

# Reduktio on ohjelma ja emergenssi heräte tutkimukselle

■ Kari Lagerspetz

**Reduktio ja emergenssi ovat tieteellisessä tutkimuksessa käytettyjä selitysmalleja. Molemmat voivat edistää tutkimusta, kun sen alueet ja ongelmat on rajattu selvästi. Niiden vastakkainasettelu (reduktionismi – emergentismi) on saanut aikoinaan alkunsa nimenomaan biologisesta tutkimuksesta. Joillakin tieteen aloilla tämä vastakkaisuus kuuluu alan historiaan, mutta monilla se vaikuttaa edelleen merkittävästi tieteen harjoitukseen.**

Suomessakin filosofit, fyysikot, biologit, psykologit ja yhteiskuntatieteilijät ovat kirjoittaneet reduktiosta ja emergenssistä myös hiljakkoin (esim. Enqvist, 2007; Kajantie, 2009; Kuorikoski & Ylikoski, 2007; Portin, 2008, 2009; Rosing, 2006; Tiensuu, 2009) jatkona jo vuosina 1998–99 tässä lehdessä käydylle keskustelulle.

Yritän määritellä reduktion lainaten tuoretta kirjoitusta (Tiensuu, 2009, s. 55; kursivi ja hakusulut KL):

”Reduktio[nismi] tarkoittaa: joko (1) jonkin ilmiökentän väitteiden palauttamista toista ilmiökenttää koskeviin väitteisiin siten, että näennäisesti ensimmäisellä alueella tapahtu[vat] ilmiöt selittyvät jälkimmäisen alueen ilmiöillä; tai (2) kokonaisuuden palauttamista osiinsa siten, että kaikki kokonaisuuden tasolla näkyvät ilmiöt määräytyvät suoraan pienimpien yksittäisten osien ominaisuuksista. Usein nämä merkitykset ovat päällekkäisiä.”

Yleisesti ottaen reduktio eri ilmiökenttien ja organisaatiotasojen välillä onnistuu hyvin, ja se on tuottanut paljon uutta tietoa ja tärkeitä sovelluksia ihmisten elämään ja kulttuuriin.

Emergenssiteorian esittelyn lähtökohtana voi edelleenkin olla englantilaisen filosofin C. D. Broadin (1887–1971) vuonna 1925 ilmestynyt teos *The Mind and Its Place in Nature*. Se oli sitä monelle, minullekin. Broadin kirja perustui hänen Cambridgessä vuonna 1923 pitämiinsä

luentoihin. Emergenssi on ilmeisesti reduktion avulla selittämätön ilmiö:

”Kokonaisuudelle ominaista toimintaa ei voida teoriassa-kaan johtaa sen osien toimintaa erillisinä tai muissa yhdistelmissä koskevasta täydellisimmästäkään tiedosta eikä osien suhteista ja järjestelmistä tässäkin kokonaisuudessa. – Tätä tarkoitan emergenssiteorialla.” (Broad, 1925, s. 59; suom. KL).

## Tieteen murros 1920-luvulla

Ensimmäinen maailmansota esti tieteellisen tiedon kulun tutkimuksessa johtavien maiden, kuten Saksan ja toisaalta Englannin, Ranskan ja Yhdysvaltojen välillä. Monet 1910-luvun tieteen uudet saavutukset tai suuntaukset tulivat yleisemmin tunnetuiksi vasta 1920-luvun puolivälissä.

Näin kävi esimerkiksi Albert Einsteinin vuonna 1911 edelleen kehittämän Planckin kvantтитеorian. Samoin viivästyivät amerikkalaisen J. B. Watsonin vuonna 1913 esittelemän *behaviorismin* ja Saksassa vuoden 1910 vaiheilla alulle pannun *hahmopsykologian* (Wertheimer, Köhler, Koffka) vaikutukset. Behaviorismin vastainen hahmopsykologia oli tärkeä emergenssiteorian tausta.

Lisäksi emergenssiteoria vastusti ranskalaisen filosofi Henri Bergsonin (1907/1921) ja saksalaisen biologi Hans Drieschin (1909/1921) jälleen esille tuomaa *vitalismia*, jonka mukaan elämänilmiöitä ei voinut selittää ilman erityistä luovaa henkeä.

Kirjansa esipuheen mukaan Broad (1925) suuntaa sen etenkin filosofeille, psykologeille, biologeille ja parapsykologeille. Biologit pääsivät tähän siksi, että emergenssiteoria tarjosi vaihtoehdon sekä neovitalismille että vanhalle mekani- nistiselle elämänkäsitteelle. Psykologian alalla kauan vallinnut henkietieteellinen psykologia

ja uusi behaviorismi saivat emergenssiteoriassa haastajansa.

### Merisiilin kaksoiset

Biologia oli 1900-luvun alussa alkanut kiinnostaa filosofeja, ehkä eniten ajan muotifilosofin Henri Bergsonin (1859–1941) ja filosofiaankin ryhtyneen biologin Hans Drieschin (1867–1941) vaikutuksesta. Driesch toi kokeellisessa työssään esiin kaksi jo ennenkin tunnettua ongelmaa, joiden filosofisesta tulkinnasta oltiin eri mieltä. Nämä itsesäätelyn ja informaationsiirron ongelmat ratkesivat biologiassa paljon myöhemmin. Driesch kohtasi ne merisiilien yksilönkehitystä tutkiessaan.

Merisiilit elävät suolaisten merien pohjalta rantavyöhykkeessä. Ne puuttuvat Itämerestä, paitsi sen lounaisosasta. Ruotsin länsirannikolla elää merisiilejä. Lämpötilan keväällä kohotessa naaraat laskevat munasolunsa ja koiraat siittiönsä meriveteen. Syvemmältä löytyy kutukypsiä yksilöitä myöhemminkin. Munasolut ovat noin 0,1 millimetrin läpimittaisia ja lähes läpinäkyviä, joten ne ovat erinomaisia yksilönkehityksen tutkimiseen. Siihen niitä on käytettykin jo 1700-luvun lopulta, ja niiden hedelmöitys, siis siittiön tuman yhtyminen munasolun tumaan, tunnettiin.

Driesch tutki vuonna 1891 Napolin eläintieteellisellä asemalla merisiilin varhaiskehitystä. Hän ravisteli hedelmöitynyttä ja jo kerran jakaantunutta munasolua, kunnes solut irtosivat toisistaan, ja seurasi sitten näiden erillisten solujen kehitystä.

Niistä ei tullutkaan kahta merisiilin toukan puolikasta vaan kaksi täydellistä toukkayksilöä. Näin kehittyneet toukat olivat tosin hiukan tavallista pienempiä. Driesch jatkoi kokeitaan ja huomasi, että jopa 16-soluasteelle kehittyneiden alkioiden joistakin eristetyistä soluista saattoi kehittyä täydellisiä toukkia. Näin siis merisiilejä voitiin kokeellisesti monistaa. Tämä vastaa yhdestä hedelmöityneestä munasolusta jakaantumisen ja solujen eroamisen kautta kehittyvien identtisten kaksosten syntytapaa.

Driesch tulkitsi näiden koetulostensa osoittavan solujen ja yleensä eliöiden aineesta riippumatonta erikoislaatua. Hänen mukaansa ei

mikään aineellinen kappale, jos se jaetaan osiin, kasvata kustakin osasta alkuperäisen kaltaista kokonaisuutta eikä osissa tapahdu sellaista itsesäätelyä kuin koko solussa tai eliössä. Näin ollen elävissä soluissa täytyy olla erityinen ei-aineellinen, tarkoitushakuinen, jakaantuva elämänydin, jota Driesch kutsuu *entelekiaksi*.

Myös Bergson oli vuonna 1907 esittänyt ajatuksen erityisestä eläville olioille ominaisesta aineettomasta elämänvoimasta, joka ilmeni samanlaisena henkisenä äkkisiirtymänä kuin intuitio, ”elämänhyppynä”, *élan vital*ina. Nämä ajatukset elämän erityislaadun ei-aineellisesta luonteesta olivat *neovitalismin* perusta.

Drieschin Aberdeenin yliopistossa vuosina 1907–08 pitämät Gifford-luennot ilmestyivät ensin englanniksi vuonna 1908, seuraavana vuonna saksaksi ja laajennettuna 2. painoksena vuonna 1921. Bergsonin (1907/1921) teos ilmestyi englanniksi vuonna 1911, ja vuonna 1921 siitä ilmestyi jo 25. ranskankielinen painos. Näin neovitalismi tuli jo varhain laajalti tunnetuksi, ja sitä vastustava emergenssiteoria sai biologiasta herätteitä.

### Emergenssi fysiikassa

Avaruudessa on monenkokoista ja monenlaista, muun muassa galakseja (kierteissumuja) ja aurinkokuntia (tähtiä) ja niissä planeettoja. Meidän planeetallamme on esimerkiksi vuoria, meriä, metsiä, kallioita, kiviä, puita, ihmisiä, kiteitä, soluja, molekyyliä, atomeja ja alkeishiukkasia.

Atomit koostuvat alkeishiukkasista ja molekyylit ja kiteet atomeista, solut molekyyleistä ja atomeista, eliöt soluista ja niiden tuotteista. Luonnossa näkyy tällainen kokonaisuusien hierarkkinen rakentuminen osista, ja myös näiden eri tasojen ilmiöitä. Merissä esiintyy esimerkiksi vuorovesi-ilmiöitä, merivirtoja, myrskyä ja aallokkoa, vesimolekyylien liikettä ja valokvanttien vaikutuksia pintaveden atomien elektroneihin.

Reduktion ja emergenssin tila ja asema ajattelussa ovat muuttuneet 1920-luvulta sekä tieteen tulosten että uusien tutkimusongelmien mukana. Reduktio on yleensä osoittautunut menestykselliseksi niillä luonnontieteiden aloilla, joil-

la peruskäsitteet on voitu määritellä tarkasti, siis fysiikassa, kemiassa ja joillain biologian aloilla. Mutta fysiikassakin on tässä suhteessa ongelma.

Klassillista gravitaatiomekaniikkaa ei ole voitu redusoida kvanttifysiikkaan eikä päinvastoin. Ehkä tällainen redusoiva ”yhtenäisteoria” on mahdollinen, mutta ei näköpiirissä. Tämä tuntuu nyt ”vahvan” emergenssin tapaukselta, mutta voidaan ajatella, että se on empiirisen evidenssin asia: aika näyttää.

”Kaiken teoriasta” kiinnostuneet fyysikot ovat lisäksi sitä mieltä, että elämän ja tajunnan selittämiseen tarvitaan ainakin ”heikko” emergenssi (Enqvist, 2007; Kajantie, 2009), jonka Enqvist (s. 313) määrittelee näin:

”Emergenssi tarkoittaa aina sitä, että kokonaisuuden ominaisuudet eroavat laadullisesti sen osien ominaisuuksista. *Vahva emergenssi* väittää lisäksi, että näitä kokonaisuuden ominaisuuksia ei voi johtaa osasten ominaisuuksista. – *Heikko emergenssi* puolestaan sanoo, että kokonaisuuden ominaisuudet on ainakin periaatteessa mahdollista johtaa sen osasten ominaisuuksista.”

”Johtaminen” tarkoittaa tässä siis tieteellistä selittämistä. Siitä, mitä selittäminen puolestaan tarkoittaa, voidaan olla eri mieltä, mutta jo filosofi Ernest Nagel (1951) kytki emergenssin nimenomaan selittämiseen ja siinä käytettyihin teorioihin eikä olemassa oleviin rakenteisiin ja niiden kehitykseen.

Kun maailmankaikkeus syntyi ns. alkuräjähdyksessä 13,7 Ga (miljardia vuotta) sitten, plasmasta muodostui hyvin nopeasti atomeja ja muita kappaleita. Isoja tähtiäkin oli jo 13,1 Ga sitten, mutta varhainen kosmologinen kehitys on ilmeisesti ollut aivan ensi hetkinä nopeaa ja jo silloin gravitaatioilmiöt ja valo, siis suoraan kiitävät fotonit, tulivat. Alkeishiukkasten väliset sähkömagneettiset voimat olivat tuottaneet alkuaineiden atomit ja yhdistivät niitä molekyyleiksi.

Tämä oli kai uusien ilmiöiden syntymistä maailmankaikkeudessa ja siinä mielessä ”emergenssiä”. Filosofi ehkä sanoisi sitä ontologiseksi, fyysikko ehkä kosmologiseksi emergenssiksi. Lainaan fyysikkoo: ”Fysikaalisten vuorovaikutusten epälineaarisuuden ansiosta emergenssi on luonnon dynaaminen ominaisuus eikä pelkästään seurausta ihmisen tavasta järjestellä

havaintojaan. – *Emergenssi on laadullista muutosta.*” (Enqvist, 2007, s. 306–307).

Painovoima on siis tällä hetkellä ainoa fyysikan ilmiö, jota ei voi selittää kvanttifysiikan avulla, eli se on kvanttifysiikan suhteen emergentti. Selittävää hiukkasta, gravitonia, etsitään kiihkeästi.

## Itseorganisoituvat järjestelmät

Drieschiä onnisti, kun hän valitsi merisiilien solut kaksostutkimuksensa kohteeksi. Monen muun eläimen munasoluilla se ei olisi onnistunut. Merisiilien, kuten myös nisäkkäiden, munasolut ovat pieniä ja vähän tasaisesti jakautunutta solulimaa eikä juuri vararavintoa sisältäviä. Ne jakautuvat kehityksensä alussa kolme kertaa keskenään yhtäläisiksi soluiksi, joissa kussakin on tietysti samaa geneettistä informaatiota kantavat geenit ja näillä myös samanlainen solulimaympäristö. Esimerkiksi sammakoiden isot munasolut eivät jakaudu edes lähestulkoon tasaisesti samanlaatuisiksi kuin yhden kerran, ja linnuilla jakautuneet solut muodostavat vain pienen kiinteän levyn suuren ruskuaisen pinnalle.

Drieschiä filosofisesti askarruttanut kaksostumisen ongelma on siis ratkennut kehitysfysiologian, solufysiologian, biokemian ja molekyyli-rakennetutkimuksen myötä, ja viime kädessä vasta kun Watson ja Crick vuonna 1953 selvittivät, miten DNA-molekyylien autokatalyyttinen kahdentuminen tapahtuu.

Tällä hetkellä eräissä tapauksissa emergentin ilmiön selitys voi olla jo valmiina, mutta sen yhdistäminen käsillä olevaan ongelmaan vaatii useinkin monille eri tasoille kuuluvien alojen tutkimustyötä.

Englantilainen matemaatikko ja loogikko Alan M. Turing (1912–54) tutki alun perin ratkeavuusongelmaa eli sitä, voidaanko mille tahansa matemaattiselle ongelmalle esittää toimiva laskentamenettely. Tämä osoittautui mahdolliseksi, koneellisesti.

Toisen maailmansodan aikana Turing olikin kehittämässä ensimmäisiä tietokoneille ja, joilla saksalaisten käyttämä sukellusveneiden komentokoodi ratkaistiin. Tämä työ vaikutti myös elektronisten tietokoneiden kehitykseen.

Turing esitti myöhemmin (1952) *itseorganisoi-  
tuvien järjestelmien* periaatteen kirjoituksessaan  
”The chemical basis of morphogenesis”.

Yksinkertaisia itseorganisoi-  
tuvia järjestelmiä tunnetaan fysiikassa jo vanhastaan, tuttuina esi-  
merkkinä kynttilänliekki ja vesipyörre, jotka  
säilyttävät muotonsa ja palaavat siihen vaikka  
niiden ainehiukkaset koko ajan vaihtuvat. Nämä  
ovat avoimia, ainetta ja energiaa kuluttavia jär-  
jestelmiä, joita on usein käytetty elämän vertaus-  
kuvina.

Itseorganisoi-  
tuvien järjestelmien tutkimus  
painottui jo alun perin hyvin tietokonekeskei-  
seksi ja teoreettiseksi. Kemiassa ja nimenomaan  
biologiassa alettiin vasta verrattain myöhään  
kiinnittää siihen huomiota.

Kemian alalla ensimmäinen nimenomaan  
Turingin mallin mukainen itseorganisoi-  
tuva järjestelmä toteutettiin vasta vuonna 1990 (Cas-  
tets ym., 1990). Siinä perustana on muovihyyte-  
lökalvo, jossa kahta eri ainesosaa imeytyy pit-  
kin kalvoa sen eri päistä. Niiden väliset reaktiot,  
joista toisen täytyy olla jotain ainesosaa lisäävä,  
esimerkiksi autokatalyysi, ja toisen tätä ehkäise-  
vä, tapahtuvat kalvossa pysyviä kuvioita muo-  
dostaen, vaikka itse aineet siirtyvätkin edelleen.

Maailman monimuotoisuus ilmenee tietysi-  
ti esimerkiksi tähtitieteessä ja geologiassakin,  
mutta se ei niissä ole meille yhtä selvää kuin jo  
kemian ja erityisesti biologian aloilla.

## Emergenssi ja evoluutio

Charles Darwinin teoria luonnon valinnasta eli-  
öiden evoluution selittäjänä on biologisen tut-  
kimuksen olennainen perusta. Mutta rajoittu-  
ko sen perusajatus ”kelpoisimman säilymisestä”  
vain elävää luontoa koskevaksi? Onko se emer-  
gentti lainalaisuus?

Biokemisti Manfred Eigen on työtovereineen  
tutkinut DNA-RNA-proteiinisynthesei-järjestel-  
mää. Bakteriofagit ovat bakteereissa loisina  
eläviä viruksia, jotka sisältävät vain kahdentu-  
vaa ribonukleiinihappoa (RNA) ja proteiineja.  
Eigen (1971) on selostanut puhdistettua RNA:ta  
ja sen raaka-aineita (puriini- ja pyrimidiininu-  
kleotideja ATP, GTP, UTP ja CTP) sisältävissä  
koeputkisarjoissa tehtyjä kokeita ja osoittanut

ne ehdot, joiden vallitessa näissä voi tapahtua  
informaation siirtoa ja sen pysyvää muuttumista,  
ts. evoluutiota. Esimerkiksi olosuhteet, joissa  
bakteeri-isännät puuttuvat, mutta raaka-aineita  
autokatalyysia varten on jatkuvasti saman verran  
saatavilla, johtavat bakteerien infektoimiskyvyn  
menetykseen ja RNA-ketjujen lyhenemiseen,  
mutta samalla autokatalyysin nopeutumiseen.  
Tämän Eigen ja nämä kokeet alun perin tehnyt  
Spiegelman tulkitsevat kelpoisuuden säilyttämi-  
seksi koeputkiolosuhteissa.

Olen aikaisemmassa kirjoituksessani (Lager-  
spetz, 2011) kertonut Eigenin käsityksestä, jonka  
mukaan informaation säilyminen ja siirto alun  
perin liittyvät autokatalyysiin, siis molekyylien  
kahdentumiseen, joka tapahtuu ympäristönsä  
kanssa jatkuvasti ainetta ja energiaa vaihtavassa,  
ja täten itseorganisoi-  
tuvassa järjestelmässä. Informaatiolla on oltava  
ainakin periaatteessa lähetys, välitys tai säilytys  
ja vastaanotto – tämä kuuluu sen määritelmään.  
Se tekee itseorganisoi-  
tuvan järjestelmän evoluution mahdolliseksi.  
Voimme tietysti esittää muitakin tuntemamme  
elämän esiintymisen välttämättömiä ehtoja,  
esimerkiksi veden olon nesteenä.

Monien virusten geenit ja niiden evoluuti-  
ossa toistuvat tapahtumat tunnetaan jo hyvin.  
Taudinaiheuttajat voivat muuntua niitä vastaan  
käytettyä antibioottia tai niiden ehkäisyyn käy-  
tettyä rokotetta sietäväksi eliökannoiksi. Joissain  
tapauksissa voidaan seuraavan influenssapandemian  
aiheuttava virustyyppi ennustaa ja siten varautua  
siihen sopivin rokottein (Portin, 2006).

Evoluution yksittäiset osatapahtumat näyttävät  
siis olevan selitettävissä ja joskus ennustetta-  
vissakin. Evoluution perusta, kelpoisuutta tuotta-  
van informaation säilyminen luonnon valinnan  
kautta on ilmeisesti eräs itseorganisoi-  
tuvien järjestelmien ominaisuus. Silti jokainen  
luonnon evoluutiotapahtuma on *yksilöllinen*, ja  
sillä on siis myös *historiallinen* selityksensä.  
Yleensä meillä ei kuitenkaan ole varmoja tietoja  
menneiden aikojen olosuhteista. Mutta myös  
tähdet, tulivuorenpurkaukset, myrskyt, kivet,  
puut ja ihmiset ovat yksilöitä, joilla kullakin on  
oma historiansa.

Olen edellä, ja myös mainitussa aikaisem-  
massa kirjoituksessani (Lagerspetz, 2011), mai-

ninnut *geenit* eliöiden periytyvän informaation kantajina. Niiden aineellisena perustana ovat nukleiinihapot, DNA ja RNA. Geenit eivät kuitenkaan ole samassa mielessä aineellisia kokonaisuuksia kuin esimerkiksi eliöyksilöt, solut, solujen sisäiset soluelimet ja molekyylit, vaan ne ovat pikemminkin eräänlaisia vaikutusyhteyksiä. Petter Portin (2007) on selvittänyt perusteellisesti geenien luonnetta ja kehittänyt niiden ajanmukaista määritelmää.

Eri geenit määritellään niiden eliössä tuotamien ominaisuuksien perusteella. Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että saman geenin eri osat voivat sijaita eri paikoissa DNA- ketjua useinakin osina ja jopa eri kromosomeisakin. Niillä on usein monia eri vaikutuksia, joiden ilmeneminen riippuu ympäröivästä solusta. Geeni on siis ikään kuin vastaanotettu viesti ja sen vaikutus. Siksi se ei ole osiin jaettavissa oleva kokonaisuus, vaikka olisikin muuten tulkittavissa ja selitettävissä, vaan osa eliöyksilön ilmiänsun eri ominaisuuksien muodostumisen selityksessä – kuten sen vanha edeltäjä, Mendelin ”Anlage” oli hänen jo vuonna 1866 ilmestyneessä tutkimuksessaan.

### **Eliöiden aggregaatiot ja eliöyhteisöt**

Samaan ja eri lajeihin kuuluvat eliöt sijoittuvat paikallisesti mitä moninaisimmista syistä, mutta niiden olinpaikkavaatimukset, aistit ja sosiaaliset suhteet ovat tässä tärkeitä.

Solujen ja eliöyksilöiden välinen raja ei ole ehdoton. Tästä tunnetun esimerkin tarjoaa limasieni, ”sosiaaliset ameebat”, joiden lisääntymistä olen selostanut kirjoituksessani (Lagerspetz, 2011). Eräiden eliöiden kertyminen tiettyille olinpaikoille johtuu niiden ympäristöstä, paitsi olinpaikkatekijöistä myös vastaanotettavissa olevasta kemiallisesta viestinnästä, joka on lähtöisin toisista saman tai eri lajin yksilöistä. Näin selittyy esimerkiksi kala- ja lintuparien ja -parvien muodostus sekä pesänmuodostus. Tässä vaikuttavia tärkeimpiä aisteja ovat näköaisti, kemiallinen aisti ja virtausaisti.

Eläinvalkuaisaineen tuotanto pinta-alaa kohden on suurin osterimatalikoilla. Muun muassa näiden perusteella kieliläinen eläintieteilijä Karl

August Möbius (1825–1908) otti vuonna 1877 käyttöön eliöyhteisön eli biokenoosin käsitteen. Eliöyhteisöjen muodostuminen perustuu lähiasteihin (van de Koppel ym., 2008). Mainittuun osterimatalikkojen biokenoosiin kuuluu vain harvoja lajeja. Ravintona ovat etupäässä meren pikkulevät. Mainittakoon tässä, että Eteläisen Jäämeren krilli-katkojen yhteinen biomassa on suurempi kuin ihmiskunnan ja vaihtuu tietysti paljon nopeammin; se on ravintona Jäämeren valtaville valasmassoille. Eliöyhteisöillä, eikä myöskään usein eläinvaltioiksi kutsutuilla pesäyhteisöillä, ei ole ilmeisesti kuin niiden aisteista riippuvia yhteisiä erillisiä lainalaisuuksia (Gause, 1936; von Bertalanffy, 1951).

### **Aistit ja emergenssi**

Ihmisen aistit vaikuttavat olennaisesti maailmankuvaamme. Immanuel Kant (1724–1804) kiinnitti huomiota siihen, että koska aistit välittävät havaintomme, ne voivat myös rajoittaa tiedon saamista ja asettaa sen aina joidenkin valmiiden kategorioiden mukaiseksi. On selvää, että aistimme ja ajattelumme vaikuttavat kokemuksiimme ja siitä saatuun tietoon.

Vaikka näköaistimme aluetta on jo 1600-luvulla laajennettu mikroskoopin ja teleskoopin avulla, niidenkin antamat kuvat on nähtävä silmin tai havaittava muilla aisteilla. Eräät hyönteiset näkevät ultraviolettia valoa – me emme, mutta me voimme saada sen eri välinein aistiemme ulottuville ja siten havaittavaksemme.

Koiran hajuaisti on monien aineiden osalta ainakin 10 miljoonaa kertaa herkempi kuin ihmisen. Ihmisen kemialliset aistit ovat moniin muihin eläimiin verrattuna vaatimattomat.

Aistimme siis paitsi välittävät, myös karsivat todellisuuden kokemuksiimme sekä laadullisesti että määrällisesti. Kokemustemme mahdollinen tallentuminen meihin tuottaa sekin ongelmia.

Olen aikaisemminkin (1983) esittänyt Hans Drischelin (1972) laskelmia eri aistiemme kautta tulevasta informaatiovuosta. Ihminen pystyy erottamaan toisistaan kuvat, joiden kesto-aika on vähintään 1/16 sekuntia. Tätä nopeammin vaihtuvat kuvat sulautuvat yhteen, kuten elokuvatek-

niikasta tiedämme. Silmän tarkimman näkemisen kohdassa, verkkokalvon keskikuoopassa, voi erottua noin 400 000 kuvapistettä. Niitä näkyy ja erottuu tietysti muuallakin. Värien näkemisessä toimivat 6 miljoonaa tappisolua voivat erottaa noin 160 värisävyä ja noin 250 kirkkausastetta. Verkkokalvon 120 miljoonaa sauvasolua eivät erota värejä, mutta toimivat eri tavoin kussakin valaistuksen noin 32 eri kirkkausasteessa. Drischelin laskelman lopputulos on, että ihmisen verkkokalvolle tulee sekunnissa  $10^{10}$  bittiä selaista informaatiota, joka voi vaikuttaa siihen.

Samaan tapaan voidaan arvioida myös muihin aistinelimiimme vaikuttavan informaation määrä. Se on kuuloaistin osalta noin 50 000 bittiä sekunnissa, kosketusaistin osalta noin 100 000, lämpöaistin 1 000, hajuaistin 100 ja makuuain 10 bittiä sekunnissa. Ihmisen ympäristöstä tuleva informaatiovuoto on siis suurin piirtein  $10^{10}$  bittiä sekunnissa.

Koko tämä valtava informaatiotulva ei tietenkään voi tallentua muistiin, jonka kokonaiskapasiteetti on tosin suurempi kuin yhdenkään kirjaston, eli  $10^{10}$ – $10^{15}$  bitin luokkaa. Muistimme voisi siis täyttyä yhden ainoan elämämme sekunnin aikana aistiemme kautta tulevasta informaatiosta, ellei valikointia tapahtuisi jo aistinelimissä ja keskushermostossa.

Drischelin arvio koskee siis ulkomaailmasta eliöyksilöön tulevan informaation vuota, mutta yksilön sisäisestä tilasta välittyvän informaation määrän täytyy myös olla valtava. Tunnetilat ovat kokonaisuksia (Antonio Damasio 1944–). Niiden aineellisena perustana ovat paitsi ulkoiset myös *sisäiset* säätelyjärjestelmät. Muiden ”tunteminen” on Damasion mukaan alun perin ulkoista tuntemista. Sosiaalinen tietoisuus omasta erillisyydestä kehittyi varhain, mutta vähitellen, osaksi rinnakkain aivojen peilikuvosolujen yhteyksien kanssa (Hyyppä, 2011). Mistä voi tietää, mitkä ovat ulkoisia, mitkä sisäisiä tuntemuksia ja tunteita? Unet ovat reaalisia; niissä sisäiset ja ulkoiset tekijät yhdistyvät. Ne ovat sosiaalisia analogioita – ”toisillakin on unia”. Hahmot ja tunteet ovat kokonaisuksia, jotka tällä hetkellä ovat emergenttisiä.

## Kirjallisuus

- Bergson, H. (1907/1921): *L'évolution créatrice*. 25. éd. F. Alcan, Paris.
- von Bertalanffy, L. (1951): "An outline of general system theory". *Brit. J. Philos. Science* 1, 134–165.
- Broad, C.D. (1925): *The Mind and Its Place in Nature*. Routledge & Kegan Paul, London.
- Castets, V.; Dulos, E. & De Kepper, P. (1990): "Experimental evidence of a sustained standing Turing-type non-equilibrium chemical pattern". *Phys. Rev. Lett.* 64, 2953–6.
- Driesch, H. (1909/1921): *Philosophie des Organischen*. 2. Auflage. W.Engelmann, Leipzig.
- Drischel, H. (1972): *Einführung in die Biokybernetik*. Akademie-Verlag, Berlin.
- Eigen, M. (1971): "Self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules". *Naturwissenschaften* 58, 465–532.
- Enqvist, K. (2007): *Monimutkaisuus. Elävän olemassaolomme perusta*. WSOY, Helsinki.
- Gause, G. F. (1936): "Principles of bioecology". *Quart. Rev. Biol.* 11, 320–336.
- Hyyppä, M. T. (2011): "Elinvoimaa yhteisöstä". *Tieteessä tapahtuu* 29:8, 15–18.
- Kajantie, K. (2009): "Onko olemassa kaiken teoriaa ja jos on, voiko maallikko sen ymmärtää?" *Suomalaisen Tiedeakatemian Vuosikirja 2008*, Helsinki, 8–91.
- van de Koppel, J.; Gascoigne, J. C.; Theraulaz, G.; Rietkerk, M.; Mooij, W. M. & Herman, P. M. J. (2008): "Experimental evidence for spatial self-organization and its emergent effects in mussel bed ecosystems". *Science* 322, 739–742.
- Kuorikoski, J. & Ylikoski, P. (2007): "Emergenssi – mysteeristä tutkimusongelmaksi". *Tiede & Edistys* 32, 297–313.
- Lagerspetz, K. (1983): *Sattumasta säätelyyn: eliöt sopeutuvinä säätelyjärjestelminä*. WSOY, Helsinki.
- Lagerspetz, K. (2011): "Elämä ja informaation alkuperä". *Tieteessä tapahtuu* 29:8, 3–7.
- Nagel, E. (1951): "Mechanistic explanation and organismic biology". *Philos. Phen. Research* 11, 327–338.
- Portin, P. (2008): "Evoluutioteorian kehitys Darwinista nykypäivään". P. Portin & T. Vuorisalo (toim.): *Evoluutio nyt! Charles Darwinin juhlaa*. Kirja-Aurora, Turku, 23–36.
- Portin, P. (2009): "The elusive concept of the gene". *Hereditas* 146, 112–117.
- Rosing, H. (2006): "Emergentism. En alternativ modell för att förklara medvetandet". *Finsk Tidskrift* 259, 112–122.
- Tiensuu, P. (2009): "Filosofian hyödystä ja haitasta tieteen ymmärtämiselle". *Tieteessä tapahtuu* 27:6, 54–56.
- Turing, A. M. (1952): "The chemical basis of morphogenesis". *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* B237, 37–72.

**Kirjoittaja (6.9.1931–17.1.2012) oli Turun yliopiston fysiologisen eläintieteen professori (emeritus).**