodust romantiseerida. Ent samuti on neid armastanud kasutada Karl Ernst von Baer, õige palju leidub neid Jakob von Uexkülli kirjutistes.<sup>2</sup> See pole muidugi juhuslik. Vastupidi, nende kasutamisega teaduslikes kirjutistes üritatakse viidata mõnedele väga olulistele eluprotsessi ja elussüsteemide põhijoontele. Elu poeesilisele, esteetilisele, loovale tahule.

---

<sup>1</sup> Vt Lakoff, Johnson 2011.

<sup>2</sup> Vt ka Stjernfelt 2001.

Baer kirjutas: „Kas ei me ei peaks orgaaniliste kehade eluprotsessi võrdlema meloodiate ja mõtetega? Tõesõna, mina kutsun neid kõige meelsamini *loomismõtteiks*; nende kuju füüsilises maailmas erineb muusikapala või mõtte kujust vaid selle poolest, et inimene seda neile anda ei saa, nad kehastuvad ise ning saavad eraldiseisva keha” (Baer 2002 [1864]: 2578). „Ning ka elutegevust ei pea ma orgaanilise ehitamise resultaadiks, vaid rütmiks, meloodiaks, mille järgi orgaaniline keha end üles ja ümber ehitab” (Baer 2002 [1864]: 2582).

Jakob von Uexküll armastas muusika ja elusa võrdlust eriti, muusikaseoselisi sõnu on ta bioloogiateoreetilistes kirjutistes palju. Näiteks ta ütleb, et omaloomad „ei mõju [...] omavahel mehaaniliselt ja nad on kummatigi omavahel plaanipäraselt seotud, nagu oratooriumi toonid on omavahel harmooniliselt ühendatud. Nii on elu seaduste leidmiseks vaja uurida muusika ja mitte mehaanika seadusi” (Uexküll 2012 [1937]: 188). Ja veel: „Rakutoonist elundimeloodiaks ja organismisümfooniaks progresseeruv subjektiveerimise protsess on otseses vastuolus mis tahes mehaanilise protsessiga, mis kujutab endast objekti mõju objektile. Seevastu on ta samal tasandil mis tahes muusikalise kompositsiooniga. [...] Nii nagu dueti kompositsioonis peavad mõlemad hääled olema noot-noodilt, punkt-punktilt teineteisele komponeeritud, on looduses tähendusfaktoritel tähenduse omastajatega kontrapunktiline suhe. Elusolendite vormimoodustus saab meile arusaadavamaks alles siis, kui meil on õnnestunud sellest tuletada *looduse kompositsiooniõpetus*” (Uexküll 2012 [1940]: 346). Kontrapunktiline ühendus ei vaja aga dirigenti. Lähedus Noble'i vaadetega on tähelepanuväärne.

Jesper Hoffmeyer on korduvalt esile toonud, kuidas molekulaarbioloogias kasutusele võetud info-sõnade poolest rikas terminoloogia on valmistanud ette eluprotsesside semiootilise teooria tulekut. Näiteks „transkriptsioon“ ja „translatsioon“, või et molekulide suhted on „koodi“-põhised ja mõned neist on sõnumivijjad (üks molekulitüüp kannab nime *messenger*). Samas suunas viitab „elu kui muusika“.

Muidugi võivad metafoorid olla ka eksitavad. Nii selgitab Hoffmeyer (2014: 101–102), kui eksitav on kõnelda informatsiooni transportimisest — sest selline väljendusviis ei lase hästi mõista, kuidas saab informatsioonil üldse olla tähendus. On ju nii, et mingi eristus ei kandu üle muidu, kui ta tuleb kuulaja-vaataja poolt uuesti luua.

Paradigma vahetusega käibki tavaliselt kaasas metafooriarsenali sügav muutus — senise arvatavalt eksitava sõnakasutuse asendamine teistsugusega. Võib ju küll öelda, et sõnad ei loe, kui arusaam on õige. Ometi, õpetaja ütlus „organism on masin“ suunab õpilast üpris teisiti kui väljend „organism on sümfoonia“.

Käesoleva raamatu autor Denis Noble on saanud radikaalseks paradigma vahetajaks bioloogias. Ta leiab, et neodarvinlik reduktsionistlik bioloogia tuleb asendada integratiivse süsteemibioloogilise.<sup>3</sup> See nõuab muutust mõistestikus. Konkreetse ülesandena võtab ta muuhulgas ette Dawkinsi egoismipõhise metafoorika kriitika ja asendamise (raamatu teine peatükk).

---

<sup>3</sup> Projektist lähemalt loe intervjuust Noble'iga Mazur 2015.

Hea bioloog peab tundma kõiki olulisi elunähtuste teooriaid. Et argumenteeritumalt osata järgmise põlvkonna teooriaid mõista, eks siis seepärast tuli ka Richard Dawkinsi mõtteviis läbi elada (teda on muide eesti keelde tublisti tõlgitud). Ning kuigi ökoloogias on soodumus süsteemibioloogiliseks käsituseks olemuslikult suur, leidub kaua veel ökoloogegi, kes reduktsionismist ei loobu (nagu Noble hästi kirjeldab) ja pakuvad Dawkinsi tüüpi seletusi — praegusajal enamasti sotsiobioloogia teooriate kaasabil.

Muusika ja elu võrdluse puhul on siiski tegemist millegi enama kui pelgalt metafooriga. Metafoor on analoogiline sarnasus, elul ja muusikal on aga ka homoloogiline seos. Viis, kuidas helid ühenduvad kuulmisel millekski helideüleseks, on põhimõtte poolest ühine sellega, kuidas valguskiired seonduvad tajus pildiks. Veelgi enam. Nii nagu tervikpildi kaudu saavad tähenduse selle pildi osad, reguleerib meloodia noote, kooskõlalisteks või sobimatuteks.

Olgu lisatud, et Denis Noble mängib hästi viiulit ja tegeleb muusikaga päris tõsiselt. Nii et neist muusikaseostest kirjutades on ta kahtlemata asjatundlik.

\*

Noble'i teaduslike arusaamade areng on tähelepanuväärne. Tema uurimistöö keskmes on ikka olnud organismide talitlemise mehhanismid. Ent esimestel teadlaste aastakümnetel kirjeldas ja uuris ta neid kui biofüüsik-reduktsionist, hilisematel aastakümnetel aga kui bioloog-holist. See liikumissuund — reduktsionistist holistik, biofüüsikust biosemiootikuks — on äratuntavate paralleelidega mitmete bioloogide vaadete arengus.

Denis Noble on britt, sündinud 1936. aastal ja ülikoolis käinud Londonis. Doktoritöö kaitses ta 1961. aastal, teemaks südame rütmi reguleerivad mehhanismid.

Tema teadustöö keskmeiks on olnud südame füsioloogiliste protsesside modelleerimine. Lähteks oli biofüüsika klassikasse kuuluv Hodgkini-Huxley mudel — Alan Hodgkini ja Andrew Huxley poolt 1952. aastal välja töötatud diferentsiaalvõrrandite süsteem, mis kirjeldas erutuse dünaamikat rakumembraanil. Füsioloogiliste protsesside matemaatiline modelleerimine andis aga väga tähtsa arusaama — nimelt kuidas organismides kujunevad tagasisidenähtused ja kuidas tervik end ise reguleerib. Teisisõnu, niisugused mudelid võimaldavad näidata, kuidas tervikul ilmuvad omadused, mida osadel mitte mingil kujul ei ole. Näiteks komponendid eraldi võnkuvat käitumist ei oma, ent nendest ühise süsteemi moodustumisel ilmub käitumisse rütm. Niimoodi, ilma dirigendita, ilmuvad ja jäävad püsima paljud elusloodusele iseloomulikud nähtused.

Noble'i esimesele raamatule — „Südamelöögi lähe” (Noble 1975) — järgnes rida südame füsioloogiaga seotud kogumikke. Need puudutasid elektrivoolu nähtusi erutuvates rakkudes, südamerakkude elektrofüsioloogiat, naatriumi- ja

kaltsiumiioonide liikumist läbi rakumembraani,ioonkanalite regulatsiooni (Jack jt. 1975; Noble, Powell 1987; Allen jt. 1989; Noble, Earm 1993). Ta on olnud kaastoimetajaks ka üldbioloogilistele raamatutele elu eesmärgipärasusest (Montefiore, Noble 1989) ja elu loogikast (Boyd, Noble 1993). Kuni 2006. aastal ilmus „Elu muusika”, mis on praegu vist üks populaarseim mittedarvinlik teoreetilise bioloogia raamat maailmas.

Paljud loodusteadusliku haridusega bioloogid on oma teadlastee algfaasis reduktsionismi kaldunud. Nii polnud see üksnes Denis Noble'iga. Ka näiteks Jakob von Uexküll (kelle arusaamades on mõndagi lähedast Noble'ile) oli kõigepealt füsioloog, kes uuris lihaste innervatsiooni.<sup>4</sup> Ent õige pea sattus ta nähtustele, mille seletus polnud ei lihase ega närvi ehituses, vaid kudede vahelises koostöös. Need on süsteemsed nähtused, ja Uexkülli kirjelduses on nende üldiseks aluseks funktsionaalne süsteem, mida ta modelleeris kui funktsiooniringi. Nagu Uexküll näitas, tuleneb just neist kogu elusale iseloomulik tähendusloome — teisisõnu, semiootilised nähtused. Noble justkui kordab taolist teed.

Noble võttis 1990ndail ette — koos suurema kolleegide rühmaga — organismi funktsioonide kaardistamise. See sai nimeks füsiomiprojekt. Ülevaate koostamine funktsioonide mitmekesisest kogumist juhatas süsteemse lähenemise juurde ning Noble'ist sai üks süsteemibioloogia sõnakamaid esindajaid.

Käesolev raamat ongi suuresti süsteemibioloogia põhimõtetest. Varsti pärast selle ilmumist sõnastas ta need põhimõtted veel kokkuvõetumal kujul kui *süsteemibioloogia kümme põhiprintsiipi* (Noble 2008). Olgu need siin korratud.<sup>5</sup>

1. Bioloogiline funktsionaalsus on paljutasandiline.
2. Infoedastus pole ühesuunaline voog.
3. DNA ei ole ainus pärilikkuse kandja.
4. Bioloogiline relatiivsuse teooria: ühelgi põhjuslikkuse tasandil pole teiste suhtes eesõigust.
5. Ilma ülatasandi vaateta kukub geeniontoloogia kokku.
6. Geneetilist programmi ei ole olemas.
7. Pole olemas mingeid programme ka ühelgi teisel tasandil.
8. Ajus ei ole samuti ühtegi programmi.
9. Ise ei ole objekt.
10. Avastada on veel palju; kõikehõlmavat bioloogiateooriat pole seni olemas.

Muuhulgas nimetab Noble (2008) esimeseks süsteemibioloogiks Claude Bernard'i, kes 19. sajandi keskel kirjeldas homöostaasi kui elussüsteemide olulist süsteemset omadust. Tõepoolest, homöostaas kui sisekeskkonna püsivus on just niisugune omadus, mis ilmub protsesside koostöös ja mida mehhanismi osadel eraldi pole.

---

<sup>4</sup> Vt lähemalt Uexküll 2012.

<sup>5</sup> Esmakordselt eesti keeles neist kogumikus *Schola biotheoretica* 39 — vt Laanisto 2013.

\*\*

Eestis oli esimesi süsteemibioloogia uurimisrühmi zooloogia ja botaanika instituudis 1970ndail aastail tegutsenud süsteemökoloogia sektor. Selles uurisime nähtusi, mis ilmnevad (geenideüleselt) organismikooslustes ja eluskudedes. Ökoomikaks<sup>6</sup> me seda muidugi ei nimetanud, ent ülesanne, millele Toomas Frey juhitud ökoloogide rühm mõtles, oli kahtlemata süsteemibioloogiline — kirjeldada ühe Eesti kõrgeima produktiivsusega (metsa)ökosüsteemi kogu suhtevõrgustikku ning uurida tervikutaseme efekte. Praegu ehib üht Tartu Ülikooli hoonet Riia tänaval silt *omicum*. Eks seegi tähendab, et sedalaadi mõtlemine, mis siin raamatus kirjas, Eestis võõras ei ole.

Juba Baeri ja Uexkülli arusaamad olid suuresti süsteemibioloogilised. Nad kumbki polnud reduktsionistid ega ka vitalistid, ses mõttes nagu Noble reduktsionismi ja vitalismi määratleb. Nende arusaama järgi on elu ehituse eripäraks rütm (Baer rõhutas seda väga), ja tõepoolest tagasiside (Uexküll rääkis sellest juba natuke samamoodi kui Noble).

Neile, kes on osalenud teoreetilise bioloogia kevadkoolides, on arvatavasti suurem osa selle raamatu ideedest juba ammu tuttavad.<sup>7</sup> Sest Noble kirjutab just sellest bioloogia intellektuaalsest traditsioonist, millele Eesti *Schola Biotheoretica* suuresti toetub. Ent siiski leiab ka vana kevadkoolides käija siit raamatust põnevaid mõtteid ... Üks huvitavamaid on mu meelest seitsmendas peatükis, mis räägib epigeneetilisest pärandumisest. Nimelt teeb Noble huvitava vihje, et geeniekspressiooni mustrid, mis hulkrakse organismi erinevates kudedes esinedes seal epigeneetiliselt päranduvad, on kõik omavahel kuidagi seotud. See seos on kooskõlas organismi kui terviku erinevate funktsioonidega, mis on kudesid pidi jaotatud, ent mis kõik toimivad ühesama organismi tervikliku talitlemise raames. Teisisõnu, see hüpotees ütleb, et üht kude uurides on võimalik järeldada midagi ka kõigi teiste selle organismi kudede kohta. Lisaks see, et organismi funktsionaalset ehitust hiina kirjakeele modulaarse ehituse ja keerukuse määraga võiks võrrelda, nagu Noble seda teeb, on igatahes ka väga vahva.

Ja veel üks nähtus, millest bioloogid väga rääkinud pole, aga mis seda kahtlemata väärriks, nimelt kvaalid, millest on juttu üheksandas peatükis. See on vaimufilosoofias tavapärane termin. Kvaali kui elementaarse tajuelemendi mõiste võttis kasutusele semiootika klassik ja Ameerika olulisemaid filosoofe Charles S. Peirce. Kvaal, see on lihtsaim märk. Kvaalimärk ehk omadusmärk ei kannu endas muud kui üksnes mingit kvaliteeti ehk omadust. Ent neist kogu vaimne maailm algab ja otsati koosnebki. Kuna kvaalid on elusorganismide sünnitised, siis ilmselgelt on tegu bioloogia valda kuuluva nähtusega. Ehk siis —

---

<sup>6</sup> Süsteemibioloogia üheks terminoloogiliseks iseloomujooneks on uurimisvaldkondadele *oomika*-lõpuliste nimede leiutamine: genooomikale järgnevad proteoomika, translatoomika, metabooloomika, interaktoomika, epigenoomika, füsioomika, fenoomika, semioomika... (vt Sõber jt. 2013: 113–114).

<sup>7</sup> Seejuures oli 2013. aastal toimunud 39. kevadkool otseselt pühendatud süsteemibioloogiale (Sõber jt 2013).

vaimunähtuste sünd on bioloogia probleem. Seni on bioloogid neid tihti uurimatuteks pidanud. Ent ometi, neid saab teaduslikult uurida, kui bioloogia teooria tugineb semiootikale.

\*\*\*

Raamatule „Elu muusika” juhtis mu tähelepanu kõigepealt arvatavasti Jakob Uexküll jr, kui ta 2006. aasta juunis selle kohta arvamusst palus. Kirjutasin ja saatsin (kas see ka kuskil ilmus, ma ei tea).

Esimest korda puutusin põgusalt Noble'i töödega kokku aga arvatavasti oluliselt varem. See seostus huviga matemaatilise modelleerimise vastu bioloogias. Nimelt pärineb Noble'ilt südame töö matemaatiline mudel.

Mu otsene kokkupuude Denis Noble'iga toimus 2014. aasta juunis, kui sain talt kirja, milles kutsus osalema „kolmanda evolutsioonivaate” teadusrühmas.<sup>8</sup> Sinna kuulub umbes 40 teadlast, kelle uurimistöö on loonud aluseid evolutsiooniteooria ümberkorraldamiseks. Sellise rühma koondamine on seotud suure pöördega, mis praegu bioloogias näib toimuvat. Nagu Noble hästi mõistab — niisugust pööret ei suuda keegi teha üksinda, selleks tuleb koos tegutseda. Pöördest annab ülevaate Suzan Mazuri (2015) intervjuuraamat selle teadusrühma liikmetega.

Maailma füsioloogiaseltsi presidendina kirjeldab Noble seda pööret nii: „kõik sünteetilise evolutsiooniteooria<sup>9</sup> (mida sageli nimetatakse neodarvinismiks) kesksed eeldused on nüüdseks ümber lükatud. Veelgi enam, need on ümber lükatud alusel, mis loob ahvatleva väljavaate täiesti uuele sünteesile” (Noble 2013: 1235).

Denis Noble on ühtlasi ajakirja “Progress in Biophysics and Molecular Biology” peatoimetaja. See on üks tähtsamaid uusi bioloogilisi ideid esitavaid ajakirju. Iseloomulik, praeguse pöördega kooskõlas olev on 2015. aasta viimane number, mis pühendatud bioloogilisele fenomenoloogiale, ehk siis sellele, kust tuleb eluprotsessidesse tähendus sisse, kust algab semioos... Nii võib näha, et see bioloogia, mille poole ta püüdleb, ei aseta üksnes evolutsiooniõpetust teisele kohale (seda ühtlasi muutes), vaid lisab eluprotsesside välisest positsioonist kirjeldamisele ka organismide eneste vaate maailmale.<sup>10</sup>

Denis Noble'it võib pidada praegusaegse bioloogia üheks peamiseks liidriks või koguni selles toimuva pöörde arhitektiks. Ta ühendab epigeneetikuid ja biofenomenolooge, süsteemibiolooge, füsiolooge, eluprotsesside modelleerijaid ja evolutsiooniuurijaid. Tema lähedasteks kaasmõtlejateks on teiste seas Massimo Pigliucci ja James Shapiro, kes mõlemad iseloomustavad olukorda

---

<sup>8</sup> Vt <http://www.thethirdwayofevolution.com/>.

<sup>9</sup> Ingl *Modern Synthesis*.

<sup>10</sup> Vrd Weber 2011.

praegusaegses eluteaduses kui pöördelist (vt Pigliucci, Müller 2010; Shapiro 2011).<sup>11</sup>

\*\*\*\*

Mõtlen ka, et see muusikaline lähenemine ja arusaam elust sobib väga hästi Eestile ja meie intellektuaalsele traditsioonile.<sup>12</sup> Eesti võlu on elurikkuses. Meie maastik, kultuur, keel on keerukad. Nende kompositsiooni mõistmiseks on aga abi muusikast. Muusika hoiab meid, selle toel me püsime. Muusikana oleme elus.

## Kirjandus

Allen, T. Jeff A.; Noble, Denis; Reuter, Harald (eds.) 1989. *Sodium-Calcium Exchange*. Oxford Science Publications.

Baer, Karl Ernst von 2002 [1864]. Milline vaade elusloodusele on õige? Ning kuidas seda rakendada entomoloogias? *Akadeemia* (12): 2556–2589.

Boyd, C. A. Richard; Noble, Denis (eds.) 1993. *The Logic of Life: Challenge of Integrative Physiology*. Oxford: Oxford University Press.

Hoffmeyer, Jesper 2014. *Biosemiotika: Uurimus elu märkidest ja märkide elust*. (Puhang, Ehte, tlk) Tallinn: TLÜ kirjastus.

Jack, James Julian Bennett; Noble, Denis; Tsien, Richard W. 1975. *Electric Current Flow in Excitable Cells*. Oxford: Clarendon Press.

Kull, Kalevi 2014a. Epigeneetiline pööre: epigeneetilise pärandumise evolutsioonilised tagajärjed. *Schola Biotheoretica* 40: 9–19.

Kull, Kalevi 2014b. Adaptive evolution without natural selection. *Biological Journal of the Linnean Society* 112(2): 287–294.

Laanisto, Lauri 2013. Süsteemibioloogia kümme alusprintsipi. *Schola Biotheoretica* 39: 13–18.

Lakoff, George; Johnson, Mark 2011 [1980]. *Metafoorid, mille järgi me elame*. Tallinn: TLÜ Kirjastus.

Mazur, Suzan 2015. *The Paradigm Shifters: Overthrowing 'the Hegemony of the Culture of Darwin'*. New York: Caswell Books.

Montefiore, Alan; Noble, Denis (eds.) 1989. *Goals, No-goals, and Own Goals: A Debate on Goal-directed and Intentional Behaviour*. London: Unwin Hyman.

---

<sup>11</sup> Vt ka Kull (2014a; 2014b) ning tervet kogumikku *Schola biotheoretica* 40 — „Epigeneetiline pööre” (Tõnissoo jt 2014).

<sup>12</sup> Vt selles seoses Tamm, Kull 2015.

- Noble, Denis 1975. *Initiation of the Heartbeat*. Oxford: Clarendon Press.
- Noble, Denis 2006. *The Music of Life: Biology Beyond the Genome*. Oxford: Oxford University Press.
- Noble, Denis 2008. Claude Bernard, the first systems biologist, and the future of physiology. *Experimental Physiology* 93: 16–26.
- Noble, Denis 2013. Physiology is rocking the foundations of evolutionary biology. *Experimental Physiology* 98(8): 1235–1243.
- Noble, Denis; Powell, Trevor (eds.) 1987. *Electrophysiology of Single Cardiac Cells*. London: Academic Press.
- Noble, Denis; Earm, Yung E. (eds.) 1993. *Ionic Channels and the Effect of Taurine on the Heart*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Pigliucci, Massimo; Müller, Gerd B. (eds.) 2010. *Evolution: The Extended Synthesis*. Cambridge: The MIT Press.
- Shapiro, James A. 2011. *Evolution: A View from the 21st Century*. Upper Saddle River: FT Press Science.
- Stjernfelt, Frederik 2001. A natural symphony? To what extent is Uexküll's *Bedeutungslehre* actual for the semiotics of our time? *Semiotica* 134(1/4): 79–102.
- Sõber, Virve; Laanisto, Lauri; Õpik, Maarja; Tammaru, Toomas; Kull, Kalevi (toim) 2013. *Süsteemibioloogia*. (*Schola Biotheoretica* 39.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.
- Tamm, Marek; Kull, Kalevi 2015. Eesti teooria. *Akadeemia* 27(4): 579–624.
- Tõnissoo, Tambet; Laanisto, Lauri; Õpik, Maarja; Vanatoa, Alo; Tammaru, Toomas; Thetloff, Marge; Kull, Kalevi (toim) 2014. *Epigeneetiline pööre*. (*Schola Biotheoretica* 40.) Tartu: Eesti Looduseuurijate Selts.
- Uexküll, Jakob von 2012. *Omailmad*. Tartu: Ilmamaa.
- Weber, Andreas 2011. *Kõik me tunneme: inimene, loodus ja eluteaduste revolutsioon*. Tallinn: Varrak.