

MITEN/MIKSI KOKEELLINEN LUONNONTIEDE VAKAUTUU?

KÄYTÄNNÖT JA TUTKIMUKSEN EDISTYMINEN

Olemme tottuneet ajattelemaan, että maailmaa hallitsevat pysyvät lainmukaisuudet, luonnonlait. Kun luonnontiede kehittyi, se oppii ymmärtämään luonnonlait yhä paremmin ja paremmin. Niinpä luonnontieteen tutkimusmenetelmät ja teoreettiset käsitteet stabiloituvat eli vakautuvat sitä mukaa, kun tiede pääsee yhä lähemmäs perustavaa tavoitettaan. Kaikkein pisimmälle kehittyneitä tutkimusaloja ovat fysikaaliset tieteet, jotka noudattavat kokeellista tutkimusmenetelmää ja joiden teoriat on puettu yleispätevään matemaattiseen muotoon. Vähemmän kehittyneitä ovat sellaiset tutkimusalat, jotka eivät kykene esittämään yleispäteviä lainalaisuuksia. Jälkimmäisiin on perinteisesti sisällytetty elämää ja ihmistä tutkivat tieteet. Fysiikka antaa mallin, jota näiden alojen tutkimuksen tulisi lähestyä. Joskaan emme voi tietää, milloin tiede on saavuttanut lopullisen totuuden – tai edes saavuttaako se sitä koskaan – tiedämme kuitenkin, että tiede lähestyy totuudenkaltaisuutta. Mistä tämän tiedämme? Siitä, että käsityksemme luonnon perustavista lainalaisuuksista on yhä vakaampi ja vakaampi.

Tällainen on lyhyesti ilmaisten modernin luonnontieteen näkemys omasta edistymisestään. Näkemys nojautuu kehäpä-

telmään: luonnontiede todistaa itse oman totuudellisuutensa. Tämä on sinänsä ymmärrettävää, sillä meillähän ei ole luonnontieteen ja maailman (eli todellisuuden) keskinäisen suhteen arvioimiseksi mitään luonnontieteestä riippumatonta keinoa. Modernin tieteen syntyvaiheissa ongelma ratkesi siten, että yksittäistapauksia koskevat kokeelliset tulokset muunnettiin loogis-matemaattisten sääntöjen avulla yleispätevään muotoon. Synnyn alkupisteestä löydämme yhtäältä Galilein “hypyn” kappaleiden putoamisliikkeestä matematiikan kielellä esitettyihin lakeihin (Stengers 2000) ja toisaalta Englannissa 1600-luvulla pikku hiljaa vakiintuneet uudet kokeelliset käytännöt (Shapin & Schaffer 1985, Dear 1995). Monet uuden tieteen perustan luojat, esimerkiksi Blaise Pascal ja Isaac Newton, olivat perillä operaatiosuhteesta loogisesta epäilyttömyydestä, mutta he perustelivat sen eräänlaisella käännetyn todistustaakan periaatteella: se, joka epäilee matematisoituneen tieteen pätevyyttä, on velvollinen osoittamaan epäilyksensä perustelluksi (Dear 1995).

Thomas Kuhn (1962) osoitti virheelliseksi käsityksen, että tiede olisi kehittynyt suoraviivaisesti. Tieteen historia on toisinaan seuraavien käsitteellisten mullistus-

ten sarja pikemmin kuin tiedon kasautuvaa kasvua. Kuhnin näkemys on nykyään yleisesti hyväksytty. Näkemys ei kuitenkaan ole ristiriidassa sen ajatuksen kanssa, että teoriat ovat yhä oikeampia ja oikeampia. Luonnontiede on sitä paitsi tuottanut runsaasti tuloksia, jotka selvästikin ovat luotettavia. Miksi siis emme luottaisi tieteeseen?

Mutta eihän olennainen kysymys ole, ovatko luonnontieteen tulokset luotettavia vai eivät. Olennaista on kysyä, onko tieteen luotettavuudesta tehtävä metafysiinen postulaatti, jotta tieteen tuloksiin voisi luottaa. – Tarkastelen kirjoituksessani tieteen luotettavuuden perusteita pitäen lähtökohtana erityisesti Ian Hackingin edustamaa näkemystä, että luonnontieteen edistymisen perustana ovat *tutkimuskäytännöt*. Käytän lähinnä biologisia esimerkkejä. Käsityksellämme tieteen luotettavuuden perusteista on merkitystä myös sille, millaiseksi arvioimme tieteen kyvyn ratkaista ajankohtaisia ongelmia.

TUTKIMUKSEN “ITSENSÄ OIKEUTTAVA KEHÄ”

Ian Hacking (1992) toteaa, että kuhnilainen näkemys nostaa esiin uuden ongelman, jota ei useinkaan ole Kuhnin jälkeisessä keskustelussa pantu merkille: luonnontieteen tutkimuskäytännöt eivät ole mullistuneet sellaisella vauhdilla kuin käsitys jatkuvista paradigmojen murroksista antaisi odottaa. Hämmästyttävän suuri osa modernista luonnontieteestä on pysynyt jotakuinkin muuttumattomana. Sitä on toki yksityiskohdissa muunneltu ja työstetty uuteen asuun, mutta perusteet ovat säilyneet pitkät ajat jokseenkin ennallaan. Näin ollen, kuten Hacking toteaa, tutkimuskäytäntöjen vakaus on itsessään ilmiö, joka on pyrittävä tekemään ymmärrettäväksi.

Hacking (mt., 29-30) antaa pysyvyydelle seuraavan tulkinnan: “Selitykseni tälle vakaudelle on, että aina, kun laboratoriotieteiden harjoittaminen on ylimalkaan mahdollista, ne synnyttävät eräänlaisen itsensä oikeuttavan rakenteen, joka pitää ne vakaana.”

Hacking esittää tutkimusta stabiloivan rakenteen keskeisistä aineksista kolmijakoisen taksonomian: (1) ideat, (2) esineet, (3) merkit ja merkkien manipulointi. Ensimmäiseen sisältyvät tutkimusongelman määrittelyä rajaavat käsitteelliset välineet, toiseen tutkimuskohde sekä tutkimusvälineet ja -laitteet, ja kolmanteen aineisto ja aineiston manipuloinnin menetelmät.

Hacking käyttää esimerkkinään newtonilaista fysiikkaa viitaten tässä muun muassa Werner Heisenbergin toteamukseen, että newtonilainen mekaniikka on “suljettu systeemi” ja sitä on siksi mahdoton kumota. Newtonin fysiikan kumoutumattomuus perustuu siihen, että sitä testataan käyttäen tutkimusvälineistöä, joka itse perustuu Newtonin fysiikkaan. Hacking rajaa artikkelinsa esimerkit perinteiseen fysiikkaaliseen laboratoriotutkimukseen, mutta ajatus on vähäisin muunnoksin yleistettävissä muunkinlaisiin luonnontieteisiin, esimerkiksi havainnointiin perustuvaan ekologiseen maastotutkimukseen, jossa kontrolloiduilla kokeilla on lähinnä avustava merkitys (Haila 1998b).

Tutkimuksen itsensä oikeuttava kehä on siis historiallisesti muodostunut kokonaisuus, joka nivoo yhteen laitteistoja, metodologisia käytäntöjä ja teoreettisia käsitteitä. Kehä “etenee” jatkuvasti ajassa. Tiedetään harjoitettava tutkija, joka työllään ylläpitää kehää, tekee päivittäin konkreettisia ratkaisuja edetessään tutkimusongelmasta kokeeseen, kokeesta tuloksiin ja tuloksista päätelmiin, palatessaan tarkentamaan ongelmanasetteluaan päätelmiensä perusteella ja niin edelleen... Tämän spiraalimaisen liikkeen kehämäinen luonne tulee ilmi vain, kun sitä tarkastellaan ikään kuin paikalleen jähmettyneenä. Tutkimusongelmaa täsmentävät teoreettiset käsitteet ovat kehäliikkeen olennainen osa, joten asetelma on läheistä sukua hermeuttiselle kehälle.¹

Hyvä esimerkki laboratoriotutkimuksen stabiloitumisesta on T. H. Morganin “kärpäshuoneissa” Columbian yliopistossa 1910-luvun alusta lähtien harjoitettu ko-

keellinen perinnöllisyystutkimus (sen historiasta ks. Kohler 1994). Morganin ryhmän tutkimuskohteeksi vakiintui 1910-luvulla banaanikärpänen, erityisesti laji *Drosophila melanogaster*. Banaanikärpäsestä kehittyi oivallinen tutkimuskohde useasta käytännöllisestä syystä: nopea sukupolvi-kierto, suuri jälkeläismäärä, ravinnon helppo saatavuus, kromosomiston yksinkertaisuus, ja niin edelleen. Nämä seikat eivät kuitenkaan olleet tiedossa tutkimuksen alkuvaiheissa, vaan banaanikärpänen vakiintui tutkimuskohteeksi useiden vaihtoehtojen joukosta lähinnä yhteensattumien seurauksena. Suuren mittakaavan kasvatusten edellyttämien tekniikoiden kehittäminen oli sitä paitsi hyvin työlästä, sillä kärpästoukat menehtyvät helposti, jos kasvatusolosuhteet kuten lämpötila ja kosteus eivät ole täsmälleen oikeat. Ratkaisevaksi banaanikärpäsen eduksi osoittautui se, että niissä ilmeni suuressa mittakaavassa toteutettujen kasvatusten yhteydessä runsaasti helposti tunnistettavia mutaatioita. Tosin mutanteista osa oli hädän tuskin elinkykyisiä, joten kasvatustekniikalle asetui sitäkin suuremmat vaatimukset. Koko systeemin kehitys ilmentää “kokeellisten laboratorioden ja kokeellisten käytäntöjen luonnonhistoriaa”, jonka toteutumiseen tarvittiin “kärpästen ja kärpästutkijoiden symbioottinen suhde” (mt., 49).

Kärpäskasvatuksissa ilmenneiden mutaatioiden periytyminen sukupolvesta toiseen noudatti Mendelin lakien mukaisia lukusuhteita. Ne toisin sanoen ilmensivät periytyminen “partikulaarisesta” luonnetta mendelisin perustavan oletuksen mukaisesti (ks. esim. Haila 1998a). Morganin laboratorion menetelmien varsinaisen kumouksellisen innovaation muodostivat äärimmäisen taidokkaat ja työläät risteytyskokeet, joiden avulla voitiin määrittää poikkeuksellisia ominaisuuksia aiheuttavien mutaanneiden geenien sijainnit toisiinsa nähden kärpästen kromosomeissa. Näiden niin sanottujen geenikarttojen laatiminen edellytti banaanikärpäsen (siis lajin *D. melanogaster*) standardoimista laboratorio-

lajikkeeksi, joka vähitellen etääntyi yhä kauemmaksi luonnossa elävästä kantalajistaan. Morganin laboratorion tutkimuskohdeeksi valikoitunut *D. melanogaster* muuntui vähitellen kulttuuriseksi olioksi, joka esineellisti mendelistisen genetiikan ihanteet ja kromosomikartoituksen käytännölliset tarpeet (Kohler 1994, 78).

Kasvatustekniikoiden hienovaraistuminen sekä tulosten tulkinnan vakiintuminen tuottivat yhdessä kolme ratkaisevaa seurausta. Ensiksi, kasvatustekniikat alkoivat katalysoida itseään ja synnyttivät, Kohlerin metaforaa käyttäen, “hyötöreaktorin”: tutkimusprosessi itse tuotti lisää tutkimuskohteita eli kiintoisia mutaatioita.² Toiseksi, Columbian yliopiston kärpäshuoneissa kulttuuristuneesta banaanikärpäsestä muodostui geneettisen tutkimuksen standardiorganismi, jonka erityisasemaa ylläpiti Eurooppaan asti ulottuva tutkimusmateriaalin vaihdon verkosto. Tämän teki mahdolliseksi Morganin laboratoriossa omaksuttu työskentelytyyli, johon kuului kärpästen esteetön vaihto muiden laboratorioden kanssa. Kolmanneksi, käsitteen *geeni* merkitys vakiintui. Kärpästen partikulaarisesti periytyvät mutaatiot vahvistivat käsitystä, että eliöiden jokaista erillistä ominaisuutta vastaa yksi geeni. Geenikartat puolestaan vahvistivat käsitystä, että geenit ovat toisistaan erillisiä atomistisia yksiköitä, jotka sijaitsevat kromosomeissa kuin helmet nauhassa ja vaikuttavat yksilön ilmiösuun toisistaan riippumatta.

Molempiin olettamuksiin nähden tunnettiin alusta alkaen poikkeuksia, jotka kuitenkin sovitettiin lisätäsmennyksin yhteen atomistisen perusolettamuksen kanssa (ks. mt., 180-181). Genetiikan kehitys viime vuosikymmenen jälkipuoliskolla osoitti sen sijaan lopullisesti olettamukset virheellisiksi. Emme silti ole oikeutettuja yksikantaan toteamaan, että Morgan kollegoineen “oli väärässä”. Päinvastoin, Morgan kollegoineen oli oikeassa *niiden ilmiöiden osalta*, jotka he saivat tuotetuksi laboratoriossaan. Morganin laboratoriossa tehty työ synnytti materiaallisen systeemin, jota pidettiin yllä useita vuo-

sikymmeniä. “Morganilainen” geenin käsite vastaa systeemin tuloksia. Tässä ei ole mitään merkittävää. Kokonaan eri asia on, onko käsitteellä “geeni” jokin yleinen olemus sen ohi, mitä Morganin koetulokset konkreettisesti osoittivat.

KEHÄLIIKKEEN EHDOT

Onko Hackingin ajatus siis sellainen, että mikä tahansa käsitys voi tulla hyväksytyksi tutkimuksen itsensä oikeuttavan kehän tuloksena, kunhan kehä sopivasti käynnistyy? – Tietenkään tästä ei ole kyse. Ne ainekset, joihin itsensä oikeuttava kehä perustuu, ovat kaikki todellisia; Hackingin suhdetta konstruktionismiin esittelee Turo-Kimmo Lehtonen toisaalla tässä numerossa. Klassikoksi muodostuneessa teoksessaan *Representing and Intervening* (1983) Hacking käyttää omasta näkemyksestään nimitystä “oliorealismi” (ks. Petri Ylikosken kirjoitus tässä numerossa). Kun kykenemme tekemään oliolle jotakin, tiedämme niiden olevan olemassa.

Hackingin radikalismien ydin on ajatus, että tutkimuskäytännöt luovat sen todellisuuden, jota luonnontiede tutkii. Kokeellisia käytäntöjä on erilaisia riippuen siitä, mitä nimenomaan selvitetään. Kokeellisen tutkimuksen arkeen kuuluu, että tutkimuskohteilla on eri tilanteissa erilaiset kasvot. Jokaisen yksittäisen tutkimusasetelman hedelmällisyyden ehto on, että se vakauttaa tutkimuskohteensa. Tätä edellyttää muun muassa kokeiden toistettavuus. Etukäteen ei koskaan ole takeita siitä, että vakauttaminen onnistuu. Niinpä jokaisessa menestyksellistä tutkimusohjelmaa toteuttavassa laboratoriossa on koko ajan kehitteillä useita tutkimusasetelmia rinnan toistensa kanssa. Niiden keskinäinen yhteensopiavuus selviää vasta jälkikäteen. Tämä oli mitä suurimmassa määrin totta Morganin banaanikärpästen suhteen (Kohler 1994). Sama pätee mitä suurimmassa määrin myös molekyylibiologian läpimurtoon muutama vuosikymmen myöhemmin (Kay 1993).

Malli on olennainen käytännöllis-teo-

reettinen apuväline, jonka avulla tutkijat koettavat vakauttaa tutkimuskohteensa.³ Malli ei ole vain tutkimuskohteen käsitteellinen representaatio, vaan sen olennaisia osia ovat myös tutkimusasetelman materiaaliset ainekset. Siten laboratorioartefaktiksi muuntunut banaanikärpänen *Drosophila melanogaster* oli olennainen osa Morganin laboratoriossa kehitettyä periytyvyyden mallia. Kun periytyvyyden mekanismien tutkimukseen otettiin banaanikärpästen rinnalle muita lajeja, esimerkiksi *Neurospora*-homesieni, myös näkemys periytyvyydestä muuttui. Aiempi oletus, että yksi geeni määrää organismien yhden ominaisuuden muuttui oletukseksi, että yksi geeni määrää yhden entsyymiin.⁴ Homesienellä ei ole anatomisia ominaisuuksia samalla tavoin kuin banaanikärpäksillä. “Oikean” organismin valinta tutkimuksen kohteena olevan ongelman selvittämiseksi on yleisemminkin ollut olennainen osa biologian tutkijan taitoa – tai onnea (Clarke & Fujimura 1992).

Tiede voi sanoa paljon tärkeää ja luotettavaa käytäntöjensä perusteella luomastaan todellisuudesta – tai pikemminkin todellisuuksista, monikossa. Tiede ei kuitenkaan voi ratkaista kysymystä, esittääkö se *koko totuuden*. Hacking (1999, 22-24) kutsuu sellaisia sanoja kuin *totuus*, *tosiasia* ja *todellisuus* “ylennyssanoiksi” (*elevator words*). Kuten hän toteaa, ylennyssanoja käytetään tieteen tuloksista puhuttaessa toisin kuin olioiden tai ideoiden nimiä. Ylennyssanat ikään kuin lisäävät jotakin olennaista siihen, millaiseksi ymmärretään objektien tai ideoiden tapa olla maailmassa. Ne ikään kuin tekevät olivat “todellisemmiksi” kuin pelkkä tieto olioiden olemassaolosta. Tälle ei kuitenkaan ole perusteita, ja Hacking kehottaa olemaan varovainen ylennyssanojen käytössä.

Voidaanko tutkimuksen stabiloitumisen tuottamien olioiden todellisuudesta sanoa mitään yleistä? Mikä on esimerkiksi morganilaisen geenin ontologinen asema? Kuten Petri Ylikoski toisaalla tässä numerossa toteaa, Hacking on olioiden todellisuuden

suhteen nominalisti: yksittäiset oliot ovat todellisia, sen sijaan maailman olioita koskevat luokitukset ovat suhteellisia siinä mielessä, että ei ole olemassa yhtä, kaikki oliot kattavaa luokitusta. Tiedetyt luokitukset voivat kuitenkin perustua olioiden kausaaliin ominaisuuksiin, esimerkiksi sellaisiin, jotka tulevat ilmi laboratoriokeissa. Tutkimuskäytännöt voivat siis tuottaa luokituksia, jotka ilmaantuvat näkyviin luotettavasti aina kun koejärjestelyt toistuvat riittävän samankaltaisina eli ovat stabiloituneet. Stabiloituminen voi kuitenkin olla tilapäistä: voimme hyvin kuvitella, että kerran vakautunut tutkimusasetelma murenee uudelleen (Hacking 1992, 61).

Se, kuvaavatko laboratoriotutkimusten tulokset luotettavasti myös selvittämiensä ilmiöiden tapahtumista laboratorion ulkopuolella, on käytännöllinen tutkimuksellinen ongelma. Ylennyssanat eivät lainkaan auta ongelman selvittämistä. Elämää tutkivat tieteet tarjoavat tällaisista vaikeuksista esimerkkejä kuinka paljon tahansa. Ongelman tyypillinen muoto on seuraava: Laboratoriossa tutkimus suunnataan tiettyihin vuorovaikutusmekanismeihin ja mahdollisimman pelkistettyyn kohteeseen, joka on ehkä kaiken lisäksi "kulttuuristettu" kuten Morganin banaanikärpäset. Luonnossa oliot eivät kuitenkaan koskaan esiinny yksin. Mitä yksittäisiä kohteita kuvaavat tulokset kertovat oliojoukoissa ilmenevistä prosesseista? Tyypillinen esimerkki: hermoärsykeiden välittymisen elektrokemiallinen mekanismi kuvattiin luotettavalla mallilla 1950-luvulla, mutta malli ei selitä, miten kokonaisen hermoston miljardit solut koordinoituvat yhteen (Ward 2002).

Sitä paitsi tiede, kuten muutkin inhimilliset toiminnot, luo uutta todellisuutta. Myös tutkijoiden luomat käsitteelliset rakennelmat ovat uutta todellisuutta. Ne vaikuttavat siihen, miten tutkijat tekevät kokeitaan, ja luovat siten kirjaimellisesti uutta materiaalista todellisuutta (ks. Petri Ylikosken kirjoitus tässä numerossa). Koejärjestelyt ovat uusia, ihmistoimien tuottamia luomuksia, artefakteja. Korostettakoon tässä yhteydes-

sä vielä kerran, että artefaktit ovat materiaalisina olioina todellisia vaikka ovatkin inhimillisten toimien tuotteita. Artefaktit eroavat luonnon tuottamista olioista siinä olennaisessa suhteessa, että niiden ylläpito edellyttää jatkuvaa ihmistyötä. Artefakteja on korjattava, paikattava, remontoitava... Eri-laisten artefaktien erityinen luonne määrää sen, millaisia korjaustöitä niiden kunnossa pitäminen täsmälleen ottaen edellyttää.

Myös koejärjestelyjen ylläpittäminen edellyttää jatkuvaa työtä. Morganin laboratorion banaanikärpäset tarjoavat tästä erityisen selvän esimerkin, koska käspäskannat oli pidettävä jatkuvasti elossa, kaikkein heikkohenkisimpiä mutanttimuotoja myöten. Tämä oli niin vaativaa, että kärpästutkijat joutuivat itse vastaamaan kärpästensä hyvinvoinnista (Kohler 1994, 81-82). Vakiintuneita kokeellisia käytäntöjä ei voi muuttaa miten hyvänsä. Sekä koejärjestelyjen edellyttämät käytännölliset taidot että tulosten tulkitsemiseen tarvittavat käsitteelliset välineet ovat omanlaatuistensa hitausvoimien alaisia.

YLEISTYKSET

Hackingin näkemys tutkimuksen stabiloitumisesta käytännöllisten toimien seurauksena tekee ymmärrettäväksi eri alojen tutkimuskäytäntöjen moninaisuuden. Näin ollen ei myöskään ole mitään takeita siitä, että eri alat muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. Tieteen epäyhtenäisyys on pikemminkin se, mitä voimme odottaa (Hacking 1996).

Tieteen epäyhtenäisyys ei suinkaan merkitse, että aineellisen maailman oliot eivät olisi missään yhteyksissä toisiinsa. Päinvastoin, luonnontiede on kyennyt muotoilemaan yleisiä säännönmukaisuuksia, jotka ovat päteviä monilla ilmiöalueilla. Termodynamiikan toinen pääsääntö on tästä usein toistettu esimerkki.⁵ Termodynamiikan toinen pääsääntö ilmentää kuitenkin toisenlaista logiikkaa kuin esimerkiksi Newtonin liikelait. Newtonin laeista voidaan periaatteessa deduktiivisesti johtaa täsmälliset en-

nusteet niiden kuvaamien systeemien tulevalle kehitykselle; tästä pyrkimyksestä tunnettu on erityisesti markiisi Laplace. Termodynamiikan toinen pääsääntö sen sijaan ilmaisee, mitä *ei voi* tapahtua. Se ei ennusta, mitä tulee tapahtumaan. Termodynamiikan toinen pääsääntö siis sallii luonnon tapahtumakululle *historiallisuuden* sellaisessa vahvassa merkityksessä, että myöhemmät tapahtumakulut riippuvat olennaisesti varhemmista. Luonnon prosessit ovat “polkuriippuvia”; esimerkiksi elämän perusprosessit ovat vakiintuneet “jähmettyneiden sattumien” tuloksena (ks. Haila & Penttilä 2002; koko biologisen evoluution kontingenssista Gould 1991).

Eri tieteenalat ja tutkimusperinteet tutkivat prosesseja ja mekanismeja, joiden luonnonhistorialliset kehityspolut ovat erkaantuneet toisistaan. On mahdotonta “palauttaa” yhtä ilmiöaluetta toiseen deduktiivisten sääntöjen nojalla, kuten klassinen tieteenihanne oletti. Uusien ilmiöiden perustana on ei-redusoituvaa murros: uusien ilmiöiden täsmällinen asu ei ole johdettavissa ilmiön syntyä edeltävistä olosuhteista. Tämä on ydin kritiikissä, jota Ilya Prigogine ja Isabelle Stengers ovat kohdistaneet klassisen luonnontieteen maailmankuvaa kohtaan (Prigogine & Stengers 1984; Prigogine 1997; Stengers 2000).

Prigogine (1997, 29) korostaa, että luonnon lainmukaisuudet on muotoiltava uudella tavalla korostaen varmuuksien sijasta *mahdollisuuksia*. Selittämisen ja ennustamisen keskinäinen suhde muuttuu paljon monimutkaisemmaksi kuin modernin tieteen ihanne antoi ymmärtää.⁶ Luonnon tapahtumakulut eivät ole ennustettavissa yleisten lainmukaisuuksien perusteella, mutta tämä ei suinkaan tarkoita, että mitä tahansa voi tapahtua milloin tahansa. Päinvastoin, on olemassa yleisiä periaatteita, jotka rajaavat tapahtumakululle tarjolla olevien mahdollisuuksien joukkoa. Ne eivät kuitenkaan ennusta täsmälleen, mikä mahdollisuuksista toteutuu. Mahdollisuudet ilmenevät todennäköisyyksinä ja niitä voidaan täsmällisesti arvioida, kun-

han tilanne tunnetaan riittävän hyvin.

“Mahdollisuuksien avaruus” (*possibility space*) on hyvä käsitteellinen työväline, jonka avulla voi arvioida tietyssä tilanteessa avoimien vaihtoehtojen hahmoa. Mahdollisuuksien avaruus on dynaaminen käsite, eli se muuttaa muotoaan tapahtumien myötä. Uusia mahdollisuuksia avautuu ja vanhoja sulkeutuu pois riippuen siitä, mitä tapahtuu nyt. Lisäksi mahdollisuuksien avaruus jäsentyy erilaisena eri aikamittakaavoissa. Lähes minkä tahansa prosessin kulku on riittävän lyhyellä aikavälillä täysin ennustettavissa.⁷ Kun aikamittakaava pitelee, ennustettavuus kuitenkin murtuu. Tunnettu esimerkki tästä on säätila. Säätilan vaihteluita ei voi luotettavasti ennustaa paria viikkoa pidemmäksi ajaksi. Säätilassa ei kuitenkaan voi kahden viikon kuluttua tapahtua *mitä tahansa*. Esimerkiksi Suomen helmikuussa se mahdollisuus, että kahden viikon kuluttua olisi helle, on poissuljettu: maapallon ilmastosysteemissä ei ole sellaista mekanismia, joka voisi välittää Pohjois-Eurooppaan helteen edellyttämän lämpömäärän keskellä talvea.

Dynaamiset yleistyksiset ovat mahdollisia analogiapäätelyn perusteella tilanteissa, joissa systeemit muistuttavat olennaisissa suhteissa toisiaan. Samankaltaisuuden ei tarvitse olla materiaalista laatua. Esimerkiksi lämpötilaerojen tuottamat pyörteet (“lämpökonvektio”) ovat periaatteessa samanlaisia ilmakehässä ja maapallon sulassa vaipassa, vaikka ilma ja sula kiviaines ovat materiaalisesti sängen erilaisia. Mahdollisuuksien avaruuden ideaa on mahdollista soveltaa myös yhteiskuntaan ja kulttuuriin. Esimerkiksi Pierre Bourdieu’n “kentän” käsite on tässä mielessä analoginen fyysikaalisten voimien määrittämille dynaamisille kentille (analogiasta ks. Dyke 1999). Tällaiset analogiat eivät tietenkään voi olla missään kirjaimellisessa mielessä luotettavia, mutta ne voivat osoittaa uudenlaisia tapoja esittää kulttuuristen prosessien dynamiikasta hyödyllisiä kysymyksiä.

Luonnon prosessien mekanistiset peruspiirteet rajoittavat prosesseille avointa

mahdollisuuksien avaruutta. Yksinkertaisia esimerkkejä ovat kemiallisten reaktioiden rajoitteet kuten energieettiset ehdot (eli “kinetiikka”) ja keskenään reagoivien aineiden runsaussuhteiden asettamat ehdot (eli “stokiometria”). Nämä heijastuvat biologiaan organismien fysiologisina ja anatomisina rajoitteina. Historiallisesti kiinnostava seikka on, että monet mekanistiset rajoitteet muotoiltiin alunperin “lakeina”. Tunnettu esimerkki on saksalaisen biokemistin Justus Liebigin toteama “minimiteikijän laki” (vuodelta 1840): kasvien kasvu rajoittaa aina se ravinne, jota on niukkimmin tarjolla. Energieettisten ja stokiometristen rajoitteiden perustana on termodynamiikka, joten ne toimivat loogisesti samalla tavoin kuin termodynamiikan toinen pääsääntö: ne kertovat, mikä on mahdollista, mutta eivät ennusta, mitä tapahtuu.

Organismien anatomian ja fysiologian määrittämät rajoitteet olivat perustana kiinnostaville yleistyksille, joita kehittivät 1900-luvun alkupuoliskon teoreettisen biologian suuret nimet kuten d’Arcy Thompson (*On Growth and Form*, 1917/1942), Alfred Lotka (*Elements of Physical Biology*, 1924) ja Nicolas Rashevsky (*Mathematical Biophysics. Physico-Mathematical Foundations of Biology*, 1938/1948/1960). Heidän teoksensa eivät suinkaan ole vain historiallisia kuriositeetteja. Päinvastoin ne osoittavat, että organismien peruspiirteistä johdettujen rajoitteiden perustalle voi luoda hedelmällisen tutkimusstrategian. Yleistysten pätevyysalueet tulevat lopulta koetelluiksi sen kautta, kuinka monipuolisesti niiden ennusteet saadaan kokeiden tai systemaattisten havaintojen avulla todennetuiksi.

Matematiikan asema luonnontieteessä on hankalampi kuin useimmiten oivalletaan (tai tunnustetaan). Matematiikka on yleistysten välttämätön apuväline, mutta matematiikan kielellä ilmaistu yleistys ei voi todistaa itse itseään vaan yleistykset tarvitsevat kokeellista tukea. Modernin luonnontieteen matematisoitunut kieli hävittää kuitenkin näkösilältä teoreettisten kä-

sitteiden ja koejärjestelyjen välisen tiiviin yhteyden. Matematisoitumisen eräs seuraus on myös se, että yksinkertaisetkin periaatteet muuttuvat vaikeatajuisiksi. Yhtälöinä esitetyt termodynamiikan perussäännöt ovat esimerkiksi vaikeasti ymmärrettäviä sellaiselle lukijalle, joka ei ole harjaantunut matemaatikko (hyvä koetinkivi on esimerkiksi Paakkari 1997). Siksi meidän maallikoiden on viisasta spesialisoituneita luonnontieteitä seurattessamme pitää mielessä, että käsitteiden varsinainen mieli on aineellistuneena niiden perustana olevissa kokeissa ja laitteissa. Kun esimerkiksi termodynamiikasta tulee puhe, kannattaa ajatella höyryveturia (Dyke 1992).⁸

TAUSTAOLETTAMUKSET

Kokeelliset käytännöt ja ajattelun kerrostumat ovat läheisessä vuorovaikutuksessa keskenään tutkimuksen itsensä oikeuttavan kehän välityksellä. Onko tutkimusta ehdollistavilla taustaolettamuksilla tästä irrallaan merkitystä? Ajattelua ohjaavia kyseenalaistattomia ennako-olettamuksia on Aristoteleesta lähtien ollut tapana kutsua metafysiikaksi. Tausta on yksinkertainen: jokainen aksiomaattinen järjestelmä perustuu taustaolettamuksiin, joita ei voi järjestelmän piirissä todistaa, ja tiede pyrkii olemaan aksiomaattinen järjestelmä. Platonisiin taipuvaiset filosofit ovat usein antaneet metafysiisille ennako-olettamuksille jopa määrävän merkityksen tieteellisessä ajattelussa (hyvä esimerkki on Collingwood 1940). Tällainen metafysiikkaan kohdistettu filosofinen kritiikki on parhaimmillaan osuvaa; Whitehead (1926) ja Collingwood (1940) ovat tästä hyviä esimerkkejä. Kritiikki on saanut luonnollista painoa siitä, että moderni tieteenihanne ei tunnustanut taustaolettamusten merkitystä lainkaan. On kuitenkin kyseenalaista, välittyvätkö metafysiset taustaolettamukset yleispätevinä kaikkeen tutkimukseen. On uskottavampaa, että erilaiset tutkimuskäytännöt nojautuvat erilaisiin taustaolettamuksiin.

Tähän asetelmaan liittyy Hackingin alun-

perin Alasdair Crombielta omaksuna mutta hiukan muuntama käsite ”järkeilytyyli” (ks. Turo-Kimmo Lehtosen ja Petri Ylikosken kirjoitukset). Olennaista on, että tietty järkeilytyyli voi perustella mielekkäiksi sellaisia teoreettisia väittämiä, jotka eivät muiden järkeilytyylien perusteella ole lainkaan ymmärrettävissä. Vaikka järkeilytyylit ovat olleet historiallisesti sängen vakaita, ne ovat perimmiltään sidoksissa sellaiseen käytännölliseen ja käsitteelliseen työhön, jonka ne itse perustelevat (ks. Hacking 1996).

Järkeilytyylit ja tutkimuskäytännöt ovat siis historiallisesti läheisessä yhteydessä toisiinsa. Eräänlaisia niiden suhdetta välittäviä elementtejä ovat tutkimuskohteen *metaforiset kuvat*. Metaforat määrittävät ikään kuin ennalta tutkimuskohteen ”luonteen” ja ohjaavat siten tutkimusongelmien täsmentymistä. Metaforat voivat olla pitkäikäisiä. Esimerkiksi modernin ekologian alkuvaiheita ohjasi usean vuosikymmenen ajan *organismin* metafora: oletus, että ekologiset yhteisöt ovat joissakin tärkeissä suhteissa organismin kaltaisia (Haila & Levins 1992). Perinnöllisyyden tutkimusta ohjasi viime vuosisadan jälkipuoliskolla *koodin* metafora: oletus, että kromosomeissa sijaitseva DNA-juoste ”ohjaa” yksilönkehitystä jotenkin samalla tavoin kuin ohjelmakoodi ohjaa tietokoneen toimintaa (Kay 2000).

Koska metaforat jäsentävät tutkimusongelmia, ne ovat konkreettisesti läsnä tutkimuskäytännöissä. Tämä tekee ymmärrettäväksi esimerkiksi sen, miten atomistinen selitysstrategia levisi fysiikasta muille aloille 1800-luvun jälkipuoliskolta lähtien. Fysikaalinen ongelma atomistisen selitysstrategian taustalla liittyi kaasujen tilan muutoksiin. Pienimmätkin kaasumäärät koostuvat ziljoonista ja taas ziljoonista molekyyleistä, joten yksittäisiin molekyylihin perustuva selittäminen oli poissuljettu: oli löydettävä tapa suhteuttaa suurissa olijoukoissa tapahtuvat ilmiöt toisiinsa. Kuten Alan Garfinkel (1981) toteaa, tällaisen selittämisen perustaksi puolestaan täytyy olet-

taa *ekvivalenssirelaatio* jokaisen joukon alkioiden kesken. Alkioiden ekvivalenssiin vedoten voitiin ottaa käyttöön soveliaat matemaattiset apuvälineet. 1900-luvun taitteen suuri ranskalainen matemaatikko Henri Poincaré (1952, 158) puki asetelman sanoiksi seuraavasti:

Voitaisiin ehkä esittää kysymys, miksi yleistäminen saa fysikaalisissa tieteissä niin helposti matemaattisen muodon. [...] Tämä tapahtuu siksi, että tietty havaittavissa oleva ilmiö johtuu suuresta määrästä toisiinsa yhdistyviä elementaarisia ilmiöitä, jotka ovat *kaikki keskenään samankaltaisia*; ja tällä tavoin differentiaaliyhälöt otetaan sängen luonnollisesti käyttöön.

Poincaré luonnehtii lainauksessa tilastollisen mekaniikan syntyä 1800-luvulla. Sama matematisoitumisen idea omaksuttiin tiukaksi metodologiseksi normiksi muille aloille, myös yhteiskuntatieteisiin (tilastojen tulkinnoista ks. Hacking 1990; taloustieteestä ks. Mirowski 1988).⁹ Alfred Lotka sovelsi ajatusta biologisten populaatioiden tutkimukseen suorittamalla eksplisiittisesti metaforisen samaistuksen ihannekaasusta biologiseen populaatioon – seuraavasti (Lotka, 1956, 39): ”Vaikuttaisi siis siltä, että täysin uudenlainen väline on tarpeen; väline, joka tarkastelee biologisen populaation yksiköitä samalla tavoin kuin vakiintunut tilastollinen mekaniikka tarkastelee molekyyliä, atomeja ja elektroneja...”¹⁰

Sama metafora omaksuttiin usdarwinistisen populaatiogenetiikan perustaksi. Mikä olisi ollut luontevampaa, kun morganilainen banaani-kärpäsenetiikka oli ”osoittanut”, että geenit ovat toisistaan riippumattomia atomistisia yksiköitä? Populaatiogenetiikan keskeinen vaikuttaja R. A. Fisher kirjoitti seuraavasti (Fisher 1958, 11): ”Periytyvyyden partikulaarinen teoria muistuttaa kineettistä kaasuteoriaa täydellisen elastisine törmäyksineen”. Atomistisen olettamuksen perusteella pääteltiin, että hyvän luonnehdinnan populaatiolle antaa sen kaikkien yksilöiden geenistöjen muodostama ”geenipooli”, ja evolutiiviset

muutokset populaatiossa voidaan laskea geenipoolin koostumuksen muutoksena sukupolvesta toiseen. Luonnonvalinnan vaikutus liitettiin populaatiogenetiikan laskukaavoihin kertoimena. Depew & Weber (1995) esittävät seikkaperäisen analyysin tilastollisen mekaniikan innoittaman atomismin valtakaudesta genetiikassa.¹¹

Atomistisen selittämisen pätevyysalue on täysin riippuvainen siitä, kuinka luotettava olettamus alkeisoloiden samankaltaisuudesta on. Populaatiodynamiikan tutkimuksessa olettamusta alettiin purkaa – eli malleja “dekonstruoida” – vakavassa mielessä 1960-luvulla: populaatioiden yksilöt ovat keskenään erilaisia, yksilöiden ympäristöt eivät ole identtisiä, yksilöiden käyttäytyminen on dynaamisesti vuorovaikutteista eli se, mitä yksi tekee, vaikuttaa toisten käyttäytymiseen, ja niin edelleen.

Perinnöllisyystutkimuksessa atomismin dekonstruktio on ollut vielä radikaalimpaa. Ensimmäisessä vaiheessa alettiin korostaa, että jokaisen yksilön geenistö muodostaa integroidun kokonaisuuden; klassista mendelististä tutkimusotetta, jossa geenit oletettiin toisistaan riippumattomiksi yksiköiksi, luonnehdittiin pejoratiivilla “papupussi-genetiikka” (esim. Mayr 1970, 162; Mayrin teos oli pitkään evoluutiobiologian keskeinen oppikirja). Lopulta molekyylibiologinen murros perinnöllisyystutkimuksessa on murentanut geenin käsitteen kokonaan. Kromosomeissa sijaitsevien DNA-juosteiden pätkät eivät ole itsenäisiä, muuttumattomia, sellaisenaan sukupolvesta toiseen siirtyviä periytyvyyden kantajia, vaan DNA on yksi osa elävien solujen monitasoisesti vuorovaikutteista säätelyjärjestelmää. Sama “geeni” osallistuu solujen elintoimintoihin eri tilanteissa eri tavoin solunsisäisten ja solunulkoisten tekijöiden vaikutuksen alaisena. Evoluutiivisen jatkuvuuden ja muutoksen yksiköitä eivät ole “geenit” vaan solujen elintoimintojen “funktionaaliset kehät” (*functional circuits*) (Kitano 2002).

Lenny Moss (2003) esittää geenin käsitteeseen molekyylibiologisen tutkimuksen tuloksia vastaavan korjauksen. Geenejä –

siis laboratoriotutkimuksen esiintuomia perinnöllisyyden “kantajia” – on kahdenlaisia: P-geenit ja D-geenit. Edelliset (P sanasta *preformationist*) ovat niitä, joita Mendel ja Morgan aikoinaan tutkivat. P-geenin vaikutus tulee ilmi kantajansa ilmiässä joksikin yksikäsitteisesti aina, kun sen toiminnassa ilmenee häiriö. Esimerkiksi banaanikärpäsen (siis lajin *D. melanogaster*) “rudimentary-geenin” häiriö tulee ilmi siiven surkastumana. Tällaiset pistemäiset häiriöt periytyvät mendelistisesti.¹² Pistemäisten häiriöiden esiintymisestä ei kuitenkaan seuraa, että organismeissa olisi niitä vastaavia pistemäisiä “normaaligeenejä”; eli että esimerkiksi “rudimentary-geeniä” vastaisi “normaali geeni”, jonka vaikutuksesta syntyy normaalinmuotoinen siipi. Hyppy pistemäisestä mutaatiosta pistemäiseen “normaaliominaisuuteen” on virheellinen sekä loogisesti että asiallisesti.

Jälkimmäiset geenit (D sanoista *developmental resource*) ovat monikerroksisin ja hienovaraisin tavoin osallisina solujen elintoiminnoissa. D-geenille ei ole mahdollista osoittaa yksikäsitteistä kausaalista roolia organismeissa. Jokainen yksittäinen D-geeni toimii monin eri tavoin riippuen hyvin erilaisista tekijöistä, kuten siitä, missä solussa se sijaitsee, mitä organismin elämänvaihetta tarkastellaan, millaisille ympäristötekijöille organismi on ollut altistuneena ja niin edelleen. Tämän on tuonut ilmi nimenomaan molekyyli-genetiikan reduktionistinen tutkimus. Asetelmassa ei ole mitään paradoksaalista. Usein aiemminkin tieteen historiassa reduktionistinen tutkimusstrategia on osoittanut, että sen alkuperäisenä lähtökohtana ollut atomistisen ekvivalenssin olettamus on virheellinen.

JÄRKEVÄN TIETEEN PUOLUSTUS

Richard Feynmanin sanotaan joskus tokaiseen, että filosofia on tutkijalle yhtä hyödyllistä kuin ornitologia linnuille. Sitä kannattaa kuitenkin harkita tarkemmin. Ornitologia ei tietenkään ole linnuille

yhdentekevää. Alkuvaiheissaan ornitologia oli linnuille voittopuolisesti haitaksi: ornitologia surmasi kaikki linnut, jotka se ylenesi tutkimuskohteekseen. Vielä viime vuosisadan ensimmäisellä puoliskolla tämä oli vallitseva käytäntö. Niinpä K. E. Kivirikko kirjoitti suurteoksessaan *Suomen linnut* (1926, 143) taviokuurnasta seuraavasti:

Taviokuurna ei suinkaan ole mikään arka lintu. Pääinvastoin sitä saattaa tarkastella miten kauan tahansa parin kolmen metrin päästä, kun se pihlajassa pakkaspäivinä ruokailee. Pitkällä kepillä, jonka päässä on juokseva jouhisilmukka, voi niitä silloin pyydystää useampiakin samasta puusta, eikä toinen ole tietääkseen, vaikka vieruskumppani räpistellen yhtäkkiä katoaa.

Ornitologia on sittemmin muuttunut. Tutkimuskäytännöissä lintujen surmaamisen tilalle on tullut hyvään maastotuntemukseen perustuva havainnointi. Suomessa uutta perinnettä edustaa puhdaspiirteisesti Olavi Hildénin ja Pentti Linkolan *Suuri lintukirja* (1955). Varsin pitkään suhtauduttiin kuitenkin erityisen epäillen siihen, voidaanko uusi laji hyväksyä tietyn maan lajiluetteloon maastotunnistuksen perusteella, tappamatta näyteyksilöä. Tällainen huoli on itsessään kiinnostava, onhan se ilmaus klassifioivan, linnäläisen järkeilytyylin suuresta painosta biologisessa ajattelussa.¹⁵

Sen lisäksi, että ornitologian tutkimuskäytännöt ovat muuttuneet, ornitologiasta on myös tullut lintujen puolustaja. Lintujen suojelemisen tarpeesta alettiin puhua Suomessa luonnonsuojeluaatteen voimistues-

sa 1900-luvun taitteessa. Helsingissä pidettiin kesäkuussa 1899 *Ensimmäinen yleinen Suomen eläinsuojelukokous*, jossa yksi kuudestatoista keskusteluteemasta kuului ”Miten on pikkulintujen suojelusta Suomessa parhaiten edistettävä?” Aiheen alusti eläintieteen professori O. M. Reuter, joka nosti keskusteluun muun muassa lintuja suojelevan lainsäädännön sekä lintujen rajoittamattoman metsästyksen Etelä-Euroopassa. Kokouksen pöytäkirjaan sisältyy ”kehotus kansainväliseen taisteluun pikkulintujen joukkomurhaamista vastaan” (Mellberg 1900). – Lintujen suojeleminen onkin suuresti edistynyt sitten kesäkuun 1899, joskin lintujen joukkomurhaaminen jatkuu edelleen esimerkiksi Maltalla huolimatta euroopanlaajuisten suojelusäädösten tiukentumisesta.

Ornitologia voi toden totta olla linnuille hyödyksi. Näin ollen tunnen kiusausta tarkentaa Feynmanin sutkausta toteamalla, että filosofia voi olla tutkijalle hyödyllistä samassa mielessä kuin ornitologia linnuille. Tutkimuskäytännöille herkistynyt filosofia, joillaista Ian Hacking harrastaa, voi puolustaa tutkijoiden mahdollisuutta tehdä järkevää tutkimustyötä. Ensinnäkin se voi auttaa suhtautumaan maltillisesti sellaisiin kiistoihin, joista on konkreettiselle tutkimukselle pelkkää haittaa, esimerkiksi metodologiseen dogmatiikkaan (ks. Haila & Levins 1992, 119-122). Toiseksi se voi auttaa täsmentämään käsitystä siitä, millaisia ongelmia tiede kykenee ratkaisemaan ja millaisia edellytyksiä kunkintyyppisten ongelmien ratkaiseminen vaatii.

v i i t t e e t

1. Erityisesti Joseph Rouse (1987) on tulkinnut luonnontieteen historiaa hermeneutiikan avulla.
2. Korostettakoon, että Kohlerin hyötöreaktori-metafora viittaa tutkimuskohteen materiaalisuuteen. Se on siis vahvempi kuin tavanomainen sanonta, että tutkimus tuottaa *uusia ongelmia* nopeampaan tahtiin kuin ratkaisee vanhoja.
3. Hyvän oppikirjajohdatuksen mallin käsitteeseen esittää Giere (1988); klassinen artikkeli mallien merkityksestä biologisessa tutkimuksessa on Levins (1966).
4. Kaava ”yksi geeni – yksi entsyymi” on peräisin vuodelta 1941. Kaava oli 1970-luvun auktorisoituun oppikirjaan (Dobzhansky et al. 1977, 28) mennessä muuntu- nut muotoon ”one gene – one polypeptide”.
5. Toisella pääsäännöllä ei ole yhtä auktorisoitua kielellistä asua; modernien oppikirjojen

- kirjoittajat (esim. Paakkari 1997, Kondepudi & Prigogine 1998) ratkaisevat ongelman lainaamalla 1800-luvun klassikkoja. Suosittu on esimerkiksi Clausius (vuodelta 1850; Paakkari 1997, 15): "Muutos, jossa *ainoastaan* siirrettäisiin lämpöä kylmemmästä kapaleesta kuumempaan, on mahdoton".
6. Newtonilaisen luonnonlain nojalla selittäminen ja ennustaminen ovat symmetrisiä. Termodynamiikan toinen pääsääntö sen sijaan selittää mutta ei ennusta.
 7. Ennustettavuus ei kuitenkaan päde kvanttimittakaavan ilmiöihin kuten radioaktiiviseen hajoamiseen kuin tilastollisesti.
 8. Veturi muuttaa lämpöenergiaa liike-energiaksi ja energian kokonaismäärä pysyy systeemissä muuttumattomana (ensimmäinen pääsääntö), ja veturi pysähtyy ilman ulkopuolelta lisättyä polttoainetta (toinen pääsääntö). – Kvanttimekaniikan ymmärtämisen yksi olennainen vaikeus johtuu siitä, että ei ole olemassa makroskooppista koejärjestelyä, jonka välityksellä sitä voisi havainnollistaa. Makroskooppisiin objekteihin sidotut ajatuskokeet kuten "Schrödingerin kissa", jonka ajatellaan olevan samanaikaisesti elävä ja kuollut, sekoittavat asiaa pikemmin kuin selventävät.
 9. Asetelma on toki hiukan monimutkaisempi: newtonilainen ideaali oli yhteiskunta-ajattelussa vahva jo 1700-luvulla. Tilastollisen mekaniikan metodologia tuli avuksi koetettaessa soveltaa newtonilaista kausaalisuutta populaatioilmiöihin. – Mutta samantapainen kehitys tapahtui itse asiassa fysiikassakin.
 10. Lainaus on jaksosta, jossa Lotka loi sittemmin kuuluisaksi tulleiden Lotka-Volterra-mallien perustan; mallien nimityksen toinen osapuoli Vito Volterra oli italialainen matemaatikko, joka sai saman idean jokseenkin samanaikaisesti kuin Lotka.
 11. Heidän luonnehdintansa Fisheristä on "The Boltzmann of a blade of grass"; luonnehdinnan referenssi on 1800-luvun lopun suuri "termofyysikko" Ludwig Boltzmann. Populaatiogenetiikan kaavojen perustana on eräänlainen kirjanpidollinen harha, kuten monet kriitikot (Grene 1974, Dyke 1988, Depew & Weber 1995) ovat korostaneet: jos joukko atomistisia perusolettamuksia hyväksytään, mallit voidaan aina saada *post faktum* jäljittelemään populaatioissa tapahtuneita muutoksia ja siten ikään kuin tukemaan omia taustaolettamuksiaan.
 12. Sikäli kuin periytyvät. Monet pistemäisesti ilmenevät mutaatiot aiheuttavat kantajansa hedelmättömyyden tai kuoleman. – Huomattakoon, että perinnöllisiä sairauksia "aiheuttavat" geenit ovat nimenomaan P-geenejä. Se, että ei ole olemassa niitä vastaavia "normaaligeenejä" tekee suurisanaiset lupaukset sairauksien hävittämisestä geneettisen manipulaation avulla katteettomiksi (ks. Moss 2003, luku 4).
 13. Muutamia vuosikymmeniä sitten kerrottiin pääkaupunkiseudulla asetelmaa kuvaavaa tarinaa lapinkirvisen asemasta Tanskan lajistossa. Lapinkirvinen on pohjoisten soiden ja tundrien pesimälintu, joka on läntisessä Euroopassa keväisin sangen harvalukuinen mutta syksyisin runsas. Syksyllä lajin tunnistaminen maastossa on kuitenkin ulkoasun perusteella vaikeaa, muut kirvislajit ovat jokseenkin samannäköisiä. Lajien kutsuäänet sen sijaan eroavat niin selvästi toisistaan, että kokenut lintuharrastaja oppii ne kertakuulemalta. – Mutta voiko lapinkirvisen kutsuääni olla niin luotettava tuntu-merkki, että lajin voisi sen nojalla ylentää Tanskan faunan jäseneksi? Tätä juuri epäiltiin. Niinpä ruotsalaiset ornitologit havaitsivat joka syksy Skänen eteläkärjen Falsterbon lintuasemalla parvittain lapinkirvisiä matkalla salmen yli Tanskaan, mutta Tanskassa ei ollut virallisesti havaittu lapinkirvisiä, koska sitä ei ollut siellä surmattu.

KIRJALLISUUS

- Collingwood, R. G. 1998. *An Essay on Metaphysics*. Oxford University Press, Oxford.
- Dear, Peter 1995. *Discipline & Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Depew, D.J. & B.H. Weber 1995. *Darwinism Evolving. Systems Dynamics and the Genealogy of Natural Selection*. MIT Press, Cambridge, Ma.
- Dobzhansky, Theodosius, Francisco J. Ayala, G. Ledyard Stebbins & James W. Valentine 1977. *Evolution*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Dyke, C. 1988. *The Evolutionary Dynamics of Complex Systems. A Study in Biosocial Complexity*. Oxford University Press, Oxford.
- 1992. "From entropy to economy: a thorny path." *Advances in Human Ecology* 1: 149-176.

- 1999. "Bourdieuian dynamics: the American middle-class self-constructs." Teoksessa: *Bourdieu. A Critical Reader*, toim. Richard Shusterman, 192-213. Blackwell, New York.
- Fisher, Ronald A. 1958. *The Genetical Theory of Natural Selection. 2nd revised edition.* Dover, New York.
- Garfinkel, Alan 1981. *Forms of Explanation. Rethinking the Questions in Social Theory.* Yale University Press, New Haven.
- Giere, Ronald N. 1988. *Explaining Science. A Cognitive Approach.* University of Chicago Press, Chicago.
- Gould, Stephen Jay 1991. *Ihmeellinen elämä. Burgessin esiintymä ja historian kulku.* Art House, Helsinki.
- Grene, Marjorie 1974. *The Understanding of Nature. Essays in the Philosophy of Biology.* D.Reidel, Dordrecht – Holland.
- Hacking 1990. *The Taming of Chance.* Cambridge University Press, Cambridge.
- 1992. "The self-vindication of the laboratory sciences." Teoksessa: *Science as Practice and Culture*, toim. Andrew Pickering, 29-64. The University of Chicago Press, Chicago.
- 1996. "The Disunities of the Sciences." Teoksessa: *The Disunity of Science. Boundaries, Contexts, and Power*, toim. Peter Galison & David J. Stump, 37-74. Stanford University Press, Stanford, Ca.
- 1999. *The Social Construction of What?* Harvard University Press, Cambridge, Ma.
- Haila, Yrjö 1998a. "Geeni(e)n tarina(t)." *Tiede & edistys* 23: 46-53.
- 1998b. "Political undercurrents of modern ecology." *Science as Culture* 7: 465-91.
- Haila, Yrjö & Richard Levins 1992. *Ekologian ulottuvuudet.* Vastapaino, Tampere.
- Haila, Yrjö & Timo Penttilä 2002. "Muna, kana ja elämän synty." *Tiede & edistys* 27: 147-56.
- Kay, Lily E. 1993. *The Molecular Vision of Life. Caltech, the Rockefeller Foundation, and the Rise of the New Biology.* Oxford University Press, Oxford.
- 2000. *Who Wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code.* Stanford University Press, Stanford.
- Kitano, Hiroaki 2002. "Computational systems biology." *Nature* 420: 206-10.
- Kivirikko, K. E. 1926. *Suomen linnut.* I osa. WSOY, Helsinki.
- Kohler, Robert E. 1994. *Lords of the Fly. Drosophila Genetics and the Experimental Life.* The University of Chicago Press, Chicago.
- Kondepudi, Dilip & Ilya Prigogine 1998. *Modern Thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures.* John Wiley & Sons, Chichester.
- Kuhn, Thomas 1962. *The Structure of Scientific Revolutions.* University of Chicago Press, Chicago.
- Levins, Richard 1966. "The strategy of model building in population biology." *American Scientist* 54: 421-31.
- Lotka, Alfred J. 1956. *Elements of Mathematical Biology* (Original: *Elements of Physical Biology*, 1924). Dover, New York.
- Mayr, Ernst 1970. *Populations, Species, and Evolution* (An abridgement of *Animal Species and Evolution*, 1963). The Belknap Press, Cambridge, Ma.
- Mellberg, E. J. (toim.) 1900. *Djurskyddsmötet I Helsingfors den 6-8 Juni 1899.* J. Simelii Arfvingars Boktryckeri Aktiebolag, Helsingfors.
- Mirowski, Philip 1988. *Against Mechanism. Protecting Economics from Science.* Rowman & Littlefield, Lanham, Md.
- Moss, Lenny 2003. *What Genes Can't Do.* The MIT Press, Cambridge, Ma.
- Paakkari, Timo 1997. *Termofysiikka.* Limes, Helsinki.
- Poincaré, Henri 1952. *Science and Hypothesis.* Dover, New York.
- Prigogine, Ilya 1997. *The End of Certainty. Time, Chaos, and the New Laws of Nature.* The Free Press, New York.
- Prigogine, Ilya & Isabelle Stengers 1984. *Order out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature.* Bantam Books, New York.
- Rouse, Joseph 1987. *Knowledge and Power. Toward a Political Philosophy of Science.* Cornell University Press, Ithaca.
- Shapin, Steven & Simon Schaffer 1985. *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life.* Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Stengers, Isabelle 2000. *The Invention of Modern Science.* University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Ward, Lawrence M. 2002. *Dynamical Cognitive Science.* The MIT Press, Cambridge, Ma.
- Whitehead, Alfred North 1926. *Science and the Modern World.* Cambridge University Press, Cambridge.