

ILMAN ANALYYTTISTÄ AJATTELUA SYNTYY KAAOS

AARNE MÄMMELÄ

Perinteinen tutkimus perustuu 1600-luvulla luotuun kokeellisuuden ja analyyttisen ajattelun yhdistämiseen, jossa ongelma pelkistetään tai hajotetaan osiinsa ja tulokset yleistetään induktiivisesti alhaalta ylöspäin. Siten tutkijan ja myös opiskelijan pitää uutta oppiakseen rakentaa kokonaisuus uudestaan itse. Nyt tämä erikoistumisena ja oppiainelähtöisyytenä näkyvä pelkistäminen kyseenalaistetaan laajasti opetuksessa ja joskus myös tutkimuksessa. Tilalle tarjotaan kokonaisvaltaisia lähestymistapoja, kuten työelämälähtöisyys, joka opiskelijan näkökulmasta vaikuttaa kaoottiselta. Ylhäältä alaspäin etenevää systeemiajattelua tarvitaan myös, sillä se vahvistaa oppimista ja estää liiallista lokeroitumista, jota kutsutaan myös fakkikutumiseksi.

Kielioppia ei kannata opettaa lapselle, joka tuskin osaa edes sanoja. Lapsi oppii kielen esimerkiksi lauseiden kautta, ja koulussa kielioppi hioo kielitaidon lähes täydelliseksi. Kielioppi on systeemiteoriaa. Yhteiskuntamme korostaa kovasti opiskelijalähtöisyyttä. Systeemiajatteluun perustuva ilmiöpohjaisuus on kaikkea muuta kuin opiskelijalähtöistä, vaan se on mitä suurimmassa määrin opettajalähtöistä. Kun asiat on opittu, tuntuu luonteelta opettaa ne muille ylhäältä alaspäin deduktiivisesti ja syntyy konflikti opetustyössä kokemattoman opettajan ja elämässä kokemattoman oppilaan välillä (Felder ja Silverman 1988).

Ne, jotka eivät ole koskaan itse opettaneet, suosivat eheyttävää opettamista eivätkä ymmärrä, että ennen eheyttämistä tarvitaan aineksia eheyttämiseen. Tästä seuraa, että peruskoululaiset ja lukiolaiset opiskelevat nuorten käsityskyvyn ulkopuolella olevia ilmiötä, jotka ovat opettajille heidän elämäkokemuksensa myötä hyvin kiinnostavia ja ajankohtaisia. Ammattikoulutuksessa tarjotaan oppiainesidonnaisen opetuksen sijasta työelämäsidoista opetusta, jossa hämmärretään oppiaineen rajat. On vaikea omaksua työelämän käytäntöjä laajana pakettina, kun osiin ei ole minkäänlaista tarttumapintaa.

Systeemiajattelun vaarana pinnallisuus

Tutkimusmaailman esimerkit osoittavat, että systeemiajattelu jää helposti pinnalliseksi eikä sitä siksi ehdoteta analyyttisen ajattelun korvaajaksi

vaan sen täydentäjäksi, jolla löydetään uusia tutkimusongelmia ja perustellaan tutkimuksen tieteellistä ja yhteiskunnallista merkittävyyttä. Varsinainen tutkimus etenee kohden yhteistä tavoitetta entiseen tapaan analyyttisellä lähestymistavalla (Barrow 1998), sillä vain se tuottaa tieteellisen tarkkoja tuloksia. Yhteiset tavoitteet löytyvät systeemiajattelulla.

Nimitykset analyyttinen ja systeemiajattelu ovat yleisessä käytössä, mutta terminologia sisältää pienen ristiriitaisuuden, koska myös systeemiajattelussa käytetään analyysiä (Arbnor ja Bjerke 1997). Erona on se, että systeemiajattelussa järjestelmää tarkastellaan kokonaisuutena ympäristönsä osana, kun taas analyyttisessä ajattelussa keskitytään ympäristöstään eristetyn järjestelmän osiin. Fysiikan opetus perustuu eristettyihin järjestelmiin, mutta todelliset järjestelmät ovat avoimia. Analyyttisen ajattelun ongelmat johtuvat siitä, että järjestelmän osat vaikuttavat toisiinsa ja riippuvuus on usein epälineaarinen, ja tästä syntyy emergenssiksi kutsuttu ilmiö.

Paras tutkimusmenetelmä on edelleen Galileo Galilein ja René Descartesin 1600-luvulla luomien ajatusten mukainen ”hajota ja hallitse” eli eteneminen yksinkertaisesta monimutkaiseen (Checkland 1999). Se on myös oppimisen perusta. Oppiminen tapahtuu parhaiten induktiivisesti alhaalta ylöspäin, läheltä kauas, tutusta kohden tuntematonta, yksinkertaisesta monimutkaiseen, konkreettista abstraktiin ja käytännöstä teoriaan. Toinen pe-

rusmenetelmä on iteratiivinen parantaminen, joka perustuu takaisinkytkennän käyttöön. Kokeillaan jotakin ja jos se ei osoittaudu hyväksi, kokeillaan jotakin muuta, joka saadun kokemuksen mukaan toimii paremmin. Teoriat varmennetaan hypoteettisdeduktiivisella menetelmällä. 1900-luvulla alettiin huomata analyttisen lähestymistavan vakavat ongelmat (Bertalanffy 1971), sillä kokonaisuus ei olekaan osiensa summa. Liiallinen erikoistuminen johti lokeroitumiseen ja kokonaiskuvan hämärtymiseen. Suurten kokonaisuuksien hallitsemiseen tarvitaan systeemiajattelua, jossa järjestelmiä tarkastellaan holistisesti ylhäältä alaspäin.

Filosofinen monitieteisyys

Systeemiajattelu on monitieteistä ajattelua, jossa historiallisella näkemyksellä on suuri merkitys. Systeemiajattelu kokoaa yhteen eri tieteenalat ja niiden historian (Kline 1995; Checkland 1999). Sitä voidaan pitää tekniikan filosofiana ja siinä mielessä vielä jokseenkin kehittymättömänä. Kokoavaa systeemiajattelua tarvitaan, sillä monimutkaisten järjestelmien kehittäminen edellyttää monitieteistä lähestymistapaa. Ilman tieteiden välistä yhteistyötä ei ihmistä olisi pystytty viemään kuuhun, vaan raketti olisi jäänyt alustalleen.

Perinteiset tieteet voidaan järjestää yksinkertaistaen hierarkiaksi alhaalta ylöspäin seuraavasti: fysiikka, kemia, biologia, psykologia, sosiologia, taloustiede ja historia. Monia muitakin tärkeitä tieteitä on, mutta tässä mainitsen lisäksi vain matematiikan ja filosofian. Filosofia sijaitsee käsitteellisesti tieteen ja uskonnon välissä ja tieteenhistoria osoittaa, että filosofiasta on muodostunut itsenäisiä tieteitä. Parhaat tutkijat ovat kiinnostuneita filosofiasta ja siten tieteellisen tiedon rajoista. Filosofia on spekulatiota, joka voi johtaa lopulta teorioihin, joita voidaan testata kokeellisesti, ja näin se muuttuu tieteeksi. Filosofia on siten tieteiden uudistumisen lähtökohta. Tiede on sirpaloitunut ja uudet tieteenalat (esim. biokemia) ovat syntyneet vanhojen tieteiden rajapintoihin. Tieteet ovat kypsyneet alhaalta ylöspäin. Esimerkiksi psykologiaa voi pitää yhä tavallaan filosofiana kunnollisten teorioiden puuttuessa tutkimuskohteen monimutkaisuudesta johtuen.

Systeemeissä keskeistä on hierarkia

Systeemiajattelun kovaa ydintä on hierarkia ja siihen liittyvä emergenssi (Checkland 1999). Hierarkia on keino kompleksisuuden hallitsemiseksi. Hierarkiat voidaan jakaa karkeasti sisäkkäiseen, kerrosmaiseen ja matriisihierarkiaan (Kline 1995). Sisäkkäinen hierarkia on tavallinen luonnossa: eliöt koostuvat soluista, ne taas molekyyleistä, atomeista ja alkeishiukkasista. Kun sisäkkäisessä hierarkiassa siirrytään ylöspäin, syntyy emergenttejä eli kompleksisuudesta esiin nousevia ominaisuuksia, joita ei osata ennustaa alemman tason osien avulla. Niihin kuuluvat tieteen suurimmat avoimet ongelmat, mm. kaiken alku (aineen ja energian synty), itseorganisointuminen (morfogeneesi), elämä, tietoisuus ja vapaa tahto (Barrow 1998). Muita tieteen suuria ongelmia ovat esim. fysiikan monen kappaleen ongelma, informaation ja entropian suhde, tiedon merkitykseen liittyvä semanttinen informaatioteoria (Checkland 1999) ja vaikkapa McCarthyn and Hayesin (1969) viitekehysongelma tekoälyn alueella.

Emergenssi on synnyttänyt myös tieteiden hierarkian: psykologiaa ei osata pelkistää biologiaksi, eikä biologiaa osata selittää fysiikan ja kemian avulla. Kerrosmainen ja matriisihierarkia ovat käytössä ihmisten organisaatioissa, mutta ne ovat hyödyllisiä myös tekniikassa. Matriisiorganisaatioissa pystyakseli eli linjaorganisaatio käyttää sisäistä kilpailua johtamisen välineenä ja vaaka-akseli korostaa yhteistyötä.

Tekniikka noudattaa luonnon fundamentaalisia rajoja

Tekniikka käyttää luonnon tuottamia perusresursseja, joita ovat useimmissa tapauksissa raaka-aineet, energia ja informaatio, joka sisältää sekä datan että kontrollin (Bertalanffy 1971; Hubka 1988; Checkland 1999). Järjestelmää sanotaan avoimeksi, jos sen rajojen ylitse kulkee jokin noista perusresursseista. Informaatio voi kulkea vain energian mukana. Entropialain mukaan osa perusresursseista muuttuu käyttökelvottomaksi ”jätteeksi”, joka täytyy siirtää turvallisesti ympäristöön, ellei sitä voida kierrättää. Energian säilymislain mukaan energia ei katoa mihinkään vaan muuttaa muotoaan. Syntyvä jäte on yleensä lämpöä, joka siirretään ympäristöön konvektiolla (kuljettamalla kaasun tai nesteen mukana), johtumalla tai sätei-

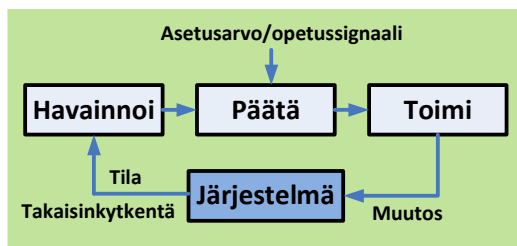
lemällä. Tekniikassa on tavoitteena tuottaa uusia toiminnallisuuksia (tuotteita ja palveluita) käyttäen mahdollisimman vähän perusresursseja, joi- ta on aina niukasti. Resurssitehokkuus korostuu lähestyttäessä luonnon fundamentaalisia rajoja. Usein tehokkuutta mitataan suhteella hyödyt/kus- tannukset, ja kustannukset ovat perusresursseja, joihin kuuluu myös aika. Tehokkuutta mittaa vaika- kapa ajoneuvon nopeus, joka on suhde matka/aika (yksikkönä m/s). Tässä kuljettu matka on hyöty ja käytetty aika on kustannus.

Tekniikan kehitys on etenkin elektroniikassa ollut eksponentiaalista, ja siksi myös vaatimukset lähestyvät nopeasti fundamentaalisia rajoja (Bar- row 1998). Elektroniikan kehitys on noudattanut jo vuodesta 1959 lähtien eksponentiaalista Mooren lakia, jonka monet kuvittelevat olevan luonnonlaki. Kaikki eksponentiaalinen kehitys loppuu aika- naan ja syntyy saturaatiovaihe. Nyt noin 60 vuotta myöhemmin Mooren laki on lopulta pysähtymäs- sä. Syynä ovat paitsi valmistuskustannukset myös fundamentaalisten rajojen läheisyys, käytännössä kohina ja muut atomitason ilmiöt. Samalla tavalla on käymässä muidenkin rajojen kanssa.

Takaisinkytkentä on käytössä kaikkialla yhteiskunnassa

Tekniikkaan voi sisältyä moraalisesti kyseenalai- nen ajatus ihmisen korvaamisesta, kun tekniikan pitäisi oikeastaan laajentaa ihmisen kykyjä, mikä on osoittautunut erittäin hyödylliseksi. Esimerkiksi auto on ihmisen jalkojen jatke, joka voittaa ihmi- sen ylivoimaisesti maratonilla. Tekoälyn sijasta on parasta tavoitella ihmisen kykyjä laajentavaa lisät- tyä älykkyyttä. Järjestelmään kannattaa energia- tehokkuuden varmistamiseksi sijoittaa älykkyyttä vain juuri tarvittava määrä.

Automaatti tarkoittaa sellaista järjestelmää, joka ei vaadi käsi-ohjausta. Kellokoneisto on yksinkertaisin mahdollinen automaatti. Mekaanista automaattia kutsutaan robotiksi. Takaisinkytket- ty silmukka on useimpien automaattisten järjes- telmien perusta (kuva 1). Se keksittiin jo antiikin Kreikassa, mutta sen yleispätevä merkitys alettiin ymmärtää vasta 1900-luvun alkupuolella Harry Nyquistin (1932) tekemän analyysin jälkeen. Takaisinkytketyn järjestelmän kolme perusosaa ovat havainnointi (*sensing*), päätöksenteko ja toiminta



Kuva 1. Automaation perustana oleva yleinen takaisinkytketty säätösilmukka, jossa alimpana on ohjattava järjestelmä. Asetusarvoa tai opetus- signaalia ei tarvita autonomisissa järjestelmissä.

(*acting*), minkä jälkeen silmukka toistuu. Takais- kytkentä on käytössä jopa autolla ajaessa. Sensori (esim. ihmisen kuulo- ja näköaisti, auton nopeus- mittari) tutkii järjestelmän tilaa, päätöksenteko- lohko (ihminen) tallettaa tiedon muistiin, proses- soi sitä ja tekee valintoja ja ohjaa toimielintä (esim. auton ohjauspyörä, kytkin, kaasua ja jarru).

Takaisinkytkentää on käytetty David A. Kolbin (1971) oppimisen teoriassa, jota voi pitää psykolo- gian yhtenä perusteorianana. Sosiologian perustutki- musmenetelmä on Kurt Lewinin (1946) kehittämä samaten takaisinkytkentää hyödyntävä toiminta- tutkimus: yhteiskuntaan kohdistetaan toimenpi- de ja tehdään havainnoja sen vaikutuksesta ja muu- tetaan toimenpidettä iteratiivisesti. Sama idea on käytössä demokraattisessa järjestelmässämme, jossa vaalit edustavat havainnointia, eduskunta edustaa päätöksentekovaltaa ja hallitus toimeen- pannoittaa. Todellinen valta on demokratiassa al- haalla eli kansalla.

Takaisinkytkennän hitaudella on oma roolin- sa, sillä se karsii havaintoihin sisältyvän epätark- kuuden. Talouselämässä ongelmana on se, että suhdannevaihteluiden jaksot ovat paljon pitem- piä kuin vaalikausi, ja siksi päätöksillä aiheutetaan helposti positiivinen takaisinkytkentä, joka vahvis- taa suhdannevaihteluita, kun pitäisi päinvastoin ta- soittaa niitä. Kun menee hyvin, valtio antaa aikai- sempaa enemmän tukea, ja kun menee huonosti, tuki otetaan pois. Jo vanhaan aikaan tiedettiin, että seitsemän lihavan vuoden jälkeen tulee seitsemän laihaa vuotta, joihin kannattaa varautua panemal- la osa tuotosta säästöön. Samaten koulutus ja tut- kimus ovat panostusta tulevaisuuteen.

Historia on tunnettava lokeroitumisen estämiseksi

Satojen vuosien takainen historia opitaan koulussa, vaikkakin on käyty keskustelua siitä, pitäisikö historia olla lukion oppiaineena vapaaehtoinen. Mielestäni historia on koulun tärkein yksittäinen oppiaine. Kokeneimpien tutkijoiden tehtävänä on selvittää viimeisten noin sadan vuoden aikainen tekninen kehitys, sillä oppikirjat ovat aina jonkin verran vanhentuneita ja sama koskee myös systeemijattelun kirjoja. Ilman historiallista näkemystä omista lokeroissaan elävät tutkijat alkavat toistaa naapurilokeroissa olevien tutkimuksia, jotka on tehty kymmeniä vuosia aikaisemmin. Historian avulla asiat muuttuvat kiinnostaviksi, eläviksi ja raikkaiksi. Samalla opiskelija tajuaa, että jotkut asiat ovat todella vaikeita, koska ihmiskunnalla on mennyt niiden oppimiseen satoja vuosia, ja nyt ne pitäisi oppia muutamassa tunnissa.

Lähteet

- Arbnoor, I. ja Bjerke, B. *Methodology for Creating Business Knowledge*, 2. p. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 1997.
- Barrow, J. D. *Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits*. New York: Oxford University Press, 1998.
- Bertalanffy, L. von. *General System Theory*. New York: George Braziller, uud. laitos, 1971.
- Checkland, P. *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester, UK: Wiley, uud. laitos, 1999.
- Felder, R. M. ja Silverman, L. K. Learning and teaching styles in engineering education, *Engineering Education*, vol. 78, 674–681, April 1988.
- Hubka, V. ja Eder, W. E. *Theory of Technical Systems: A Total Concept Theory for Engineering Design*. Berliini: Springer-Verlag, 1988.
- Kline, S. J. *Conceptual Foundations of Multidisciplinary Thinking*. Stanford, CA: Stanford University Press, 1995.

Kirjoittaja on tekniikan tohtori ja VTT:n tutkimusprofessori.

Tiedekirja on kesällä liikkeellä

Vanhan kirjallisuuden päivät
Sastamalassa 30.6.–1.7.2017

Kirjakemmakat Puumalassa
18.–19.8.2017

Tiedekirjan myymälä palvelee kesällä maanantaisin klo 10–16 ja tiistaista perjantaihin klo 10–15.30. Myymälä on suljettu 10.–28.7.

Tiedekirja, Snellmaninkatu 13, 00170 Helsinki, puh. (09) 635 177
tiedekirja@tsv.fi

Verkkokaupпамme palvelee läpi kesän!

