

ELÄMÄN AJAT

ELÄMÄ JA HISTORIA

Maapallon elämä on historiallinen ilmiö. Kerran oli aika, jolloin elämää ei ollut. Nyt elämää on. On tuleva aika, jolloin elämää ei enää ole. Tämä luonnon historian jänne määrittää maapallon elämän ajan – siis sellaisen ajanjakson, jota ennen ja jonka jälkeen emme tiedä elämää olleen/olevan olemassakaan.

Maapallon elämän historialla on oma ajallinen kaarensa, mutta olisi harhaanjohtavaa kuvata se yhtenäisenä kehityskulkuna. Elämä on moninaisuus, jota ylläpitävät lukuisat hienovaraisissa muodoissa toteutuvat mekanismit. Erilaisten mekanismien vakiintuminen ja jatkuvuus jäsentävät maapallon elämän pitkää aikajännettä. Elämän mekanismit toteutuvat sitä paitsi toisistaan eriytyneissä aikamittakaavoissa, vaikkakin tietenkin vuorovaikutuksessa keskenään. Toisin sanoen elämän mekanismit ovat kehittyneet toisiinsa nähden eriaikaisesti. Elämän historiaan sisältyy uutuuksia, ”innovaatioita”, jotka ovat ehdollistaneet myöhempiä kehityskulkuja.¹

Inhimillinen kulttuuri on yksi biologisen evoluution tuottamista uutuuksista ja sellaisena sidoksissa elämän olemassaolon

jäsentämään planetaariseen aikaan. Jos maapallolla ei olisi elämää, ei olisi inhimillistä kulttuuriakaan. Mutta kykenemmekö sanomaan jotakin täsmällistä siitä, miten inhimillisten kulttuurien aika sijoittuu maapallon elämän pitkän aikajänteen yhteyteen? Vai pitäisikö sanoa *sisään*? Kysymys koskee inhimillisten kulttuurien perustavia ehtoja ja on siis meidän näkökulmastamme olennainen.

Elämä on ulkoisen energianlähteen – auringon – ylläpitämä energian muuntumisen prosessi. Se on tuottanut maapallolle omanlaatuisensa materiaalsen järjestyksen, jollaista emme tiedä olevan missään muualla. Koko planeetan mittakaavassa elämän yksikkö on *biosfääri*. Termi biosfääri vakiintui vajaat sata vuotta sitten nimitykseksi sille osalle maapallon pintakerrosta, jossa elämää esiintyy.² Biosfäärin muodostuminen on muuttanut olennaisesti maapallon fysikaalis-kemiallisia olosuhteita. Helpoimmin havaittava osoitus tästä on se, että maapallon ilmakehän kaasukoostumus on erittäin kaukana termodynaamisesta tasapainotilasta. Ilmakehässä on kaasuja, kuten vapaa happi, jotka reagoivat herkästi muiden yhdisteiden kanssa ja jotka siis häviäisivät ilmakehästä mikäli jotkut pro-

sessit eivät koko ajan uudistaisi niiden varantoa. Elämän kokonaisuus on voima, joka ylläpitää ilmakehän termodynaamisesti äärimmäisen epästabiliilista koostumusta. Ilmakehän vapaa happi on yhteyttämisprosessin tuote. Myös valtameren kemiallinen koostumus ilmentää elämän prosessien aktiivista roolia maapallon pintakerroksen fysikaalis-kemiallisten olosuhteiden muokkaajana. Maaperä on niin läpeensä elämän muovaama, että se on oikeastaan kokonaisuudessaan elävä olio.³

Aineenvaihdunnan mekanismit määrittävät elämän ilmenemismuotojen toisen keskeisen mittakaavatason. Aineenvaihdunnan välityksellä eliöt saavat ympäristöstä tarvitsemansa energian ja ravinteet sekä ylläpitävät elintoimintojaan. Aineenvaihdunnan perusprosessit ovat samat kautta koko eliökunnan. Tämä ilmentää yhteistä kehityshistoriaa (Fox 1988, Morowitz 1992). Yhteyttäminen on ylivoimaisesti tärkein niistä mekanismeista, joiden välityksellä energia sitoutuu biokemiallisten yhdisteiden sidosenergiaksi. Intensiivinen biokemiallinen sidosenergia varastoituu, muuttaa muotoaan ja tulee kulutetuksi erilaisten organismien elintoiminnoissa.

Elämän aineenvaihdunnan on oltava eristynyt ulkoisen ympäristön fysikaalis-kemiallisista häiriöistä. Elämä on siksi jäsentynyt ympäristöstään selvästi erottuviksi yksiköiksi, organismeiksi. Biofysikko Harold Morowitz (1992) olettaa lähinnä tällä perusteella, että solukalvo on varhaisin biologinen rakenne. Yksittäisten organismien yhteenlaskettu vaikutus tuottaa koko biosfäärin kattavat elintoiminnot.⁴ Ratkaisevassa asemassa ovat yksisoluiset eliöt, jotka ovat hyvin pieniä mutta tavattoman runsaslukuisia. Monisoluiset organismit – kasvit, eläimet ja sienet – ovat suurikokoisia mutta harvalukuisia. Pieneliöiden vaikutus on läpituokea ja ulottuu kaikkialle.⁵ Sen sijaan monisoluiset organismit muuttavat yksilöinä tai ryhminä toimien ympäristöään sellaisessa ekologisessa mittakaavassa, joka sisältyy meidän havaintomaailmaamme. Yhteiskuntia muodostavat ja

pitkäaikaisia pesiä rakentavat sosiaaliset hyönteiset – muurahaiset ja termit – ovat erityisen merkittäviä ekologista organisatiota tuottavia ja ylläpitäviä toimijoita.

Biosfääri rajoittuu maapallolle, mutta koska auringon säteilyenergia on elämän olennainen käyttövoima, maapallon elämä on sidoksissa maapallon ulkopuoliseen astrofysikaaliseen todellisuuteen. Maapallo on myös alttiina astrofysikaalisille katastrofeille, kuten meteoriittien törmäyksille. Aurinko on yksi Linnunradaksi kutsumamme galaksin lukemattomista kiintotähdistä, ja sillä on oma astrofysikaalisen aikamittakaavan historiansa. Astrofysikaalinen näkökulma maapallon elämän historiaan on usein herättänyt kysymyksen, kuinka "todennäköistä" elämän ilmaantuminen maapallolle alun perin oli. Kysymykseen on esitetty toisilleen täysin vastakkaisia vastauksia. Toisen ääripään mukaan elämän kaltainen hienopiirteisesti organisoitunut ilmiö on *a priori* äärimmäisen epätodennäköinen, ja maapallon elämä on niin muodoin erittäin epätodennäköinen ilmiö. Vastakkaisen näkemyksen mukaan elämä ilmentää sen kaltaista voimakkaan energigradientin mahdollistamaa materian itseorganisoidumista, jonka toteutuminen on käytännöllisesti katsoen varmaa soveliaissa olosuhteissa, joskin elämäntilanteiden spesifit muodot voivat vaihdella eri "biosfäreissä".

Vaclav Smil (2002) esittää näkemyksistään tasapainoisen yhteenvedon. Elämän todennäköisyyden laskennalliset arviot ovat kyseenalaisia, koska niiden lähtökohdaksi tarvittavien numeeristen arvojen määrittelemiselle ei ole mitään varsinaista perustetta. Kiinnostavampaa on arvioida sitä, millaisia ulkoisten ehtojen asettamia rajoituksia elämän kehittymisellä on ollut. Olenaiseksi Smil toteaa olosuhteiden vakauden. Vakaus on sidoksissa aikaan. Pitkälle kehittynyt monimuotoinen elämä voi kehittyä ainoastaan osaksi planeetan kattavaa, vakaita fysikaalis-kemiallisia olosuhteita ylläpitävää biosfääriä. Maapallon biosfäärin nykyisenkaltaisen vakauden saa-

vuttaminen on kestänyt useita miljardeja vuosia. On vaikea kuvitella, että tämä voisi missään muualla toteutua olennaisesti nopeammin. Voimme siis päätellä, että monimuotoisen elämän kotiplaneetan on välttämättä sijaittava hyvin vakaassa osassa maailmankaikkeutta – sopivalla etäisyydellä energiaa säteilevästä keskustähdestä, kaukana supernovaräjähdyksistä, suojattuna meteoriittisateilta, ja niin edelleen. Järjestynyt biosfääri on astrofysikaalisessa aikamittakaavassa paljon haavoittuvampi kuin tulemme ajatelleeksi.

AJAN MATERIAALISUUS

Mutta ennen kuin edetään pidemmälle, on tarpeen ottaa esiin perustavampi kysymys: Missä mielessä *ajallisuus* on hedelmällinen näkökulma jäsentäessämme maapallon elämän ehtoja? Mitä aika on?

Lyhyt vastaus ajan ongelmaan: Aika on *ikuinen nyt*. Ainoastaan nykyisyys on todella olemassa. Mennyt on jäänyt taakse, kun taas tulevaisuus on vielä edessä päin. Tämä lyhyt vastaus ei kuitenkaan ratkaise ajan ongelmaa vaan muuntaa sen vain uuteen muotoon. Nykyisyys ei synny joka hetki uudelleen, ikään kuin tyhjästä, vaan menneisyys on nykyisyyden edellytys. Toisaalta nykyisyydessä on tulevaisuus läsnä ikään kuin itumuodossa. Mistä muualta tulevaisuus voisi olla peräisin kuin nykyisyydestä? Ajan jäsentämisen varsinaisen ongelman muodostaa toisin sanoen se, miten menneisyys, nykyisyys ja tulevaisuus nivoutuvat toisiinsa.

Menneisyyden, nykyisyyden ja tulevaisuuden yhteennivoutumisen ydin on siinä, että aika ei ole neutraali absoluuttinen ”tila”, johon tapahtumakulut sijoittuvat, vaan tapahtumakulut tuottavat ajan. Nykyisyys on sellainen kuin on sen vuoksi, että tietyt aiemmat tapahtumakulut ovat edelleen nykyisyydessä vaikuttavina läsnä. Siksi myös tulevaisuus on nykyisyydessä läsnä, nimittäin siihen ajanhetkeen asti, jolloin tällä hetkellä käynnissä olevien tapahtumakulkujen ennustettavuus murenee.

Täysin ennustettavassa maailmassa sekä menneisyys että tulevaisuus olisivat nykyisyyteen pakattuna läsnä täydellisesti. Kaikitietävä demoni (”Laplacen demoni”) kykenisi sellaisessa maailmassa nykypäivästä käsin laskemaan sekä menneisyyden että tulevaisuuden tapahtumat täydellisellä varmuudella.⁶ Maailma ei ole tällä tavoin täydellisesti ennustettavissa ja laskettavissa, mutta ei kuitenkaan myöskään täydellisen ennakoimaton. Aikamittakaavat ovat merkityksellisiä. Mitä lyhyempää ajanjaksoa tarkastelemme, sitä samankaltaisemmalta materiaalin maailma tai mikä tahansa sen osa vaikuttaa ajanjakson alkaessa ja päättyessä. Tapahtumakulkujen vakaus tuottaa ajan jatkuvuuden, tapahtumakulkujen ennakoimattomuus tuottaa ajan muutoksen.

Aikamittakaavojen moninaisuutta voi täsmentää usealla tavalla. Monilla prosesseilla on ensinnäkin niille ominainen palautumisaika, eli prosessit kiertyvät tietyn ajan kuluessa ikään kuin takaisin alkupisteeseensä. Tällöin ulkopuolinen tarkastelija ei huomaa mitään muutosta lainkaan tapahtuneen. Taivaalla kumottava täysikuu esimerkiksi ei itsessään paljasta, missä kuussa ja minä vuonna sitä katsellaan. Toisen aikamittakaavojen tunnistamisen kriteerin tarjoaa materiaalien rakenteiden järjestyksen säilyminen. Kaikki järjestys murenee ajan myötä molekyylien lämpöliikkeen vaikutuksesta ”itsestään”, mutta erilaiset rakenteet poikkeavat tässä suhteessa suuresti toisistaan. Järjestyksen säilymiseen liittyy ennustettavuus: tietty aikamittakaava ulottuu siihen ajanhetkeen, jolloin sitä määrittävän prosessin ennustettavuus murtuu. Niin sanottu kaaosteoria on tuottanut suuren määrän havainnollistuksia tästä ilmiöstä, jonka perustana on kaoottisille prosesseille ominainen tapahtumakulun tavaton herkkyyys alkuarvoille.⁷

Ajan hahmottamista vaikeuttaa se, että menneisyyden, nykyisyyden ja tulevaisuuden suhteet eivät ole suoraviivaisia. Menneisyyden läsnäolo nykyisyydessä on muutuva suure, koska nykyisyyden tapahtumat peittävät siitä osan alleen erilaisin painoin:

joidenkin menneisyyden tapahtumien vaikutus – siis ”läsnäolo” nykyisyyden eteenpäin kiitävässä hetkessä – jatkuu pidempään kuin joidenkin toisten. Menneisyys ja tulevaisuus ovat lisäksi keskenään epäsymmetrisiä siinä erityisessä merkityksessä, että tietty nykyisyyden tapahtuma voi katkaista silmänräpäyksessä tietyn menneisyydessä rakentuneen kehityskulun ja muuttaa tulevaisuuden uudenaikaiseksi. Kuten esimerkiksi: Katolta putoava jäälohkare murskaa kohdalle osuneen jalankulkijan pään, ja hänen läheistensä tulevaisuus, jolle on vuosikymmenten ajan luotu perustaa, muuttuu äkillisesti ja peruuttamattomasti kun hän lakkaa olemasta siinä läsnä. – Mutta ei, eihän siinä näin käynyt! – Jalankulkija kiinnitti hetkeä aikaisemmin huomionsa puiston pihlajassa ruokailevaan tilhiparveen, pysähtyi ja käänsi päätään, ja jääpala murskautui hänen jalkojensa juureen!⁸

Kaoottisten prosessien tutkimus on tuottanut esimerkkejä menneisyyden ja tulevaisuuden epäsymmetrisyydestä. Havainnollinen tapausten tyyppi kiteytyy käsitteeseen ”itseorganisoitunut kritikaalisuus” (*self-organized criticality*). Hyvän materiaallisen mallin tästä ideasta tarjoaa hiekkakeko, johon lisätään vähitellen hiekanjyviä, kunnes keko alkaa sortuilla laidoiltaan. Useimmat sortumat ovat vähäisiä ja vetävät mukaansa vain muutaman hiekanjyvän. Silloin tällöin tapahtuu kuitenkin suuria sortumia, jotka muuttavat koko keon muotoa. Tällainen hiekkakeko on ”itseorganisoituneen kritikaalisuuden” tilassa. Mallilla on kuvattu monia materiaallisen maailman suuren mittakaavan ilmiöitä kuten lumivyöryjä, tulvia ja maanjäristyksiä. Menneisyyden ja tulevaisuuden epäsymmetriaa ilmentää prosessissa se, että hiekkakasan laaja-alaiset sortumat – samoin kuin suuret lumivyöryt tai voimakkaat maanjäristykset – katkaisevat hetkessä pitkään tasaisen kumulatiivisesti jatkuneen kehityksen. Prosessin *symmetria murtuu*.⁹

Täysin ennustettavassa maailmassa menneisyys ja tulevaisuus olisivat keskenään

symmetrisiä, mutta todellisessa maailmassa ne eivät ole. Tämä seikka hankaloittaa ajan mittaamista, sillä mittaaminen edellyttää symmetriaa. Tilan saamme mitatuksi ottamalla mittatikun ja asettamalla sen mittattavan kohteen rinnalle niin monta kertaa perä jälkeen kuin on tarpeen. Arvio kohteen koosta syntyy tuloksena mittauksen toiminnasta. Mittaamisesta ei tulisi mitään, jos asetelma ei olisi symmetrinen eli mittatikku voisi lyhentyä tai pidentyä äkillisesti kesken kaiken.

Ajan ja tilan mittaamisen ero kiteytyy siinä, että aika ei avaudu eteemme paikalleen jähmettyneenä kokonaisuutena samalla tavoin kuin fyysinen tila. Voimme kuitenkin ratkaista ajan mittaamisen ongelman tilan mittaamisen kanssa analogisella tavalla olettamalla, että aika ”eteenee” suoraviivaisesti. Tällöin voimme ”asettaa ajan rinnalle” jonkin mittavälineen, joka pysyy ajanhetkestä toiseen samantapuisena. Sekä tilan että ajan mittaamiseksi tarvitsemme toisin sanoen kiinteän standardin, jonka voimme siirtää muuttumattomana paikasta (ajanhetkestä) toiseen.

Mittakeppiä on osattu käyttää siitä lähtien, kun on osattu rakentaa säännöllisen muotoisia rakennuksia ja erottaa toisistaan täsmälleen tietyn kokoisia ja säännöllisen muotoisia viljelypaloja. Ajan täsmällisen mittaamisen väline sen sijaan kehitettiin vasta uuden ajan alussa. Sen syntyhetken merkittävät Galilei ja heiluri. Galilei tutki kokeellisesti heilurin liikettä ja sai nerokkaan oivalluksen, että heilurin heilahduksen kesto ei riipu heilahtelujen amplitudista eikä riipuksen painosta vaan ainoastaan heilurin varren pituudesta. Kun siis tietyn pituinen heiluri ilmaisee heilahduksillaan vakiomittaisen ajanjakson, siitä voidaan kehittää ajan mittaamisen luotettava mittari. Heiluri on fyysikaalisena objektina ’*oskillaattori*’ (’värähtelijä’). Galilein alkuperäinen oivallus voidaan yleistää: mikä tahansa säännöllinen (eli ’harmoninen’) oskillaattori tarjoaa mahdollisuuden mitata aikaa. (Ekeland 2004.)

Ajan mittaaminen heilurilla muistuttaa

tilan mittaamista mittakepillä siinä mielessä, että ainoastaan käytännön tarpeet sanelevat mittayksikön ja mitattavan kohteen kokosuhteen. Olennaista on, että mittayksikkö voidaan jakaa kuinka pieniksi osiksi tahansa ja että yksiköitä voidaan laskea yhteen ja siten mitata kuinka suuria pituuksia tai pitkiä ajanjaksoja tahansa. Mittaamisen toiminta *homogenisoi* ("tasalaatuistaa") sen, mitä mitataan, tilan ja ajan. Tila ja aika homogenisoituvat tietysti ainoastaan mittaamisen kohteena: ne säilyvät "itsessään" ennallaan, täsmälleen sellaisina kuin ne ovat. Olennaista sen sijaan on, että mittaamisen homogenisoimat tila ja aika sisäistyvät inhimillisiin käytäntöihin. Ne ovat materiaalisia konstruktioita: konstruktioita, jotka ihmiset tuottavat käyttämällä materiaalisia mittavälineitä mittaamisen materiaalisessa toiminnassa.

Millainen on mittaamisen homogenisoiman tilan ja todellisen tilan, ja mittaamisen homogenisoiman ajan ja todellisen ajan keskinäinen suhde? Nykyisin tiedämme, että pituuksia mitatessamme konstruktion ja mitatun kohteen väliseen suhteeseen sisältyy kiusallista epämääräisyyttä. Tämän seikan on osoittanut Benoit Mandelbrotin kehittämä fraktaaligeometria. Epämääräisyys syntyy siitä, että mikään mittaamamme kohde ei tosiasiaassa ole täysin sileä. Mittaamisen lopputulos riippuu siksi mittavälineen pituudesta. Esimerkiksi arvio tietyn rantaviivan pituudesta on sitä suurempi mitä lyhyempää mittatikkua käytämme, koska lyhyt mittatikku ottaa huomioon sellaisia rantaviivan muodon epäsäännöllisyyksiä, jotka pidempi mittatikku ylittää huomaamatta. Rantaviiva ei siis ole homogeeninen mittatikun pituuden suhteen. Jos mittatikku olisi niin lyhyt, että se ottaisi huomioon jokaisen hiekanmurusen epäsäännöllisen muodon, rantaviivan pituus kasvaisi kohti ääretöntä.¹⁰

Liittykö aikaan samankaltaista epähomogeenisuutta kuin tilaan? Ajan epätaisaisuutta ja huokoisuutta meidän on vaikea hahmottaa. Olennainen syy tähän on se, että Galilein ja heilurin tuottama homo-

geeninen aika ("absoluuttinen aika") sai postulaatin aseman Newtonin jälkeisessä fysiikassa. Lisäksi kaikki tekniset järjestelmät toimivat homogeenisessa ajassa. Niiden toimintamekanismit tosin perustuvat värähtelijöihin, mutta värähtelijät ovat niin nopeasyklisiä, että niiden jatkuvasti samanlaisena toistuva liike muuttaa ajan pienten perusyksiköiden tasaisesti eteneväksi seuraannoksi.¹¹ Lisäksi yhteiskunnallisten käytäntöjen aika on kytketty lineaarisiiin mittavälineisiin kuten kelloon ja kalenteriin.¹²

Fysiikan piirissä absoluuttisen ajan idea murtui 1800-luvun lopulla.¹³ Tarinan ytimessä on modernin yhteiskunnan teknistaloudellisen ja suurvaltapolitiittisen kehityksen tuottama tarve kyetä synkronoimaan aika eri paikkakunnilla maailmanlaajuisesti. Ajan synkronoiminen nousi merkittäväksi käytännölliseksi ongelmaksi, kun valtameripurjehdus aiheutti tarpeen määrittää laivan sijainti avomerellä. Leveyspiirin – siis etäisyyden päiväntasaajasta – voi määrittää riittävän tarkasti pitäen perustana tähtien, erityisesti Pohjantähden tai Etelän ristin sijaintia yötaivaalla sekä auringon korkeutta horisonttiin nähden keskipäivällä. Pituuspiirin määrittäminen sen sijaan edellyttää, että keskipäivän hetki laivan sijaintipaikalla kyetään suhteuttamaan johonkin kiinteään kellonaikaan mantereella. Laivalla tarvitaan tarkkuuskello, joka näyttää mantereen aikaa ja johon laivan sijaintipaikan paikallista aikaa voidaan koko ajan verrata. Jos esimerkiksi laivalla oleva kello näyttää kahta iltapäivällä silloin, kun aurinko on korkeimmillaan, havainnointipaikka on kaksi pituuspiiriä standardipaikkakunnan länsipuolella. Laivan aika ja mantereen aika voidaan periaatteessa synkronoida keskenään rakentamalla kaksi kelloa, jotka näyttävät täsmälleen samaa aikaa ja joista toinen on mantereella paikallaan ja toista kuljetetaan laivan mukana. Ratkaisu on kuitenkin käytännössä äärimmäisen vaikea toteuttaa, koska laivalla oleva kello on alttiina merenkäynnin ja säätötilan vaihtelun aiheuttamille

häiriöille.

Käytännössä eri kellojen samanaikaisuus voidaan varmistaa ainoastaan käyttämällä apuna signaalia, joka synkronoi niiden käynnin. Synkronoiva signaali luo kellojen välille aineellisen suhteen. Sen tuloksena syntyy samanaikaisuus: sellainen ”nyt”, joka on täsmälleen sama kahdessa (tai useammassa) eri paikassa. Kellojen synkronointi on materiaallinen tehtävä, jota ei ole mahdollista toteuttaa ilman aikaa mittaavien kellojen välistä materiaalista vuorovaikutusta. Ennen lennättimen aikakautta laivakellojen ja mantereen referenssikellojen luotettavasta synkronoinnista voitiin ainoastaan uneksia, huolimatta taitavien kellonvalmistajien ponnisteluista; 1700-luvulla vaikuttanut John Harrison on heistä erityisen maineikas.¹⁴

Miten synkronoinnissa otetaan huomioon se, että signaalin välittyminen on myös itsessään materiaallinen tapahtumakulku ja vie siksi oman aikansa? Helppo juttu: selvitetään signaalin välittymiseen kuluva aika ottaen huomioon kellojen keskinäinen välimatka ja sisällytetään kellojen synkronointiin vastaava muunnos. Sähkömagneettiset signaalit sitä paitsi etenevät niin nopeasti, että synkronoinnista ei paikallisesti synny minkäänlaisia käytännöllisiä ongelmia. Maapallonlaajuisesti ajan synkronointi ratkaistiin perustamalla 24 aikavyöhykettä ja sopimalla, että standardina on Lontoossa sijaitsevan Greenwichin observatorion pituuspiiri.¹⁵

Selväpiirteiseltä vaikuttavan asetelman ytimestä paljastuu kuitenkin ristiriita, kun synkronointia koetetaan soveltaa kelloihin, jotka ovat toisiinsa nähden liikkeessä. Ongelma syntyy siitä, että valo muodostaa nopeimman mahdollisen signaalin ja valon nopeus on vakio. Kun toisiinsa nähden liikkuvien kellojen nopeusero kasvavaa riittävän suureksi, yksinkertaista lineaarista muunnosta ei enää voi suorittaa.

Einstein jatkoi tutkimustaan ajan käsitteestä tähän suuntaan ja kehitti erityisen suhteellisuusteorian sekä sen jatkoksi yleisen suhteellisuusteorian. Molemmilla teo-

rioilla on käytännöllistä merkitystä maailmanlaajuisen samanaikaisuuden täsmälliselle määrittelylle. Galison (2003, 287–289) antaa tästä esimerkin. Maailmanlaajuisen paikannusjärjestelmä GPS (*Global Positioning System*) rakentuu satelliittien ja maan pinnalla olevien signaali-asemien muodostamasta verkostosta. Signaalien synkronoiminen satelliittien ja maa-asemien välillä edellyttää erityisen suhteellisuusteorian mukaista korjausta siksi, että satelliitit liikkuvat nopeammin kuin maapallon pinnalla sijaitsevat asemat, ja yleisen suhteellisuusteorian mukaista korjausta siksi, että gravitaatiokenttä on satelliittien korkeudella heikompi kuin maan pinnalla. Edellinen korjaus on suuruudeltaan 7 sekunnin miljoonasosaa vuorokaudessa ja jälkimmäinen 45 sekunnin miljoonasosaa vuorokaudessa. Virheet vaikuttavat keskenään vastakkaisiin suuntiin, joten korjaustarpeeksi muodostuu 38 sekunnin miljoonasosaa vuorokaudessa. Mikäli tätä korjausta ei tehtäisi, GPS-järjestelmän paikannustarkkuuteen syntyisi vuorokaudessa lähes kymmenen kilometrin virhe.

Ajan perustana on samanaikaisuus. Samanaikaisuus on materiaalista. Aika on sidoksissa tapahtumiin, ja tapahtumien luonne määrää ajan luonteen. Tässä nimenomaisessa mielessä aika on rinnastettavissa tilaan. Sekä ajan että tilan jäsentämisen perustava ongelma on määrittellä, mitkä tapahtumat sijoittuvat samaan aikaan ja tilaan. Kun tiedämme, mikä on samaa, kykenemme tunnistamaan ja tutki-
maan eroja.

Tila vaikuttaa yksinkertaiselta käsitteeltä, mikäli pelkistämme sen euklidisen geometrian mukaisiksi homogeenisiksi rakenteiksi. Aika vaikuttaa yksinkertaiselta käsitteeltä, mikäli pelkistämme sen heilurikellon mittaamaksi vakiopituisten ajanjaksojen homogeeniseksi seuraannoksi. Todellisessa maailmassa tila on kuitenkin jäsentynyt fraktaalisen geometrian mukaisesti. Myös ajassa on tilan fraktaalimaiseen rakenteeseen rinnasteista epätasaisuutta ja huokoisuutta, sillä tasaisesti sykkivän hei-

lurin heilahdusten ”sisään” voi jäädä lyhyessä aikamittakaavassa ilmenevää epätasaisuutta. Se on heilurin heilahduksiin nähden merkityksetöntä aivan samoin kuin rantaviivan hiekanjyvästen muoto on metrin mittaiseen mittatikkuihin nähden merkityksetöntä.

AJAN RYTMIT

Lukuisat erilaiset, hyvin lyhyissä ajallisissa mittakaavoissa värähtelevät oskillaattorit ylläpitävät elämää. Oskillaattoreiden mekanismit ovat fysiikkaa. Oskillaattoreiden jäsentyminen yhteen soluissa ja organismeissa on biologialla.

Voidaan esittää useanlaisia fysikaalisia perusteita sille, että aineenvaihdunnan perusprosessien on välttämättä oltava erittäin nopeita.¹⁶ Ensinnäkin aineenvaihdunnan käyttövoimana olevat energian muunnosprosessit tapahtuvat usein sellaisten välivaiheiden kautta, jotka ovat erittäin epästabiileja. Niihin sitoutunut energia on kyetävä ”kaappaamaan talteen” vakaampaan muotoon äärimmäisen nopeasti. Esimerkiksi yhteyttämisen – fotosynteesin – perustana on fotosähköinen reaktio: tietyn energiatason omaavat fotonit voivat aktiivoida vastaanottajamolekyylissä yksittäisiä elektroneja yksi kerrallaan korkeammalle energeettiselle tasolle. Elektronien virittymiseen tallentunut energia on kaapattava muualle ennen kuin virittynyt elektroni palautuu takaisin perustasolle. Prosessin ominainen aikamittakaava on sekunnin kymmenesmiljoonasosa. Prosessi on ilmeisesti syklinen. Sen palautumisaika on niin lyhyt, että kasvavan kasvin fysiologiaan yhteyttämisen nopeat syklit tuottavat biokemiallisen energian tasaisen virran, jonka intensiteetti vaihtelee valaistuksen mukaan.¹⁷

Kaikki biologiset makromolekyylit ovat epästabiileja. Ne hajoavat itsestään, kun ne lämpöliikkeen värähtäminä törmäilevät jatkuvasti ympärillään oleviin, yhtä lailla väriseviin molekyyleihin. Kaikki kehossa olevat yhdisteet on siksi uusittava koko

ajan nopeassa tempossa; esimerkiksi normaalipainoisen ihmisen kehon proteiineista hajoaa lähes 10% vuorokaudessa. Molekyylit kulkeutuvat soluissa sekä energiaa kuluttavien liikeproteiinien että passiivisen diffuusion¹⁸ vaikutuksesta. Elävässä solussa molekyyliden kulkeutumisen täsmälleen oikeisiin paikkoihin tekee mahdolliseksi se, että biologiset makromolekyylit ovat laskostuneet kolmiulotteisiksi yksiköiksi. Molekyylit voivat kuitenkin kulkeutua tarvittavan täsmällisesti vain hyvin lyhyitä etäisyyksiä. Molekyyliden liikkeiden välttämätön tarkkuus asettaa elävän solun koolle ylärajan.

Myös biokemiallisen sidosenegian mahdollisimman tehokas hyödyntäminen johtaa siihen, että solun energeettisten prosessien aika-tila-mittakaava on hyvin pieni ja nopea. Biokemiallisen sidosenegian hyödyntäminen on tehokkainta, kun se tapahtuu molekylaarisella tasolla mahdollisimman vähäisinä askelina. Koko solun ja organismin tasolla energetiikka on siis sitä tehokkaampaa, mitä pienemmiksi ja tarkemmiksi osaprosesseiksi se on hajautunut.¹⁹

Solu on perusyksikkö, jonka sisällä elämää ylläpitävien oskillaattoreiden rytmit synkronoituvat. Biofyysikko Arthur T. Winfree (1980) kuvasi synkronoitumista ilmauksella ”biologisen ajan geometria”. Ilmaus viittaa siihen, että fysiologian perusprosessit muodostuvat toisiaan seuraavien biokemiallisten reaktioiden ketjuista, jotka ovat täsmällisesti jäsentyneet solun rajamassassa tilassa. Koska prosessit ovat syklisiä, niiden tuottamaa kokonaisuutta ei voi kuvata säännöllisen euklidisen geometrian staattisin termein. Tärkeät ja jatkuvasti toistuvat molekylaariset kehäliikkeet ikään kuin avaavat itselleen oman tilansa solun sisään. Samassa solussa on koko ajan käynnissä valtava määrä aineenvaihdunnallisia prosesseja, joiden on nivouduttava saumattomasti toisiinsa. Tila ja aika kietoutuvat toistensa lomaan – tai, kuten biokeemisti Benno Hess (1968) asian ilmaisi, *aika muuttuu tilaksi*: lyhyessä aikamitta-

kaavassa tapahtuvat aineenvaihdunnan perusprosessit ylläpitävät pidemmässä aikamittakaavassa jäsentynyttä, moniulotteista geometriaa.

Biologisen ajan geometria muodostuu toisiinsa kietoutuvien prosessien dynaamisesti muuttuvana kokonaisuutena. Prosessit saavat käyttövoimansa solun ulkopuolelta, ja organismin elintoiminnot ylläpitävät solun elinvoimaista tilaa. Tällaista itseään vahvistavien prosessien dynamiikkaa kuvataan usein teknisellä termillä 'kehämäinen kausaalisuus' (*circular causality*) (Haila & Dyke 2006); Winfree käyttää termiä 'kehämäinen logiikka' (*circular logic*). Syy ja seuraus vaihtavat prosessien ketjussa toistuvasti keskinäistä suhdettaan.

Toisiinsa synkronoituneiden kehäliikkeiden tuloksena koko organismin toimintakyky uusiutuu jatkuvasti niin nopeita rytmejä noudattaen, että organismin fysiologian tasolla syntyy "pysyvä tila" (*steady state*). Erityisen tärkeä elintoimintoja synkronoiva mekanismi on niin sanottu sisäinen kello, jonka tuloksena elimistöön muodostuu sisäinen vuorokausirytmii (eli "sirkadiaanirytmii"). Sirkadiaanirytmii on todennettu myös yksisoluisilla eliöillä. Me monisoluiset eläimet koemme sirkadiaanirytmii sisäisesti virkeyden ja väsymystilan jaksotaisena vuorotteluna. Tuntuu, kuin koko elimistö olisi osallisena tuohon rytmiin. – Ja niin se itse asiassa onkin: elimistön sisäiset rytmiset prosessit kuten solujen jakautuminen noudattavat sirkadiaanirytmiiä.

Monisoluisilla eliöillä kehon eri osien elintoimintoja koordinoivat vuorokausirytmii lisäksi informaation välittymisen järjestelmät kuten hermosto ja hormonit. Tasalämpöisillä ("lämminverisillä") organismeilla fysiologiaa kokoaa yhteen erityisen tärkeänä tekijänä sydämen tasainen syke. Kaikki koordinaatiomekanismit perustuvat kehämäisiin uusiutumissykleihin. Sykleillä on kullekin ominaiset aikamittakaavansa, jotka koko organismin tasolla sovittuvat yhteen.²⁰

Orgaanisten oskillaattoreiden ylläpitämän ajan kehämäistä luonnetta on vaikea

hahmottaa. Voimme luoda sille analogian kuvittelemalla olion, joka kokee elintilansa kaksikulotteiseksi mutta elää pallon pinnalla. Kuvitelkaamme edelleen, että tuo olio päättää tutkia maailmansa avaruutta käyttäen apunaan mittakeppiä. Se alkaa edetä suoraviivaisesti lähtöpisteestään eteenpäin ja mittaa kulkemaansa etäisyyttä. Aikansa mitattuaan olio saapuu takaisin lähtöpisteeseensä ja joutuu täysin ymmälle: pitkän suoraviivaisen taivalluksen jälkeen sen etäisyys lähtöpisteestä on yhtäkkiä nolla! Ongelma tietenkin ratkeaa helposti, kun sijoittamme olion litteän maailman osaksi pallon kolmiulotteista maailmaa.

Vastaavalla tavalla solun kehämäisesti toteutuvat biokemialliset prosessit kiertyvät takaisin lähtöpisteeseensä. Prosessit tarvitsevat tuekseen energiatalouden, jonka voimin lukuisat kehäliikkeet voivat jatkuvasti uusiutua. Energian muuntumisen tuottama jäsentymisen tuottaa monikulotteisen todellisuuden, jossa toisiinsa nivoutuvat jatkuvat kehäliikkeet tulevat mahdollisiksi. Pysyvä geometria syntyy siitä, että kehäliikkeet nivoutuvat toisiinsa rajatussa tilassa, solun sisällä. *Rajattu tila* on rajoite, jonka ansiosta solun sisäiset rytmit voivat jäsentyä itseään uusintavaksi monikulotteiseksi geometriaksi.

Myös fysikaalisissa systeemeissä esiintyy itseään vahvistavia kehäliikkeitä, mutta ne eivät vakaudu solun aika-tila-geometrian tavoin. Ilmakehän liikkeet tarjoavat hyviä esimerkkejä. Ukkospilvi syntyy, kun lämmin ja kostea, ympäröivää ilmassaa kevyempi ilma kohoaa ylöspäin ja ilman kosteus tiivistyy pisaroiksi. Veden tiivistyminen vapauttaa lämpöä, joten kohoava ilma "ruokkii itseään". Ilmavirtaus synnyttää pumpulimaisen kumpupilven, jonka muodon tuottaa kohoavan ilmassan turbulenssi. Turbulenssin vaikutuksesta pilvi rakentuu samaa muotoa "kaskadimaisesti" toistavaksi pyörteilyksi, dynaamiseksi fraktaaliksi (Mandelbrot 1983). Ilmakehän turbulenssi ei kuitenkaan kierry itseään toistavaksi kehäliikkeeksi solun sisäisten biokemiallisten prosessien tavoin,

vaan pilveä ylöspäin ajava energia hajaantuu ympäröivään ilmassaan, ja pilvi hälvenee.²¹

Aistimusten, hermoston ja lihaksiston toimintojen yhteensovittaminen tuottaa monisoluisten organismien elintoimintojen koordinaatiolle erityisiä ongelmia. Koska kaikki signaalit elimistössä etenevät äärellisellä nopeudella, elimistön monien rytmien synkronoiminen on luonteeltaan samantyyppinen ongelma kuin GPS-järjestelmän synkronoiminen. Elimistön eri osista keskushermostoon tulevat signaalit sekä keskushermostosta elimistön eri osiin lähtevät signaalit on saatava sovitetuiksi samaan aikaan. Organismien olisi muuten mahdotonta toteuttaa koordinoituja liikkeitä. Tarve sovittaa signaalien nopeudet yhteen heijastuu hermoston anatomiaan. Hermosignaalien nopeus on suoraan verrannollinen hermosäikeen läpimittaan, joka vaihtelee elimistön eri osissa sillä tavoin, että liikkeiden koordinaatio toteutuu.²²

Signaalinopeuden äärellisyys aiheuttaa rajoitteita sille, kuinka nopeasti hermoston ja lihaksiston toiminta on mahdollista sovittaa yhteen. Toistuvien liikkeiden kuten pianon soiton suurin mahdollinen taajuus on noin 10–12 iskua sekunnissa. Tämän nopeampaan suoritukseen ihmiselimistö ei kykene. (Llinás 2001.)

AJAN VAKAUS

Organismi pysyy lyhyitä ajanjaksoja ulkoisesti vakaana. Vakaus on tulos siitä, että kehämäisesti toistuvat elintoiminnon synkronoituvat kokonaisuudeksi organismin sisällä. Organismien vakauden perusta on *elintoimintojen samanaikaisuus*.

Elintoimintojen synkronoinnin – samanaikaisuuden – vaatimus ei koske vain organismien ”sisäisiä” prosesseja vaan myös organismien suhteita välittömään ympäristöönsä. Elämän rajapinnat, solukalvot, ovat aineenvaihdunnallisia. Solukalvot ovat aktiivisesti ylläpidettyjä ja valikoivasti läpäiseviä. Aineenvaihdunta tapahtuu koko ajan rajapintojen läpi. Siksi elävä organismi

muuttaa elintoiminnoillaan ympäristöään koko ajan automaattisesti, pelkällä olemassaolollaan. Aineenvaihdunnan ylläpitämisen vuorovaikutuksen seurauksena organismit ja niiden välitön ympäristö jäsentyvät omanlaatuisekseen tilaksi, jota jatkuva aineenvaihdunta pitää yllä. Termi ’tila’ kattaa tässä yhteydessä sanan molemmat merkitykset: sekä tilan ”avaruutena” että tilan ”tilanteena”. Fysiologinen organismi–ympäristö-tila pysyy vakaana täsmälleen niin kauan kuin aineenvaihdunta jatkuu. Kun aineenvaihdunta lakkaa, organismi–ympäristö-tila haipuu pois kuin poutapäivän kumpupilvi viilenevään iltaan.

Organismi on aktiivinen osapuoli suhteessaan ympäristöönsä. Organismi pyrkii säilyttämään elämänsä olosuhteet mahdollisimman vakaina, kun taas ympäristön vaihtelu sekä ajassa että tilassa uhkaa organismi–ympäristö-tilan vakautta. Kyky liikkua parantaa olennaisesti organismien edellytyksiä vakauttaa olemassaolonsa olosuhteita. Liikkuva organismi voi hakeutua pois epäsuotuisasta ympäristöstä kohti suotuisampaa. Myös pysyvästi samalla sijalla elävät organismit kuten kasvit ”käyttäytyvät” kasvattamalla lehtiään, versojaan ja juuriaan valikoidusti tiettyihin suuntiin (Scott 2008).

Muisti on edellytys sille, että organismit voivat omilla liikkeillään vakauttaa elinolosuhteitaan. Jotta vakauttaminen onnistuisi, organismien on kyettävä erottamaan toisistaan olosuhteet hetki sitten ja olosuhteet nyt. Muisti säilyttää hetki sitten vallinneet olosuhteet tämänhetkisten olosuhteiden rinnalla. Kaikilla vapaasti liikkuvilla eliöillä, jopa tumattomilla bakteereilla, on solun fysiologiassa toteutuva muisti, joka kytkee tilan ja ajan materiaalisesti toisiinsa: solu erottaa hetki sitten pienen matkan päässä vallinneet olosuhteet tässä ja nyt vallitsevista olosuhteista (Harold 2001). Suolistobakteeri *Escherichia coli* liikkuu kerrallaan noin kolmekymmentä kertaa oman pituutensa yhteen suuntaan ja monitoroi koko ajan ympäröiviä olosuhteita, sen jälkeen se pysähtyy ja kääntyy uuteen

suuntaan, mikäli tähän on tarvetta. Tällä pyrähtelevällä aktiivisuudellaan bakteeri voittaa nestemäisessä ympäristössään konsentraatioeroja tasoittavan diffuusion vaikutuksen ja kykenee aktiivisesti hakeutumaan aiempaa suotuisampaan ympäristöön (Nelson 2004, 178–179).

Bakteeri saalistaa ympäristöstään ravintomolekyylejä. Hiukan suurikokoisemmat yksisoluiset (”protoktistat”) saalistavat bakteereita. Erilaiset saalistaja–saalis-suhteet ilmaantuivat elolliseen maailmaan luultavasti jokseenkin välittömästi ensimmäisten organismien ilmaantumisen myötä. Elolliset oliot, jotka ovat eristyneinä fyysikaalis-kemiallisesta ympäristöstään solukalvon sisään, ovat liian houkuttelevia ravintopalleroita jäädäkseen hyödyntämättä. Saalistaja–saalis-suhteen kaltaiset erilaisten organismien keskinäiset vuorovaikutukset luovat maapallon materiaaliseen todellisuuteen ekologista rakennetta. Saalistajat ajavat takaa, saaliit pakenevat. Saalistajan ja saaliin suhteen ratkaiseva kysymys (voisi sanoa: ”kuolemanlinja”) on samanaikaisuus: saalistaja koettaa päästä saaliinsa kanssa samaan aikaan samaan paikkaan, saalis koettaa sen välttää. Tästä tietenkin seuraa, että saalistaja on saaliin ympäristössä koko ajan *potentiaalisesti* läsnä. Lajien väliset materiaaliset vuorovaikutukset luovat ekologista rakennetta eräänlaisten potentiaalisten voimakenttien tavoin. Varpushaukan pesimäpiirille epäonnekseen asettuneiden peippojen ja rastaiden on oltava perillä varpushaukka-saalistajan potentiaalisesta läsnäolosta kaiken aikaa!

Aktiivinen liikkuminen asettaa organismille suurempia vaatimuksia kuin vain kyetä vertaamaan toisiinsa (lähi)menneisyyttä ja nykyisyyttä. Liikkuva olio on kullakin ajan hetkellä oikeastaan jo läsnä tulevaisuudessa, siellä minne se omien liikkeidensä seurauksena hetken päästä joutuu. Aktiivinen liikkuminen edellyttää kykyä *ennakoida*. Ennakointi tarkoittaa sitä, että tulevaisuus muuttuu osaksi nykyisyyttä – sitä realistisemmin (todenmukaisemmin), mitä luotettavammin ennakointi

onnistuu.²³ Ennakointi on mahdollista siksi, että tiettyjen materiaalisen maailman piirteiden osalta menneisyys ja tulevaisuus ovat keskenään symmetrisiä – nimittäin jossakin tiettyssä aikamittakaavassa. Organismien kyky ennakoita tarkoittaa siis myös sitä, että se kykenee erottamaan omalta kannaltaan merkitykselliset ympäristön piirteet vähemmän merkityksellisistä. Se keskittyy edellisiin ja jättää jälkimmäiset huomiotta.

Ympäristöolojen ennakointi muuttuu organismin kannalta huomattavasti luotettavammaksi, mikäli se kykenee aktiivisesti tuottamaan itselleen soveliasta ympäristöä. Tähän kykenevät mitä moninaisimmat organismit: erilaiset pesärakennelmat, joiden avulla organismit tuottavat jälkeläisilleen vakaan ja suotuisan kasvuympäristön, tarjoutuvat esimerkeiksi. Pesä vaikuttaa ajan, koska se vakauttaa tilan – paikallisesti ja joksikin aikaa. Pesässä menneisyys ja tulevaisuus ovat symmetrisiä: pesä, jonka eilen teit, on vielä huomenna ehjä ja tarjoaa suojaa kuten eilenkin.

Aivot ovat kehittyneet ennakkoinnin elimeksi (Llinás 2001, Buzsáki 2006). Aivojen tueksi ovat kehittyneet aistit, jotka rekisteröivät etäisyydeltä organismin ulkopuolista todellisuutta: näkö, kuulo, haju, osittain myös tunto. Kuten Rodolfo Llinás (2001) korostaa, aivojen ja aistinelinten kehittyminen yhä tehokkaammaksi kokonaisuudeksi on samalla tuottanut paradoksaaliselta vaikuttavan tuloksen: organismin suhde ympäristöönsä on *yksinkertaistunut*. Organismi ei mitenkään voi kiinnittää aktiivisesti huomiota kaiken aikaa kaikkeen. Sen on valittava, mitä ympäristön lukemattomista koko ajan muuttuvista piirteistä se rekisteröi. Koska kaikki tilanteet ovat yksityiskohdissaan ainutkertaisia, organismin on kategorisoitava, luokiteltava havaintoja ryhmiiksi, reagoitava ympäristöstään kokoamiinsa havaintoihin tyyppinä eikä vain yksittäisinä ja ainutkertaisina tilanteina. Organismit lukevat ja tulkitsevat ympäristönsä merkkejä.²⁴

Muisti on ennakoimisen ja yksinkertais-

tamisen edellytys. Muisti on materiaallinen. Muisti sijaitsee ajassa, se sitoo menneisyyden ja tulevaisuuden yhteen nykyisyydessä. Konkreettisiin tapahtumakulkuihin sisältyvä muisti on rinnastettavissa psykologiseen (mentaaliseen) muistiin, sillä myös mentaalisesti ilmenevällä muistilla on fyysinen perusta. Keskushermoston dynamiikka toimii siten, että aiempien tapahtumien jättämät muistijäljet vaikuttavat myöhempien tapahtumien tuottamiin aistimuksiin ja havaintoihin ja muuntavat niitä. Muistijäljet ovat läsnä tässä ja nyt ja vaikuttavat tapahtumien kulkuun. Muisti tuottaa vakautta: merkitykselliset tapahtumat erottuvat merkityksettömistä. Erityisen merkityksellisiä ympäristön piirteitä rekisteröidään ja tulkitaan merkkien välityksellä. Tästä perustaltaan biologisesta prosessista on kasvanut esiin inhimillinen, kieleen sidottu kyky tuottaa symbolisesti merkittyjä maailmoja (Deacon 1997).

Menneisyyden olennaiset tapahtumat voivat olla muistissa läsnä niin voimakkaina, että nykyisyys ikään kuin kiertyy niiden ympärille. Aivojen muistijäljet ja ulkoisen maailman objektit ja rakenteet, jotka ajautuvat resonanssiin noiden muistijälkien kanssa, ovat sidoksissa toisiinsa.²⁵ Kyky kokea aika on organismien perustava ominaisuus, joka rakentuu siitä, että jokaisen organismin elintoiminnot luovat sille ominaisen, vakaana pysyvän ajan.

Inhimillisessä todellisuudessa aikaa vaikuttavat olennaisesti artefaktit. Artefaktit kantavat muistia, joka on kollektiivista. Kuten antropologi André Leroi-Gourhan (1993) toteaa, muistin ulkoistuminen ja muuttuminen yhteisöllisesti jaetuksi on olennainen inhimillisen kulttuurin kehityksen piirre. Erityisen tärkeän murroksen muodosti kirjoitetun kielen vakiintuminen osana pysyvien yhdyskuntien ja kaupunkien kehitystä; tässä yhteydessä aiheen yksityiskohtaisempi käsittely on kuitenkin mahdotonta.

Inhimillinen yhteisöllisyys edellyttää toimintojen samanaikaisuutta. Kulttuuriset ajat ovat vakauden ja järjestyksen turvaamiseksi

si luotuja konstruktioita. Tämän kehityksen alkupisteessä läntisessä maailmassa ovat Cleisthenes ja Ateena noin vuonna 510 eaa (Lévêque & Vidal-Naquet 1996). Kuten antiikin kaupunkivaltioiden historioitsijat ovat Fustel de Coulangesista lähtien korostaneet, varhainen *polis* jäsenyi perustamisrituaalien, maanmittauksen geometrian, elinkeinojen, kuten maatalouden, sekä poliittisen ja uskonnollisen järjestelmän yhteensovittumisen tuloksena elämään omaa yhtenäistä aikaansa (tästä kompleksista ks. Haila 2008b). Caesar vakiinnutti lopullisesti sekularisoituneen kalenterin länsimaiden ajanlaskun perustaksi (”juliaaninen kalenteri”).

AJAN SYKLIT

Elämän ajan vakaus on tilapäistä. Organismi elää oman aikansa, sen jälkeen se kuolee pois. Elämän pitkää aikaa kantaa sukupolvien kierto.

Erilaisten organismien sukupolvet seuraavat toisiaan moninaisin tavoin. Yhden ääripään muodostavat jakautumalla jatkuvasti lisääntyvät yksisoluiset organismit, toisen satoja vuosia elävät puut, jotka tuottavat siemeniä vuosittain, sikäli kuin olosuhteet ovat suotuisat. Sukupolvien seuraannon edellytys on, että seuraavaan sukupolveen syntyy suunnilleen sama määrä yksilöitä kuin mitä kuului edelliseen sukupolveen. On kuitenkin lukuisia syitä siihen, että sukupolvien vaihtuminen ei voi toteutua siistin suoraviivaisesti.

Sukupolvien välistä aikaa kantavat populaatiot. Populaatioiden yksilömäärät vaihtelevat ajassa, toiset säännöllisemmin, toiset satunnaisemmin. Populaation kasvun perustana on yksilöiden lisääntymisteho. Jälkeläistuoton maksimaalinen teho on lajikohtainen ominaisuus, joka on muovautunut biologisen evoluution vaikutuksesta ja vaihtelee jossakin määrin systemaattisesti erityyppisten organismien välillä. Tosiasiallisesti toteutuva jälkeläistuotto riippuu kuitenkin aina välittömistä ympäristöolosuhteista, esimerkiksi yksilöiden

saaman ravinnon määrästä. Lisäksi lisääntyvien yksilöiden määrään vaikuttavat ulkoiset tekijät, kuten saalistus.

Ympäristön olosuhteet vaihtelevat osittain säännöllisesti, osittain satunnaisesti. Vuodenaikaisuus tuo vaihteluun säännöllisyyttä. Kaikkien korkeilla leveysasteilla elävien lajien on kyettävä selviämään talvesta; kuivien kausien ja sadekausien vaihtelu asettaa vastaavanlaisen haasteen monien trooppisten ja lauhkeiden vyöhykkeiden asukeille. Satunnaisuutta ympäristöoloihin tuottaa erityisesti säätilan vaihtelu. Sen ansiosta lisääntymisolot vaihtelevat eri vuosien välillä suuresti. Vaihtelu on lisäksi eri lajien kohdalla eritahtista. Populaatioiden runsausvaihtelut toteutuvat kehäliikkeinä. Vuodenaikaisuus on itsessään kehäliike, jota populaatioiden lisääntymisrytmit noudattavat.

Aikaviive on dynaamisesti tärkeä, runsausvaihtelujen syklistä kehämäisyyttä voimistava tekijä. Yksinkertainen mekanismi on niin sanottu ”maternaalivaikutus” (*maternal effect*), eli se, että lisääntyvän naaraan fysiologinen kunto välittyy seuraavaan sukupolveen: hyväkuntoisen naaraan jälkeläiset ovat fysiologisesti vahvoja, huonokuntoisen naaraan jälkeläiset ovat sen sijaan heikkokuntoisempia. Maternaalivaikutus tuottaa populaatioiden lisääntymiseen eräänlaisen muistin, jonka välityksellä nyt elävien yksilöiden fysiologiassa on edellisen sukupolven naaraiden fysiologinen kunto ikään kuin sisäistyneenä. Aikaviiveet populaatioiden vuorovaikutuksissa lisäävät syklisyyden todennäköisyyttä.²⁶

Ympäristö muuttuu pidemmässä aikamittakaavassa niin sanotun ekologisen sukkession myötä. Sukkessiota tapahtuu jokaisen ekologisen häiriön jälkeen: myrskyn kaatama tai kulon polttama metsä kasvaa ennalleen, maanvyörymän paljastama vuorenrinne saa uudelleen kasvipeitteen, tulvan paljastama hietikko peittyi ruohostoon, ja niin edelleen. Jokaisella sukkession alaisella paikalla siis olosuhteet tiettyjen lajien kannalta vaihtelevat säännöllisen syklisesti. Sukkession aika-

mittakaava vaihtelee vuosista vuosikymmeniin.

Epälineaarisen dynamiikan muutaman viimeisen vuosikymmenen aikana kehittyneet käsitteistö on olennaisesti lisännyt kykyämme analysoida eritasoisten ja -laatuisten syklien keskinäisiä suhteita. Synkronoituminen on olennainen prosessi. Ekologisessa mittakaavassa synkronoitumista vahvistaa erityisesti vuodenaikaisuus. Myös ekologinen sukkessio tuottaa osaltaan kehämäisiä uusiutumisen kehityskulkuja, joita syntyy useassa eri aikamittakaavassa toteutuvien tapahtumakulkujen vuorovaikutuksista. Esimerkiksi metsän palautuminen kulon, myrskyn tai hakkuun paljastamalle alueelle koostuu itse asiassa lukuisista erilaisista prosesseista, jotka nivoutuvat yhteen. Näennäisen tasaisesti etenevä puuston kasvu tuottaa monien organismien elinoloihin hyppäyksellisiä muutoksia. Kun paljastunut maa saa kasvipeitteen, maan pinnan olosuhteet viilenevät; kun latvusto umpeutuu, valaistus vähenee ruohostokerroksessa; ja niin edelleen. Kehämäiset uusiutumiskierrot ja niiden ominaiset palautumisajat muodostavat keskeisen osan ekologisten vuorovaikutusten heuristiikkaa (Dyke 1997).

Inhimillinen kulttuuri on kautta aikojen seurannut tiiviisti elämän ajan syklejä. Vuodenaikaisuus on määrittänyt toimeentulon kiertoa, kuten se edelleen määrittää suurelle osalle ihmiskuntaa. Talous on ollut syklistä niin kauan kuin talous on ylimalkaan ollut mahdollista käsittää omaksi ilmiöalueekseen. Koska inhimillinen talous on sidoksissa materiaaliin uusiutumisprosesseihin, on mahdotonta, että se voisi olla pidempiä aikoja ”pysyvässä tilassa” (eli ”stationaarinen”), tasapainoisuudesta puhumattakaan. Olemassa olevien rakenteiden uusimiseen sisältyvä aikaviive riittää murtamaan tasapainon ja tuottamaan syklisyyttä (Dyke 1994).

Yhteiskuntien aineellisen perustan turvaaminen on ollut myös suuremmissa mittakaavassa ongelmallista kautta aikojen. Tämän osoittavat kompleksien yhteis-

kuntien romahdukset, joita on tapahtunut huomattavasti useammin kuin helposti tullemme ajatelleeksi. Edward Gibbonin 1700-luvulla julkaiseman perusteoksen jälkeen Länsi-Rooman perikato on ollut paradigmaattinen esimerkki romahduksesta; tuoreita yhteenvetoja ovat Tainter (1988) ja Diamond (2005). Romahduksiin on vaikuttanut lukuisia erilaisia tekijöitä, mitään yhtä suurta selitystä niille ei ole. Koska jokainen kompleksi yhteiskunta on ollut yksityiskohdiltaan ainutkertainen, myös jokaisen yhteiskunnan kohtalo on muotoutunut ainutlaatuiseksi. Tainter (1988) esittää kuitenkin oletuksen, että monien romahdusten yhteiseksi piirteeksi nousee *rajatuoton aleneminen*. Kompleksin yhteiskunnan ”romahdus” on tästä näkökulmasta eräänlainen korjausliike, jonka jälkeen yhteiskunta ei enää kykene investoimaan institutionaalisten rakenteiden sekä poliittis-hallinnollisen ja sotilaallisen kiinteyden ylläpitoon yhtä paljon kuin aikaisemmin.

Yhteiskunnan romahduksessa on tavalla tai toisella kyse toimeentulon perustan murenemisestä. Perustan mureneminen ei välttämättä ilmene koko yhteiskunnan kattavasti kerralla. Pienemmässä mittakaavassa ”romahdus” on luonteeltaan ekososiaalinen (Haila 2008a). Tietyn toimeentulon käytäntö voi hävitä, kun luontoperustan heikkeneminen murentaa sen sosiaalis-taloudellisen perustan. Ekososiaalisista romahduksista löydämme helposti esimerkkejä, vieläpä pelottavan suuren määrän: kalakantojen tuhoutuminen liiallisen kalastuksen seurauksena; maaperän tuottokyvyn aleneminen voimakkaan muokkauksen aiheuttaman eroosion seurauksena; maaperän suolapitoisuuden kohoaminen huonosti toteutetun keinokastelun seurauksena; ja niin edelleen.

Biosfääri on maapallon elinvoimaisuutta ylläpitävä energieettinen kone, mutta sen ”koneisto”, kunkinhetkinen massa, on itse asiassa hätkähdyttävän pienimuotoinen. Smil (2002, 194) esittää tästä laskelman: maapallon maa-alueiden käsittämä

kasvibiomassa kuiva-aineena tasaiseksi kerrokseksi levitettyinä tuottaisi maapallon eijäätynneille osille yhden senttimetrin paksuisen kerroksen; valtamerten levien kasvibiomassa lisäksi kerroksen paksuutta 0.03 millimetrillä.²⁷

Ajassa ja tilassa ilmenevät syklit on usein jäsennetty hierarkkisesti eri tasoiksi, joiden on oletettu olevan tavallaan sisäkkäisiä toisiinsa nähden.²⁸ Tasojen erottaminen toisistaan on hyvä alustava malli, joka auttaa pitämään mittakaavat erillään toisistaan. Se johtaa kuitenkin helposti liian mekaaniseen eri tasojen erottamiseen toisistaan ja hävittää näkyvistä eri mittakaavatasojen synkronoitumisen (Dyke 1988). Eräänlaisen käytännöllisen kriteerin sille, milloin tasot on dynaamisesti perusteltua pitää erillään, tarjoaa osaprosessien ja kokonaisuuden yksilöllisyys. Onko ukkospilvi ”yksi” vai ”monta”? Vastaus tähän kysymykseen riippuu siitä, tarkastellaanko ukkospilveä yhtenä nousevan lämpimän ilmapvirtauksen tuottamana kokonaisuutena vai virtausten aiheuttamia ilmapyörteitä ja niiden turbulenssia toisistaan erillisinä prosesseina. Molemmat näkökulmat ovat periaatteessa mahdollisia. Käytännön seuraustensa näkökulmasta ukkosmyrsky on kuitenkin ”yksi”, sitä ilmeisemmin mitä voimakkaampi se on. Hurrikaanit ovat voimakkaita, trooppisten merten lämpöenergian tuottamia ukkosmyrskyjä, jotka erotetaan toisistaan ja yksilöidään antamalla niille erisnimi. New Orleansin tuhoi syyskuussa 2005 hurrikaani Katrina.²⁹

Voimakkaat syklit yksilöllistyvät ja alkavat hallita piiriinsä sisältyvää aikaa. Arkinen kielenkäyttömme on perillä tästä seikasta. Onhan esimerkiksi luontevaa sanoa, että kiireisten työviikkojen kierteessä meillä ”ei ole aikaa” toipumiseen; tai että liian tiuhaan toistuvan hakkuukierron puristuksessa metsämaalla ”ei ole aikaa” palautumiseen; ja niin edelleen.

ELÄMÄ JA TULEVAISUUS

Maapallon aika on läpeensä elämän leimaamaa. Kun elämä maapallolta loppuu, maapallon aika muuttuu muuksi.

Millaista olisi vuodenaikaisuus Marsissa? Millaista olisi vuodenaikaisuus Maassa, jos Maassa ei olisi biosfääriä? Voisimme saada tällaisista tilanteista alustavan käsitteksen laskeutumalla autotalliin ja tuijottamalla muutaman kuukauden ajan betoniseinää ovea vastapäätä. Valaistus vaihtelee, mikään muu ei.

Miksi elämä sitten loppuisi maapallolta? Maapallon olosuhteet, jotka tekevät elämän mahdolliseksi, ovat auringon ylläpitämiä. Aurinko on omaa kehityskaartaan noudattava kiintotähti. Auringon säteilyn voimakkuus on hiljalleen kasvanut siitä lähtien, kun olosuhteet maapallon pinnalla vakautuivat noin neljä miljardia vuotta sitten. Auringon säteily on peräisin fuusioreaktioista, joiden seurauksena vetyatomit (protonit) yhtyvät heliumiksi, ja prosessi vapauttaa intensiivistä säteilyenergiaa. Auringon kaltaisen tähden kehityskaareen kuuluu, että se kuluttaa vähitellen energiavarantonsa loppuun ja alkaa laajentua, jolloin lämpötila maapallon etäisyydellä olevalla planeetalla kohoaa dramaattisesti. Sen jälkeen, kun valtameret ovat kiehuneet kuiviin, elämä meidän tuntemassamme muodossa häviää. (Smil 2002.)

Tähän tapahtumakulkuun on vielä jäljellä puolisen miljardia vuotta. Sen ei siis tarvitse herättää meissä vähintäkään hätää. Meillä on sen sijaan läheisempiä huolenaiheita. Ihmiskunta on ilmi selvästi osa Maan elämää. Elämme Maan elämän aikaa. Ei voi vallita vähäisintäkään epäilystä siitä, että ihmiskunta on ratkaisevassa asemassa maapallon elämän määrittäjänä tässä hetkessä sekä läheisessä tulevaisuudessa.

Elämä on vakauttanut maapallon sellaiseen muotoon, että me emme helposti huomaa vakauden säilymisen rajoja. Vakkaassa ajassa ja tilassa, jonka ihmiskunnan materiaaliset menestykset ovat tuottaneet, melkein mikä tahansa tuntuu mahdollisel-

ta, mutta tosiasiaassa ihmiskunnan riippuvuudet maapallon elämän ajasta ovat tiivistyneet. ”Rajan” idea Rooman klubin lähes neljäkymmentä vuotta sitten esittämässä muodossa ei tuo riippuvuuksia kunnolla esiin. ”Raja” on samanaikaisesti sekä liian salliva että liian tiukka (Haila & Dyke 2006): ”Raja” on liian tiukka, koska inhimillinen elintila maapallolla ei jäsenyikään kuin säiliöksi, joka vähitellen voidaan ammentaa tyhjäksi. Osuvampi vertauskuva on uusiutumiskiertojen kimara, johon ihmiskunta voi osallistua uusiutumisen ylläpitäjänä lukemattomien muiden lajien tavoin. ”Raja” on toisaalta liian salliva, koska monet riippuvuuksistamme ovat laadullisesti täsmälleen määrittyneitä eikä niitä voi helposti pelkistää määrällisiksi arvioiksi. Riippuvuudet tulevat nykyisin ilmi yhä terävämpinä useilla eri mittakaavatasoilla samanaikaisesti, lääketieteellisestä teknologiasta ilmaston muutokseen.³⁰ Emme ole kunnolla perillä siitä, mitkä riippuvuuksista ovat erityisen haavoittuvia.

Tulevaisuus rakentuu nykyhetkessä, niistä aineksista, jotka nykyhetki tarjoaa. Elämän aika, siis maapallon elollinen luonto, on otettava vakavasti. Inhimilliset yhteiskunnat ovat tosiasiaassa harjoittaneet ”luontopolitiikkaa” kautta aikojen.³¹ Luontopolitiikka käsittää kaksi ulottuvuutta: Luonnon suhteen on tehtävä konkreettisia valintoja: missä viljellään mitä ja kuinka paljon, ja niin edelleen. Lisäksi on oltava perillä siitä, että valinnoilla on seurauksia sekä välittömästi että pitkällä aikavälillä: säilyttääkö maa viljavuutensa ja millä ehdoilla, ja niin edelleen. Valistuneen luontopolitiikan tueksi tarvitaan valistunut ”luonnon politiikka”: keskustelu, pohdinta ja väittely käsitteellisellä tasolla siitä, miten inhimillinen kulttuuri nivoutuu muun luonnon osaksi.

Olen esittänyt tässä kirjoituksessa koko joukon tosiasiaväittämiä elämän ja ajan luonteesta. Kun pyrimme luomaan kokonaiskuvaa elämän ajasta maapallolla, muu kuin ontologinen näkökulma olisi itse asiaansa outo. Kaikki kunnia omenien putoilulle,

tykinkuulien lennolle ja muille newtonilaisen fysiikan hallitsemille ilmiöille, mutta elämä on loppujen lopuksi maailman materiaalisista ilmiöistä meitä kokemuksellisesti kaikkein lähimpänä. Elämä on sisälämme. Alussa ei ollut sana. Alussa oli elintoiminto, sitten seurasi teko, ja sanan aika koitti vasta useita maailmankausia myöhemmin. Sanalla ja erityisesti symbolisiin merkityksiin perustuvalla kielellä on toki lähihistoriallemme ja siis läheiselle tulevaisuudellemme olennainen merkitys. Sanan – symboleihin perustuvan kielitaidon – tuotti ennakoimisen tarve.

Tulevaisuus on huomenna tänään, mutta tänään se on sekä huominen että ennakkointiin perustuva projektio. Sana on tehnyt meille mahdolliseksi siirtää tietyn tyyppinen tulevaisuus osaksi nykypäivää

täysin ainutlaatuisella voimalla kaikkiin muihin lajeihin verrattuna. Tulevaisuus on inhimillisessä sfäärissä poliittisen määrittelyn ja kamppailun kohde. Kamppailua käydään siitä, millaisen tulevaisuuden tietynlainen toiminta avaa, mikä on toiminnan avaaman tulevaisuuden ajallinen horisontti ja millaisia tulevaisuuksia tietynlainen toiminta sulkee pois. Siis traagisista valinnoista, nitzscheläisittäin.

Symbolisesti jäsentynyt todellisuus tekee mahdolliseksi tehdä valintoja, jotka syövät oman perustansa, vieläpä tavalla, jonka pitäisi olla kaikille näkösellä. Pyramidihuijaus tai katteettomien luottojen paketointi eteenpäin ketjutettavaksi voi jatkua siihen hetkeen asti, jolloin kehityskulun uusiutumiskyvyn puute jotenkin tulee ilmi. Sitten seuraava askel jää ottamatta.

v i i t t e e t

1. Taloushistoriaan sovellettu termi 'polkuriippuvuus' soveltuu myös elämän kehityskulun kuvaamiseen. Evoluutiivisesta uutuudesta ks. esimerkiksi Maynard Smith & Szathmáry (1998).
2. Vaclav Smil (2002) esittää kattavan yhteenvendon biosfääri-idean historiasta sekä biosfääriä koskevasta nykyisestä käsityksestä.
3. "Gaia" on James Lovelockin (1979) kehittämä osittain metaforinen näkemys, jonka mukaan elämä on takaisinkytkentämekanismien välityksellä jopa säädellyt maapallon olosuhteita. Hänen näkemyksensä lähtökohtana oli nimenomaan havainto, että maapallon ilmakehä on koostumukseltaan hyvin kaukana termodynaamisesta tasapainotilasta ja poikkeaa tässä suhteessa olennaisesti Marsin tai Venuksen kaasukehästä. Elämän ratkaisevasta vaikutuksesta kemiallisten alkuaineiden ja yhdisteiden jakautumaan maapallon pintakerroksessa ks. Sterner & Elser (2002).
4. Maapallonlaajuisia elintoimintoja ovat erityisesti niin sanotut biogeokemialliset kierrot eli geofysikaalisten ja biologisten prosessien yhteisvaikutuksesta tapahtuva alkuaineiden säännöllinen kierto orgaanisten ja epäorgaanisten varantojen välillä.
5. Mikrobiologi Lynn Margulis on pieneliöiden merkitystä korostavan näkemyksen pioneeri; hän käyttää yksisoluisien tumallisten organismien moninaisesta joukosta nimitystä "protoktistat" (*protocists*) (Margulis & Sagan 1997). Protoktistat ovat evoluutiivisesti erittäin monipuolinen ja kehittynyt ryhmä. Vielä 1970-luvulla evoluution yleisesityksissä heijastui oletamus, että evoluutio olisi ollut jotenkin kummallisesti "pysähdyksissä" yksisoluisien eliöiden vakiintumisesta monisoluisien syntyyn. Tämä on osoittautunut harhakäsitykseksi. Yksisoluiset organismit muokkasivat tuona ajanjaksona kattavasti ja läpitukevasti koko maapallon fysikaalis-kemiallisia olosuhteita ja kehittyivät evoluutiivisesti prosessin osana. Monisoluiset organismit ilmaantuivat katettuun pöytäan. Tärkein edellytys monisoluisen elämänmuotojen vakiintumiselle oli hengittämisen edellyttämän vapaan hapen kertyminen ilmakehään. "Protoktistoja" on kaikkialla: esimerkiksi ihmisen elimistössä on yksisoluisia eliöitä kertaluokkaa enemmän kuin soluja. Niillä on ratkaiseva merkitys esimerkiksi ruoansulatukselle; ruoansulatuskanavamme monimuotoinen pieneliöstö on yhtä lailla osa biosfääriä kuin osa meitä itseämme. (Turner 2007.)
6. Kaikkitietävän demonin mahdollisuuteen kiteytyvän kuvitelman maailman täydellisestä deterministisyydestä esitti matemaati-

- tikko Pierre Simon de Laplace (1740–1827) newtonilaisen fysiikan menestysten innoittamana. Prigogine & Stengers (1984) on kuvitelmaa kritikoiva moderni klassikko.
7. Fortuna-peli tarjoaa hyvän mallin siitä, mitä herkkyyks alkuarvoille merkitsee. Samanlaisella alkusysäyksellä matkaan lähetettyjen kuulien liikeradat erkaantuvat toisistaan tietyssä pelilaudan vyöhykkeessä. Sen pidemmälle kuulan liikerata ei ole alkusysäyksen perusteella ennustettavissa. Lorentz (1993) esittää ennustettavuuden murtumisesta havainnollisia esimerkkejä; hyvä suomenkielinen johdatus on Ekeland (1989).
 8. Kuten Ivar Ekeland (2004) hienosti osoittaa, tämänkaltaiset tapahtumakulut eivät pelkisty kahden ”toisistaan riippumattoman kausaaliketjun” leikkauspisteeksi, kuten filosofian oppikirjoissa on ollut tapana esittää. Tapauksen taustalla ei nimittäin ole mitään suoraviivaisia kausaaliketjuja.
 9. Termin *self-organized criticality* otti käyttöön tanskalainen fyysikko Per Bak (1996); kirjallisuutta aiheesta on runsaasti. Ideaa on sovellettu myös markkinaheilahteluiden kuvaamiseen, ks. Sornette (2003). Symmetrian murtuminen viittaa jonkin prosessin kullussa tapahtuvaan äkilliseen murrokseen, jonka seurauksena systeemin aiempi tila ja myöhempi tila eivät enää ole matemaattisesti symmetrisiä keskenään. Symmetrian murtuminen voi ilmetä esimerkiksi siten, että homogeeniseen, geometrisesti jäsenytyneeseen tilaan ilmaantuu jonkin muutosprosessin vaikutuksesta sisäistä rakennetta; ajassa symmetrian murtumista ilmentää palautumaton muutos (ks. Nicolis & Prigogine 1989).
 10. Rantaviivaesimerkin julkaisi Mandelbrotin mukaan englantilainen meteorologi ja ilmakehän dynamiikan tutkimuksen uranuurtaja Lewis F. Richardson vuonna 1961, mutta se jäi alun perin huomiotta; ks. Mandelbrot (1983).
 11. Esimerkkejä? – Sähkölaitteet: vaihtovirta; höyrykone ja polttomoottori: männän edestakainen liike sylinterissä; laptop, jolla kirjoitan tätä tekstiä: 2.4 gigahertzin taajuudella värähtelevä prosessori; ja niin edelleen.
 12. Kellon ilmaiseman ajan perustana on vuorokauden mittainen oskillaattori eli maapallon pyörimisliike, ja kalenterin perustana on vuoden mittainen oskillaattori eli maapallon liike auringon ympäri, mutta kello ja kalenteri osoittavat toistensa perään asetettuja samanmittaisia ajanjaksoja, tunteja ja vuoro-
- kausia. Tämä linearisoitu aika jäsentää nykyisin elämäkäytäntöjämme.
 13. Peter Galison (2003) esittää mestarillisen yhteenvedon murrokseen liittyneistä tapahtumakuluista. Hän ottaa tarinansa lähitökohtadaksi kaksi kehitykseen olennaisesti vaikuttanutta fyysikkoo, Henri Poincarén ja Albert Einsteinin; Poincaré oli yhtä tutkijasukupolvea vanhempi kuin Einstein. Molemmat antoivat olennaisen panoksen ajan synkronoinnin käytännöllisten ongelmien ratkaisemiseen: Poincaré oli kaivosinsinööri ja geodeetikko – sekä 1800-luvun lopun merkittävin matemaatikko ja astrofyysikko; Einstein oli tarkkuusinstrumenttien tarkastaja Bernin patenttitoimistossa – sekä 1900-luvun merkittävin fyysikko.
 14. Ks. Galison (2003). John Harrisonin urasta on runsaasti kirjallisuutta.
 15. Lopullisesti aikavyöhykkeistä ja Greenwichin standardista saavutettiin yhteisymmärrys vasta 20. vuosisadan alussa; Ranska liittyi sopimukseen vuonna 1911. Galison (2003) esittelee prosessiin liittyneitä suurvaltapolitiittisia arvovaltaakiistoja.
 16. Nelson (2004) on erinomainen oppikirjaksi jäsennetty yleisesitys fysiikan ja biologian välialueesta.
 17. Kasvien on tietenkin aktiivisesti ylläpidettävä oman aineenvaihduntansa – soluhengityksensä – välityksellä viherhiukkasten potentiaalia kaapata talteen auringon fotonien energia. Kirjallisuutta aiheesta on runsaasti; oma apuneuvoni on ollut Hall & Rao (1999).
 18. Diffuusio on molekyylien suuntautunutta liikettä kemiallisen konsentraatioeron tuottamassa eräänlaisessa ”voimakentässä”. Diffuusion seurauksena konsentraatioero tasaantuu.
 19. Nelson (2004, 214–216) esittää tälle yleisperiaatteelle selväpiirteisen fysikaalisen perustelun. Yleisesti tärkeä seikka on, että vaikka elämä on termodynaaminen prosessi, organismeissa toteutuvan aineenvaihdunnan kokonaistehoa ei voi johtaa termodynamiikan perusteista. Termodynamiikan toinen pääsääntö on eräänlainen ”mahdottomuuslaki”: se ilmaisee, että ikiliikkuja on mahdoton, mutta ei anna perustetta ennustaa täsmällisesti, mikä energian muuntumisen monista mahdollisuuksista toteutuu tietyssä tilanteessa. Aineenvaihdunnan mekanismit ovat muotoutuneet evoluutiohistorian kuluessa, joten niihin pätee lisäksi polku-

- riippuvuuden periaate.
20. Hermoston toiminta on oskillaattoreiden värähtelyä kauttaaltaan. Eritajuisten värähtelyjen synkronoituminen tuottaa hermostojärjestelmän yhtenäisyyden – hermoston värähtelyjen vilinä synkronoituu *samaan aikaan* (Buzsáki 2006).
 21. Onkin itse asiassa ymmärrettävää, että ilmakehän dynamiikan tutkimuksen uranuurtaja Lewis Richardson innostui tutkimaan rantaviivojen pituuksia erimittaisia mittayksiköitä käyttäen (ks. viite 10). Turbulenssin tuottama kumpuileva pilvi muodostuma on ajassa muutuva fraktaali, kun taas rantaviiva on tilaan jähmettynyt fraktaali.
 22. Aivofysiologi Rodolfo Llinás (2001, 122) luonnehtii tätä seuraavasti: ”Luonto kiinnittää samanaikaisuuden ongelmaan erittäin suurta huomiota ja näkee huomattavan vaivan virittääkseen signaalien välitysnopeudet sellaisiksi, että synkronia tulee turvatuksi.”
 23. Llinás (2001) perustelee ennakkoinnin tarpeen vakuuttavasti. Ennakointi on läsnä organismien hermoston fysiologiassa: laboratoriokeihin on osoitettu, että juoksevan rotan aivot ovat itse asiassa puoli askelta rotan todellisen sijaintipaikan *edellä* (Buzsáki 2006); siis (lähi)tulevaisuus on rotan aivoissa läsnä *kirjaimellisesti*.
 24. Tästä oivalluksesta on kasvanut esiin uusi tutkimusala, biosemiotikka. Tutkimusalan klassikko on virolais-saksalainen Jacob von Uexküll (1864–1944). Uexküll käytti termiä *Umwelt* kuvaamaan jokaisen organismin kokemaa subjektiivista, aika-tila-spesifiä ympäristöä, jonka merkityksellisiä piirteitä organismi rekisteröi ja tulkitsee. Tarton yliopistossa, Uexküllin opinahjossa, vaikuttaa vahva biosemiotiikan koulukunta.
 25. Termi ”resonanssi” on tässä aiheellista tulkita kirjaimellisesti: sekä aivoissa tapahtuvat tulkintaprosessit että ulkomaailmaa koskevien aistihavaintojen välittyminen toteutuvat hermoston oskillaattoreiden värähtelynä, jota ylläpitää organismin oma aktiivisuus. James J. Gibsonin perustama ’ekologisen psykologian’ tutkimusperinne rakentuu sille oivallukselle, että havainnointi on aktiivista toimintaa.
 26. Ginzburg & Colyvan (2004) rinnastavat matemaalivaikutuksen tuottaman aikaviiveen mekaanisen liikkeen hitausvoimaan (inertiaan). Se, että saalistaja-saalis-suhteisiin sisältyvä aikaviive johtaa populaatioiden sykliseen kannanvaihteluun, on yksi teoreettisen populaatiobiologian klassisista tuloksista ja periytyy 1920-luvulle.
 27. Biosfäärin käsittämän kasvibiomassan kokonaismääräksi voidaan arvioida 500–800 gigatonnia hiiltä; hiili on laskelmissa yleisesti käytetty yksikkö, koska sen suhteellinen osuus erityyppisissä eloperäisissä aineksissa on lähes vakio. Laskelma merkitsee käytännössä muun muassa sitä, että nykyisen fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan energiatalouden siirtäminen biopolttoaineiden varaan on sula mahdottomuus; biosfäärin energeettisistä taseista ks. Smil (2008).
 28. Evoluutiota ja elämän organisoitumista koskeva niin sanottu hierarkiäteoria muodostui 1980-luvulla, sen juuret ovat biologis-peräisessä systeemiteoriassa; ks. esimerkiksi Salthe (1985).
 29. Myös tieteellisinä objekteina hurrikaanit ovat yksilöitä. Olisi periaatteessa mahdollista arvioida kehitymässä olevan hurrikaanin tuleva reitti tietokonemallilla, johon on syötetty riittävän kattavasti tiedot ilmanpaineen, tuulten, lämpötilan, kosteuden ja muiden muuttujien vaihtelusta, mutta laskenta vaatii niin suurta laskentatehoa, että hurrikaani on jo maissa ennen kuin ennuste valmistuu. Hurrikaanien reittejä ennakkoidaan siis tilastollisesti pitäen aiempien hurrikaanien toteutuneita reittejä havaintoaineistona.
 30. Chuck Dyke on painottanut tätä sinänsä ilmeistä seikkaa kirjeenvaihdossamme.
 31. Haila (2008b); olen termin ’luontopolitiikka’ velkaa Jarno Valkoselle (Valkonen 2003).

KIRJALLISUUS

- Bak, Per (1996). *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*. Springer, New York.
- Buzsáki, György (2006). *Rhythms of the Brain*. Oxford University Press, Oxford.
- Deacon, Terrence W. (1997). *The Symbolic Species. The Co-evolution of Language and the Brain*. New York: Norton.
- Diamond, Jared (2005). *Romahdus: Miten yhteiskunnat päättävät tuhoutua tai menestyä*. Terra Cognita, Helsinki.
- Dyke, Chuck (1988). *The Evolutionary Dy-*

- namics of Complex Systems. A Study in Biosocial Complexity.* New York: Oxford University Press
- Dyke, Chuck (1994). The World Around Us and How We Make It: Human Ecology as Human Artefact. *Advances in Human Ecology*, 3: 1–22
- Dyke, Chuck (1997). The Heuristics of Ecological Interactions. *Advances in Human Ecology*, 6: 49–74.
- Ekeland, Ivar (1989). *Ennakoimattoman matematiikka.* Art House, Helsinki.
- Ekeland, Ivar (2004). *Paras mahdollisista maailmoista. Matematiikka ja kohtalo.* Art House, Helsinki.
- Fox, Ronald (1988). *Energy and the Evolution of Life.* W. H. Freeman, San Francisco.
- Galison, Peter (2003). *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps. Empires of Time.* Norton, New York.
- Ginzburg, Lev & Mark Colyvan (2004). *Ecological Orbits. How Planets Move and Populations Grow.* Oxford University Press, Oxford.
- Haila, Yrjö (2008a). Claiming a Space. *Framework, The Finnish Art Review*, 8 (April '08), 26–29.
- Haila, Yrjö (2008b). Kaupunki luonnonmuodostumana. *Yhdyskuntasuunnittelu* 1(2008), 6–23.
- Haila, Yrjö & Chuck Dyke (2006). What to Say about "Nature's Speech"? Teoksessa Haila, Y. & Dyke C. (toim.) *How Nature Speaks. The Dynamics of the Human Ecological Condition.* Durham, NC. Duke University Press. 1–48.
- Hall, David O. & Krishna K. Rao (1999). *Photosynthesis.* Sixth edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Harold, Franklin M. (2001). *The Way of the Cell. Molecules, Organisms and the Order of Life.* Oxford University Press, Oxford.
- Hess, Benno (1968). Biochemical Regulation. Teoksessa M. D. Mesarovic (toim.) *Systems Theory and Biology.* New York: Springer-Verlag, 88–114.
- Leroi-Gourhan, André (1993). *Gesture and Speech.* The MIT Press, Cambridge, Ma.
- Lévêque, Pierre & Pierre Vidal-Naquet (1996). *Cleisthenes the Athenian. An Essay on the Representation of Space and Time in Greek Political Thought from the End of the Sixth Century to the Death of Plato.* Humanities Press, Atlantic Highlands, NJ.
- Llinás, Rodolfo (2001). *I of the Vortex. From Neurons to Self.* MIT Press, Cambridge, Ma.
- Lorentz, Edward (1993). *The Essence of Chaos.* University of Washington Press, Seattle.
- Lovelock, James E. (1979). *Gaia: A New Look at Life on Earth.* Oxford University Press, Oxford.
- Mandelbrot, Benoit B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature.* W.H. Freeman, New York.
- Maynard Smith, John & Eörs Szathmáry (1998). *The Major Transitions in Evolution.* Oxford University Press, Oxford.
- Margulis Lynn & Dorion Sagan (1997). *Slanted Truths. Essays on Gaia, Symbiosis and Evolution.* Copernicus, Springer-Verlag, New York.
- Morowitz, Harold J. (1992). *Beginnings of Cellular Life. Metabolism Recapitulates Biogenesis.* Yale University Press, New Haven.
- Nelson, Philip (2004). *Biological Physics. Energy, Information, Life.* W.H. Freeman, New York.
- Nicolis, Grégoire & Ilya Prigogine (1989). *Exploring Complexity. An Introduction.* W.H. Freeman, New York.
- Prigogine, Ilya & Isabelle Stengers (1984). *Order out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature.* Bantam Books, New York.
- Salthe, Stanley N. (1985). *Evolving Hierarchical Systems.* Columbia University Press, New York.
- Scott, P. (2008). *Physiology and Behaviour of Plants.* John Wiley & Sons, Chichester.
- Smil, Vaclav (2002). *The Earth's Biosphere. Evolution, Dynamics, and Change.* Cambridge, MA. MIT Press.
- Smil, Vaclav (2008). *Energy in Nature and Society. General Energetics of Complex Systems.* Cambridge, MA. MIT Press.
- Sornette, Didier (2003). *Why Stock Markets Crash. Critical Events in Complex Financial Systems.* Princeton University Press, Princeton.
- Tainter, Joseph A. (1988) *The Collapse of Complex Societies.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Turner, J. Scott (2007). *The Tinkerer's Accomplice. How Design Emerges from Life Itself.* Harvard University Press, Cambridge, Ma.
- Valkonen, Jarno (2003). *Lapin luontopolitiikka. Analyysi vuosien 1946–2000 julkisesta keskustelusta.* Tampere University Press, Tampere.
- Winfree, Arthur T. 1980. *The Geometry of Biological Time.* Springer, New York.