

Heikot kytkennät vahvistavat

Risto Nieminen

Peter Csermely: *Weak Links: Stabilisers of Complex Systems from Proteins to Social Networks*. Springer-Verlag, Heidelberg 2006. 392 s.

Verkoston tutkimus kukoistaa, osana yleisempää tietokonesimulaatioiden siivittämää kiinnostusta kompleksisten systeemien käyttäytymiseen. Mutta mitä tarkoitetaan kompleksisella systeemillä? Erään määritelmän mukaan kompleksinen järjestelmä on heterogeeninen systeemi, joka koostuu erilaisiin, erikoistuneisiin toimintoihin kykenevistä osista, agenteista. Osat vuorovaikuttavat keskenään, siten että järjestelmä kokonaisuudessaan tuottaa vasteen ulkoiselle ärsykkeelle. ”Kompleksinen” ei ole synonyymi sanalle ”monimutkainen”. Monimutkaisinkin systeemin funktion voi usein arvata osien funktioista, mutta ei kompleksisen systeemin, jonka osien uudelleenkytkentä voi tuottaa aivan uuden vasteen.

Verkostat ovat siis toisiinsa kytkettyjen agenttien joukkoja, joita voidaan luonnehtia kytkentöjen topologialla ja voimakkuudella. Agentilla on tyypillisesti muutama voimakas kytkentä ”lähinaapureihinsa” ja joukko heikompia kauempana vaikuttaviin. Joillakin agenteilla on paljon kytkentöjä, joillain vain harvoja. Kytkennät voivat olla säännöllisiä, kuten atomien väliset voimat kidehilassa, satunnaisesti jakautuneita tai joltain siltä väliltä. Erityisen paljon huomiota ovat saaneet nk. mittakaavattomat verkostat, joiden kytkentöjen voimakkuus noudattaa potenssilakia: todennäköisyys P löytää verkostosta kytkentä eli linkki, jonka voimakkuus on x , on kääntäen verrannollinen x :n pieneen po-

tenssiin, $P \sim x^{-m}$. Potenssi m on tavallisimmin välillä 1...3.

Mittakaavattomilla verkoilla on mielenkiintoisia ominaisuuksia, muiden muassa nk. pienen maailman ilmiö: mitkä tahansa kaksi verkoston agenttia voidaan yhdistää vain muutaman linkin kautta. Tämä on seurausta siitä, että potenssilain mukaisesti verkostossa on aina joitain erittäin vahvasti kytkeytyneitä agenteja, ”hubeja”. Pienen maailman ilmiötä on demonstroitu mm. filmitähtien verkoston Kevin Bacon -indeksillä ja matemaatikkojen Paul Erdős -indeksillä. Kun linkki määritellään joko yhteiseksi esiintymiseksi elokuvassa tai tieteellisen paperin kirjoittajana, molemmissa tapauksissa kuka tahansa filmitähti tai matemaatikko voidaan yhdistää Baconiin tai Erdösiin viiden kuuden linkin kautta.

Horjuvuutta monin paikoin

Peter Csermelyn kirjan *Weak Links* keskeinen teesi on, että heikot linkit stabiloivat kaikki kompleksiset systeemit. Heikko linkki määritellään siten, että sen poistaminen tai lisääminen ei muuta verkoston keskimääräistä vastetta. Esimerkkejä heikoista linkeistä ovat sosiaalisten verkoston satunnaiset tuttavuudet, vesimolekyylit proteiinirakenteissa tai solunsisäiset proteiinisillat. Monia muitakin esimerkkejä voi ainakin spekuloida: laumaeläinten hierarkiat, ekosysteemit, immuunijärjestelmät, entsyymit metabolisissa verkostoissa jne. Stabiloituva ominaisuus on vastaavasti sosiaalinen koheesio, proteiinien rakenne ja funktio, solun fenotyyppi, lauman eloonjäanti tai

solun metabolismi. Konkreettinen esimerkki sosiaalisen verkoston toiminnasta on työnhaku: useimmiten työpaikkaa ei tarjoa lähisukulainen tai hyvä ystävä, vaan joku näiden satunnaisista tuttavuuksista on vailla työntekijää.

Peter Csermely käyttää noin kolmanneksen kirjastaan kuvaamaan verkostojen ja kompleksisten systeemien yleisiä ominaisuuksia. Kirja välttää matemaattisia kaavoja, ja siksi teksti ei ole kovin tehokasta. Csermely kertoo kaunopuheisesti itseorganisoituvuudesta, synkronisoinnista, verkostojen topologiasta ja faasimuutoksista sekä monesta muusta viime vuosien suosikkikohteesta. Käsittely ei ole kovin täsmällistä vaan monissa kohdin horjuvaa. Erityisesti termodynaamisten tasapainokäsitteiden (esim. entropia, vapaa energia ja flukтуаatiot) käsittelyssä tekijä ottaa liikaa vapauksia soveltaessaan niitä prigineläiseen tyyliin epätasapainotiloihin. Myös kohinan käsittely on heikoissa kantimissa.

Rohkeaa poikkitieteellisyttä

Peter Csermely on taustaltaan biokemisti ja siksi parhaimmillaan kirjan keskiosassa, missä käsitellään perusteita biologisissa yhteyksissä. Olen tosin eri mieltä heikkojen linkkien merkityksestä yksinkertaisissa materiaalien nukleoitus- ja kasvuilmiöissä sekä proteiinien laskostumisessa. Materiaalien koheesioissa ei ole kysymys atomien ja molekyylien heikoista linkeistä. Sen sijaan solujen stabiilisuus, soluverkostot ja heikkojen kytkentöjen merkitys organismien toiminnalle ovat vakuuttavasti ja kiinnostavasti kirjoitetut.

Kirjan loppuosassa käsitellään eläinten ja ihmisten sosiaalisia verkostoja. Analyysi on jossain määrin pinnallista ja pitkäsanaista, eikä oleellis-

ta sanomaa aina ole helppo omaksua. Samaa voi sanoa myös kulttuuriverkostoista – kieli, kirjallisuus, näytelmät, elokuvat jne. Talousverkostot ja ekosysteemit käsitellään hyvin lyhyesti.

Peter Csermelyn perusteeksi on kuitenkin uskottava ja hän pystyy osoittamaan sille tukeaa hyvin monin esimerkein. Kirjan parasta antia on sen rohkea poikkitieteellisyys, mikä tosin toteutuu odotetusti pinnallisuuden hinnalla. Kirjassa on yli 800:n lähdeviitteen luettelo ja hyvin kirjoitettu sanasto peruskäsitteille.

Kenelle kirja on tarkoitettu?

Voi kysyä, kenelle kirja on tarkoitettu. Verkostoista on viime vuosina kirjoitettu useita lukevalle yleisölle tarkoitettuja popularisaatioita. Pärjätäkseen näille olisi kirjoittajan pitänyt karssia kirjastaan puolet pois, sillä toistoa ja siten tiivistämisen varaa on paljon. Jos kohdeyleisöksi on ajateltu, kuten luulen, tiedeyhteisöä yli sen sisäisten rajojen, hieman ihmetyttää kirjassa vallitseva, jutusteleva ja osin muka-hauska tyyli. Napakampi ja tiiviimpi teksti olisi eduksi tässäkin tapauksessa.

Peter Csermelyn kirja on esitetystä kritiikistä huolimatta arvokas lisä keskustelemaan ja kuvailemaan tiedekirjallisuuteen. Se kuuluu menestyneen hyvin alkuperäisenä, unkarinkielisenä teoksena. Springer on ottanut sen englanninkielisenä uuteen, poikkitieteellisiä teemoja käsittelevään sarjaansa *The Frontiers Collection*, jonka tarkoituksena on nostaa fyysikaalisten tieteiden teemoja ja lähestymistapoja muissa tieteissä ja filosofisessa debatissa sovellettaviksi.

Kirjoittaja on akatemiaprofessori Fysiikan laboratoriossa Teknisellä korkeakoululla.