



kuva: Ilpo Koskinen

Teksti: Ilpo Koskinen

Kybernetiikka: Viisautta on tietää kuinka kaikki ohjaa kaikkea

"Käytännön projektit, joita me täällä teemme ja joista leipäkin ansaitaan, ovat hyvin konkreettisia. Mutta jos todellakin saan aivan vapaat kädet puhua siitä mistä haluan, keskityn kovin mielelläni kybernetiikkaan, jota tutkin vapaa-aikana", sanoo professori Heikki Hyötyniemi heti jutustelumme aluksi. "Se on tällainen perustutkimuksellinen aihe, joka saattaa kiinnostaa monia lukijoita."

Iltalukemiseksi kirja neokybernetiikkaa

Samassa hän ojentaa minulle iltalukemiseksi kirjoittamansa noin 270-sivuisen kirjan 'Neo-

cybernetics in biological systems'. Selaan kirjaa pikaisesti ja näen, että sivut pursuavat mutkikkaita yhtälöitä ja kaavoja. Nousee pala kurkkuun: liki kolmesataa sivua tiivistä johdatusta aiheeseen, joka pitäisi tiivistää nyt parille sivulle! Kysyn toiveikkaana Hyötyniemeltä, onko hän kirjoittanut aiheesta jotakin tiivistä ja kansantajuisia suomeksi. Ei ole.

Sisäpiiriin on mukavan haastavaa tehdä juttuja juuri siksi, että jokainen haastattelu vie uuteen kiehtovaan aihepiiriin. Ideana on, että haastateltava saa keskittyä asioihin, jotka hän itse kokee tärkeiksi ja mieluiseksi. Nyt haaste tuntuu kuitenkin aika suurelta.

Keskustelun edetessä ehdinkoni syvenee.

Hyötyniemen puheessa vilisee termejä, joita en pystyisi selittämään. Eikä kyse ole siitä, että hän haluaisi tehdä vaikutuksen käyttämällä alan erikoistermejä. Nyt vain kuljetaan aika kaukana arkipäivän käsitteistä, vaikka itse asiassa kybernetiikka pyrkii selviämään paljolti juuri siitä, miksi elämä ja maailma ovat juuri sellaisia kuin ovat.

Sinänsä haasteellisuus ei tule yllätyksenä, onhan Hyötyniemen professuurin alueena *complex systems*. Eikä kybernetiikan valintaan yllätä, koska laitoksen muut professorit ovat kuitanneet koko kybernetiikan aihepiirin hyvin lyhyesti: "Siitä Hyötyniemi varmastikin puhuu lisää."

”Olen iloinen että olemme jälleen entisen Sähköosaston yhteydessä. Parhaat opiskelijamme ovat perinteisesti tulleet sieltä”, professori Heikki Hyötyniemi myhäilee.

Neokybernetiikka

$$\bar{x} = Q E \{ \bar{x} u^T \} \bar{u} = \phi^T \bar{u}$$

Ekspliisiittiset lokaalit kuvaukset

$$\bar{x} = (Q^{-1} + E \{ \bar{x} \bar{x}^T \})^{-1} E \{ \bar{x} u^T \} u = \phi^T u$$

Implisiittinen globaali kuvaus

$$\bar{x} = \left(\sqrt{Q^{-1} E \{ \bar{x} \bar{x}^T \}} + \sqrt{Q E \{ \bar{x} \bar{x}^T \}^{-1}} \right)^{-1} \phi^T u$$

Emergentti optimaalinen kuvaus

Matematiikka on luonnon oma kieli

Anelen armoa. Voisimmeko käydä asiaa läpi aivan alkeista lähtien – ja mieluummin ilman näitä kaavoja?

”Kun käytämme matematiikasta tutuja merkintöjä, meidän ei tarvitse erikseen määrittellä käsitteitä, mutta tiedämme kuitenkin tarkasti, mistä puhumme”, Hyötyniemi perustelee. Tuskani havaittuaan hän lupaa kuitenkin jättää matematiikan taustalle ja toteaa, että asian käsittely kaavojen kautta saattaa johtaa siihen, että keskitytään liiaksi teknisiin yksityiskohtiin. Samalla hän kuitenkin korostaa, että matematiikalla on avainrooli myös siksi, että se on luonnon oma kieli ja sillä voidaan hallita koko kybernetiikan kenttä:

”Ei-diskreetti-arvoisia-ilmioita käsitellään reaali- ja yhtäaikaista vuorovaikutuksia lineaarialgebralla sekä matriisilaskennalla. Aikariippuvat ilmiöt hallitaan differentiaaliyhtälöillä, aikaskaalat ja emergenssi tilastollisilla työkaluilla”, Hyötyniemi listaa.

Mutta mitä se kybernetiikka lopulta on, jos asia pitää ilmaista hyvin kansantajuisesti?

Jo muinaiset kreikkalaiset ...

”Ehkä kaikkein paras johdatus kybernetiikkaan on se kaikkein vanhin, jo antiikinajan Kreikassa eläneen Herakleitoksen noin 540 vuotta ennen ajanlaskumme alkua esittämät

johdanto luonnonfilosofiaan”, Hyötyniemi sanoo ja poimii esiin joitakin Herakleitoksen (englanninkielisessä kirjallisuudessa *Heraklitus*) syvällisiä oivalluksia.

Alla näihin kuuluisiin lauseisiin on liitetty lyhyet esimerkinomaiset selitykset neokybernetiikan hengessä. Aikalaisiltaan Herakleitos sai lempinimen Skoteinos, hämärä, koska hänen filosofisia näkemyksiään pidettiin melkoisen monitulkintaisina.

Panta rhei – Kaikki virtaa.

– Herakleitoksen ehkä kaikkein kuuluisimman lauseen mukaan maailmassa ei ole mitään staattista, kaikki staattisina koetut asiat ovat ainoastaan dynaamisten järjestelmien dynaamisia tasapainotiloja.

Kaikki muuttuu, kaikki säilyy samana.

– Organisaatioissa henkilökunta vaihtuu kaiken aikaa, mutta toiminnot jatkuvat. Ihmiskehossa soluja syntyy ja kuolee jatkuvasti, mutta yksilöt säilyvät. Hermostolutkin uudistuvat, mutta tietoisuus säilyy.

Et voi astua samaan virtaan kahdesti.

– Virta ei ole enää myöhemmin samanlainen – eikä myöskään siihen astuja.

Kaikki perustuu jännitteille – ja piilossa olevat jännitteet ovat kaikkein tärkeimpiä.

– Kaikkialla on jännitteitä ja niiden vastajännitteitä. Lajit kilpailevat ekologiassa, yritykset taloudessa. Kilpailu ja kilpaoppiminen synnyttävät erikoistumista ja moninaisuutta.

Viisautta on tietää, miten kaikki ohjaa kaikkea.

– Luonnossa ei ole keskitettyä ohjausta. Eikä taloudessa. Eikä kehossa. Mutta vuorovaikutukset ja takaisinkytkennät johtavat itse säätelyyn ja itseorganisoitumiseen.

Herakleitos katsoi, että kaikkea muutosta hallitseva järki, Logos, sai alkunsa tulesta. Todellisuus on kuin tuli; koko ajan liikkeessä ja muuttaa muotoaan.

Pysyvää on vain jatkuva muutos

”Herakleitoksen mukaan ei ole olemassa staattista maailmaa, on vain jatkuvaa muutosta. Nykytermejä käyttäen voitaisiin sanoa, että kaikki, mitä me havaitsemme on attraktoreja, dynaamisten järjestelmien stabiileja tasapainotiloja”, Hyötyniemi muotoilee.

”Nykyiset lähestymistavat eivät osaa selit-

tää – tai edes mallintaa – näitä havaintoja. Polku ymmärrykseen kulkee ihmettelyn kautta; millainen on kompleksisten järjestelmien stabiilien attraktorien luonne?”

Juttua kirjoittaessani kaivan netistä esiin muutamia aiheeseen liittyviä käsitteitä selittäviä yksinkertaistettuja määritelmiä:

Attraktori on faasiavaruuden joukko, johon dynaaminen systeemi päätyy, kun aikaa kuluu tarpeeksi. Systeemi pysyy attraktorin läheisyydessä, vaikka sitä hieman häiritään. Geometrisesti attraktori voi olla piste, käyrä, muu monisto tai jopa fraktaali.

Staattisen järjestelmän tila ei riipu aikaisemmista tiloista. Staattisessa järjestelmässä vaste muuttuu vain täsmälleen niillä hetkillä kuin herätekin.

Dynaamisen järjestelmän tila sen sijaan riippuu aikaisemmista tiloista. Dynaamisen järjestelmän vaste saattaa vaihdella pitkän aikaa vaikka herätteen muutos olisi vain hetkellinen ilmiö. Dynaamisen järjestelmän yhtälöissä esiintyy derivaattoja ja integraaleja.

Kybernetiikka oli yksi tekoälyn alkujuuri

Herakleitoksen jälkeen kybernetiikan tutkimuksessa oli pitkähkö ’taantuma’; aiheeseen palattiin peräti vasta noin 25 vuosisataa myöhemmin.

Vaikka Herakleitos olikin oivaltanut monia kybernetiikan perusasioita, hän ei keksinyt nimeä kybernetiikka. Termin teki tunnetuksi kybernetiikan isäksi tituleeratun yhdysvaltalaisen **Norbert Wienerin** vuonna 1948 julkaissama kirja: *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Kirja osoitti, että koneissa voidaan hyödyntää aivan samoja säädön ja tiedon siirron periaatteita kuin luontokin käyttää.

”Silloin 60 vuotta sitten kybernetiikka oli myös yksi tekoälyn alkupiste”, Hyötyniemi kertoo. Hänelle itselleen aihe on hyvin tuttu, koska hän on ollut Suomen Tekoälyseuran (STeS ry) hyvin aktiivinen jäsen – toimipa hän jopa seuran puheenjohtajana vuosina 1999–2001, juuri ennen kuin hänestä tuli professori marraskuussa 2001.

Hyötyniemi myöntää itse auiliisti, että tekoälytausta leimaa hänen tutkimusaiheitaan yhä edelleenkin. Kyberneettiset järjestelmät on alue, joka koskettaa sekä säätö- ja systeemitekniikkaa että myös tekoälyä.

Suuria lupauksia, karvaita pettymyksiä

"Tekoälypuolen kehitys on ollut ajoittain hyvinkin myrskyisää. Mutta koska kybernetikka on kertaluokkaa teknisempi ja sillä on tiukempi kytkentä todellisuuteen, siinä ei ajauduta aivan yhtä helposti niin syvälle hypoteeseihin ja löysiin lupauksiin. Mutta silti kybernetiikan kehitystä ovat leimanneet valtaiset odotukset ja karvaat pettymykset", Hyötyniemi kertoo.

Hänen mielestään asian puki oivallisesti sanoiksi Gregory Bateson jo vuonna 1966: "Luulen, että kybernetikka on suurin haukkus Tiedon Puun hedelmistä, jonka ihmiskunta on ottanut viimeisten 2000 vuoden aikana. Mutta useimmat haukkaukset tästä omenasta ovat osoittautuneet varsin huonosti sulaviksi – useimmiten kyberneettisistä syistä johtuen."

"Tätä lainausta voisi avata vaikka näin: Tiedeyhteisökin on kyberneettinen, kilpailuvien toimijoiden joukko, eivätkä kehitysaskeleet tutkimuksessa useinkaan ole johdonmukaisia ja ristiriidattomia", hän tulkitsee.

Kybernetikka oli 50- ja 60-luvuilla yksi ensimmäisistä suurista 'ismeistä', taisipa olla jopa ensimmäinen, josta tuli 'hypeä'. Siitä toivottiin ihmeläköttä liki kaikkiin ongelmiin.

Hieman samoihin aikoihin, mutta aivan erityisesti 60- ja 70-luvuilla kybernetikka sai syyttä suotta paljon lokaa niskaansa, koska Neuvostoliitossa termi määriteltiin hieman uudelleen ja sen nimissä poljettiin niin kansalaisia kuin kokonaisia kansakuntiaakin, kun yhteiskuntaa pyrittiin ohjaamaan 'optimaalisesti' kybernetiikasta johdetuilla opeilla.

Kybernetikka – täynnä harhaa ja kuvitelmia

Yksi kybernetiikan alan ongelmista on yhäkin se, että siitä on vallalla hyvin monenlaisia vääriä kuvitelmia ja selkeitä harhakäsityksiä.

Hyötyniemi toteaa, että nykyisin kybernetikka assosioidaan helposti kyborgeihin ja erityisesti tieteistarinoista tutuihin puoli-ihmisiin ja puolirobotteihin. Sinänsä termi kyborgi tarkoittaa biologista organismia, johon on yhdistetty teknologiaa. Määritelmä kattaa siis mm. ihmisen, jolla on sydämentahdistin.

Hyötyniemi uskoo kuitenkin, että monet taantumat nähnyt ala on taas nousussa – joskin nytkin alan lämpeneminen ja suurin



"Hämärä" luonnonfilosofi Herakleitos oli aika monipuolinen kaveri. Kun kertosimme Sähköklubin porukassa railopelastuksen niksejä ennen Norjan jäätiköille suuntautuvaa hiihtoretkemme, opin solmukirjasta, että hänen tiedetään kirjoittaneen myös mainiosta solmusta, joka tunnetaan nyt amerikkalaisena säkkisolmuna. Hän käytti keksinnöstä nimeä kirurginsolmu, joskin se sopii erinomaisen mainiosti vaikkapa saviruukun kantamiseen sen kaulasta sidottuna. (Geoffrey Budworth; Kaiken maailman solmut.)

innostus perustuvat paljolti kyseenalaisiin seikkoihin, kuten siihen, että fraktaalien ja muiden matemaattisten kaavojen visualisointi on tietokoneilla hyvin helppoa. Hän näyttää eräästä Mandelbrotin joukosta tulostetun kuvan, jonka yksi sakara näyttää kovasti ihmissikiöltä – selkäranka ja silmäkin aivan paikoillaan – mutta tuskin näillä asioilla on silti juurikaan tekemistä keskenään.

Toinen Hyötyniemen esimerkki on vielä astetta hauskempi. Kolme MIT:n opiskelijaa tekivät kelpo tekkarijännän ja tarjosivat kybernetiikan tieteelliseen konferenssiin esitelmää, jonka teksti arvottiin satunnaissana-generaattorilla. Pohjana oli jonkun muun alan tieteellinen artikkeli, josta poistetut avainsanat oli korvattu kybernetiikan juuri nyt kuumilla iskusanoilla, jotka tietokone arpoi paikoilleen. Ehdotus meni läpi, pojat saivat kutsun konferenssiin!

Oppi yleisten systeemien abstraktista säädöstä

Mutta mitä kybernetikka aivan oikeasti on?

Yksi määritelmä sanoo, että kybernetikka on oppi yleisistä systeemeistä ja niiden yhteisestä säädöstä abstraktissa mielessä.

Toinen suuntaa-antava määritelmä sanoo, että kybernetikka on tieteenhaara, joka tutkii informaatio- ja kommunikaatiojärjestelmiä elollisissa ja elottomissa organismeissa – siis esimerkiksi ihmisissä, eläimissä, koneissa ja yhteiskunnassa. Eli kyseessä on kovin moni-

tieteinen ala, joka piiriin kuuluvat ainakin matematiikka, fysiikka, tietojenkäsittelyoppi, lääketiede, biologia sekä insinööri- ja yhteiskuntatieteet.

Tiiviisti voisi sanoa, että kybernetikka on tiede, joka tutkii erilaisten järjestelmien säätö- ja viestintätapahtumia.

Eriyksen kiinnostavan aiheen kybernetikasta tekee se, että kyberneettisillä systeemeillä on juuri niitä ominaisuuksia, joita säätötekniikassa tavoitellaan. Ne esimerkiksi eliminoivat tehokkaasti tulevat herätteet – siis myös tasapainoa uhkaavat häiriöt.

Lisää kiehtovuutta tuo se, että toiminta perustuu adaptiivisen oppivan säädön periaatteisiin. Vaikka lokaalilla tasolla ei ole koordinaatiota, näyttää siltä, että toimijoiden kokonaisuus muodostaa globaalilla tasolla ympäristöstään eräänlaisen emergentin mallin, jonka perusteella se sitten säätää ympäristöä. Kun ympäristö muuttuu, malli kehittyy kaiken aikaa.

Mutta mikä on kyberneettinen systeemi?

"Kaikki paitsi ihmisen tekemät järjestelmät ovat kyberneettisiä", Hyötyniemi karrikoi. "Siksi luonnon toiminnan ymmärtäminen, siitä oppiminen ja 'evoluutioinsinöörin' kehittämien ratkaisujen hyväksikäyttö auttavat ymmärtämään kybernetiikkaa ja toteuttamaan parempien insinöörijärjestelmiä."

Onko jäniskin systeemi?

Hyötyniemi painottaa, että säätötekniikasta tutut käsitteet *systeemi*, *malli* ja *säätö* voidaan kybernetiikassa ymmärtää hyvinkin laajassa merkityksessä.

Esimerkiksi *systeemi*, eli *järjestelmä*, eli *prosessi* voi olla mitä tahansa, joka voidaan hahmottaa toiminnallisena kokonaisuutena. Netistä löytyy hauskaa aineistoa siitä kun Hyötyniemi ja hänen oppilaansa pohtivat onko esimerkiksi jänis systeemi. Tiivistetysti vastaus on, että onhan se jäniskin systeemi, mutta jos se erotetaan ympäristöstään, niin ilman ruokaa pupu ei loiki kovin pitkälle.

Tämä yksinkertainen esimerkki tuo esiin kybernetiikan keskeisen haasteen: on hyvin vaikeata rajata mihin jokin kyberneettinen systeemi 'loppuu'. Kaikki riippuu kaikesta. Ja viisautta on tietää, kuinka kaikki ohjaa kaikkea – kuten Herakleitos totesi.

Systeemitheoria lokeroi: avoimet, suljetut ja kompleksiset järjestelmät. Näin jaeteltuna kyberneettiset järjestelmät päätyvät yleensä luokkaan kompleksiset järjestelmät.

Aivan vastaavasti myös sana malli voi kybernetiikassa tarkoittaa mitä hyvänsä järjestelmän yksinkertaistettua kuvausta, myös sellaista ajatuksissa olevaa mallia, jota ei ole vielä saatettu matemaattiseen muotoon.

Ja sana säätö tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että järjestelmä saatetaan haluttuun tavoitetilään jonkin mallin avulla.

Luonnossa ei ole keskitettyä säätöä

”Säätöteknikassa on tapana ajatella, että on säätäjä ja säädettävä, mutta luonnossa todellisuus on toisenlainen. Siellä ei ole keskitettyä säätöä. Kokonaisuus muodostuu aika tyhmistä toimijoista, *agenteista*, jotka toimivat hyvin itsekäästi ja pyrkivät lähinnä vain säilymään hengissä”, Hyötyniemi kertoo.

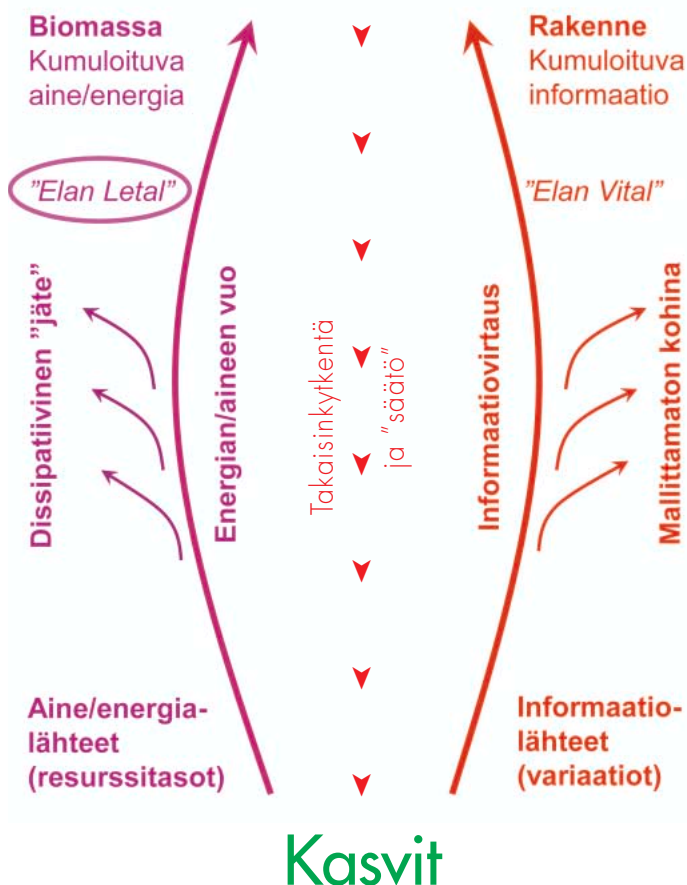
”Vaikutelma, että luonnossa on älykkäitä säätäjiä, on silkkää harhaa. Pikemminkin on niin, että kaikkea toimintoja ohjaavat yli-innokkaat toimijat, milteipä suoranaiset sählärit. Toiminta on myös usein äärimmäisen epäjohdonmukaista – oikea käsi ei aina tiedä mitä vasen käsi tekee.”

”Älykkyyden vaikutelma syntyy ympäristön kautta tapahtuvan negatiivisen takaisinkytkennän ansiosta: resurssien hyödyntäminen vähentää resursseja muilta toimijoilta, jolloin näiden on pakko keskittyä muihin resursseihin – näin emergoituu ’työnjako’ ja ekologiset lokerot.”

”Herakleitos katsoi, että kaikkea ohjaava perimmäinen järki eli Logos on tuli, mutta kyberneettinen systeemi toimii pikemminkin kuin palosammutin. Ylempi taso pyrkii aina ajamaan alemman tason energian minimiin, eli systeemit eliminoivat parhaansa mukaan tulevat herätteet”, Hyötyniemi vertaa.

”Oikeassa perspektiivissä tarkasteltuna kyberneettisille järjestelmille ominainen järjestyksen kasvu ei ole myöskään ristiriidassa termodynamiikan toisen pääsäännön kanssa: kehittynyt säätäjä eliminoi variaation, jolloin ajaututaan kohti ’lämpökuolemaa’. Entropia siis kuitenkin kasvaa systeemin ja sen ympäristön muodostamassa kokonaisuudessa mahdollisimman tehokkaasti.”

Kasvinsyöjät



Kasvit

Kyberneettisen systeemin abstraktit virtaukset

Kybernetiikan teoria antaa työkalut, joilla voidaan laatia kaavioita, joissa näkyy miten aine ja informaatio kulkevat erillisinä virtoina. Informaatiovirroista muodostuu takaisinkytkentäsilmuksia, jotka ohjaavat aineen ja energian kulkua.

Yllä oleva kaavio on pelkistetty kuvaus kasvien ja kasvinsyöjien vuorovaikutuksesta. Aivan vastaavasti voidaan mallintaa vaikka sosiaalisia ja taloudellisia järjestelmiä.

Kaaviossa alhaalla ovat kasvit, ylhäällä niitä ’säätävät’ kasvinsyöjät. Kaavion oikea puoli kuvaa informaatiovirtoja ja vasen puoli fyysisen materiaalin sekä energian kulkua. Kyseessä on siis aineen ja informaation välinen ’uudenlainen dualismi’.

Informaation kulku:

’Elämänvoima’ virtaa informaationa ylempälle tasolle, jonne muodostuu rakennetta

(kasvinsyöjien lajit) alemman tason resurssien (kasvit) vaihtelun perusteella. Osa informaatiosta jää mallintamattomaksi kohinaksi.

Vastaavasti kasvien näkökulmasta informaatiota olisivat esimerkiksi vuosittaiset kosteuden, valon ja lämmön vaihtelut, joiden vuoksi ne kasvavat eri aikoina eri tavalla.

Aineen ja energian kulku:

Ylemmän tason rakenteen sisällä muodostuu biomassaa, fyysisiä otuksia, jotka syövät alemman tason resursseja, siis kasveja. Ja samalla syntyy dissipatiivista jätettä. Kasvinsyöjät siis tavallaan laivat yhdessä hajautetun mallin alemmalla tasolla olevista resursseista, joita ne sitten säätävät tämän mallin perusteella.

Eri eläinlajit – samoin kuin eri kasvilajitkin – käyvät kaiken aikaa keskinäistä oppimiskilpailua. Parhaiten menestyvät ne lajit, jotka hyödyntävät tehokkaimmin tarjolla olevan informaation. Evoluution myötä muodostuu ekologisia lokeroita, siis eri lajeja.

Kasvinsyöjät säätävät kasvit

”Ajatellaanpa esimerkiksi kyberneettistä ekosysteemiä, jossa on kasveja ja kasvinsyöjiä. Siellä kasvinsyöjien populaatiomäärät kasvavat sellaisiksi, että ne parhaalla mahdollisella tavalla pystyvät syömään ne resurssit, jotka ovat tarjolla. Eli kasvit tulevat säädetyiksi”, Hyötyniemi jatkaa.

”Käytännössä asiat eivät kuitenkaan ole kovin yksinkertaisia, koska resurssissa on variaatioita. Jonakin vuonna on vaikkapa paljon kosteutta, jolloin joku kasvi menestyy hyvin – ja silloin myös sitä syövä eläinlaji menestyy hyvin.”

”Vuosiin on paljon vaihteluita. Näyttää siltä, että vallitsee täysi kaaos. Mutta tilastollisesti tarkasteltuna havaitaan, että siellä on olemassa selkeitä rakenteita. Kyberneettinen malli tarkastelee juuri näitä emergoivia tilastollisia rakenteita eli ekologisia lokeroita.”

Pienenä sivuheittona Hyötyniemi esittelee elämän olemusta tutkineen **Ilya Prigoginen** hauskan ajatuksen siitä, että eliön *eläväisyys* voidaan luokitella hyvin yksinkertaisesti jo pelkästään sen perusteella, kuinka tehokkaasti se käyttää tarjolla olevia resursseja: Eliö on sitä eläväisempi, mitä enemmän se tuhlaa resursseja ja tuottaa lämpöä ja *dissipatiivista* jätettä, joka sitoo paljon energiaa. Luokittelussa ei siis tarvitse tarkastella edes sitä, millainen eliön rakenne on tai millainen ekosysteemi tai kokonaisuus on kyseessä.

”Kyberneettisessä kehyksessä voidaan informaation sekä aineen/energian virtaukset kytkeä yhteen”, Hyötyniemi jatkaa. (Kaavio-kuva edellisellä sivulla.)

Hyötyniemen puhussa pohdin mielessäni, että eiväthän ne kasvinsyöjät nyt välttämättä niin kovin tyhmiä agenteja ole.

Älykkyyden vaikutelma takaisinkytkennällä

Hyötyniemi kaiketikin arvaa ajatukseni ja esittää eräänlaisen vastaesimerkin siitä, että jo pelkkä takaisinkytkentä voi synnyttää mielikuvan suorastaan älykkästä toiminnasta.

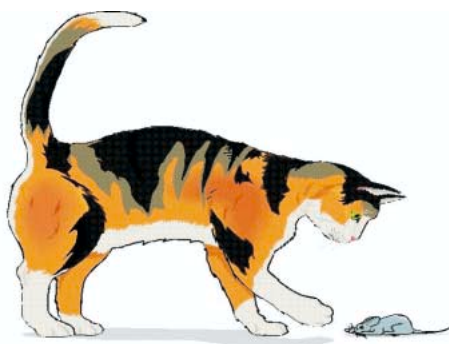
Hän esittelee Heurekan Automaationäyt- telyä varten suunnitellun laitteen, jolla pyrittiin



Heurekan Automaationäytelyyn suunniteltu automaation etuja havainnollistava laite.

havainnollistamaan automaation etuja. Laitte on eräänlainen pelikone, jossa kuula on pyöreällä kuperalla pinnalla, jota voidaan kallistella kahden ristikkäisen akselin varassa siten, että kuulan voi saada vieritettyä keskele pintaa, siis korkeimmalle kohdalle.

Käsiohjauksen rinnalla laitteessa on automaatiohjaus, jossa koko homman hoitaa optimisäätäjä, joka näkee pallon paikan laitteen katossa olevan kameran kuvasta.



ihmisen ohjauksessa pallo vaeltelee sinne tänne eikä tahdo pysyä halutulla paikalla. Mutta kun automaatiohjaus napsautetaan päälle, säätäjä suorastaan heittää pallon reunalta keskelle pintaa – ja siinä se sitten pysyy liki hievahtamatta.

”Hyvin suunniteltu säätö vaikuttaa suorastaan taikuudelta”, Hyötyniemi tiivistää.

Seuraavassa Hyötyniemen kalvossa kissa jahtailee hiirtä. Hän korostaa, että itse asiassa myös *kognition* alimmat tasot toimivat suoraan takaisinkytkennän varassa. Jos kissan näkökentässä vilahtaa jotakin hiirtä muistuttavaa, olkoonpa sitten vaikka vain lankakerä, niin kissa oitis kääntää päänsä ja ryntää hiirimäisen hahmon perään. Kyseessä on hyvin pitkälle ’kiinteästi langoitettu’ refleksi.

Todettakoon, että yksi Hyötyniemen tutkimuskentistä on ’koneellinen kognitio’.

Muistava voi ennustaa tulevaisuutta

Tietysti voi kysyä sitäkin, onko korkeimmissakaan älykkyyden muodoissa lopultakaan kyse mistään muusta kuin takaisinkytkennästä, johon on vain lisätty riittävästi laskenta-, päätely- ja muistikapasiteettia.

Evoluutiohan ei kehittänyt muistia siksi, että me voisimme vanhainkodissa muistella mukavia menneitä, vaan sitä varten, että osaisimme ennustaa tulevaisuutta.

Ennustamista voi oppia, jos osaa hyödyntää muistamaansa tietoa. Asiolla on tapana toistua, historia toistaa itseään. Ja fiksumia on tallentaa muistiin myös muilta yksilöiltä sekä aiemmilta sukupolvilta saatua tietoa: nokkela selviää tilanteista, joihin viisas ei edes joudu; viisas oppii muidenkin kokemuksista, järkevä omistaan, tyhmä ei edes omistaan.

Todella viisaassa adaptaatiossa ja säädössä on olennaista, että järjestelmä osaa päätellä jo ennusmerkeistä, mitä on tulossa – ja tietää jopa sen, mitä jonkin asian muuttamisesta tai muuttamisesta seuraa tai voi seurata joskus paljon myöhemmin.

”Tällainen ’tulevaisuuden malli’ mahdollistaa ympäristön ’säätämisen’ tavoitellaan myös silloin, kun toimenpiteiden ja niiden vaikutusten välillä on viivettä”, Hyötyniemi tähdentää.

'Oikea' älykkyys vaatii oppimiskykyä

Yksi ns. oikeamman älykkyuden keskeinen tunnusmerkki on oppimiskyky. – Ja tästäkin Hyötyniemellä on esittää hyvin havainnollinen esimerkki perinteisen säätötekniikan puolelta, ns. adaptiivinen säätäjä.

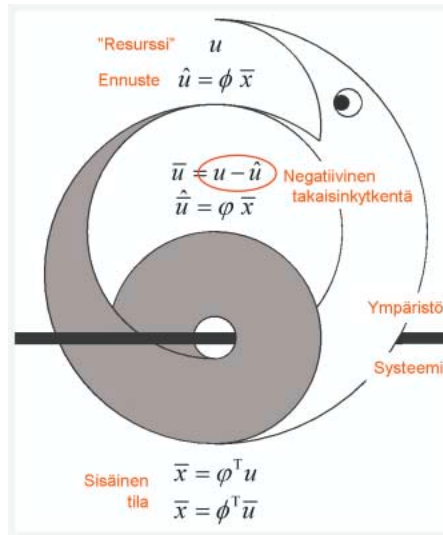
Adaptiivisen säätäjän toiminta perustuu nimenomaan oppimiskykyyn. Ideana on rakentaa säätäjä, joka kaiken aikaa tarkkailee säädettävän järjestelmän toimintaa ja etsii itse ne periaatteet, joiden mukaan järjestelmä tulee säätää, jotta haluttu tila saavutetaan. Nyt siis säätäjä itse rakentaa mallin järjestelmästä ja säätää sitten järjestelmää tämän itse laatimansa mallin avulla.

Idea on loistava, mutta adaptiivisilla säätäjillä on silti melkoisen huono maine, koska niiden tiedetään käyttäytyvän usein suorastaan patologisesti. Ja ongelman syynä on juuri niiden oppimiskyky.

Mitä 'fiksumpi' adaptiivinen säätäjä on, sitä nopeammin se oppii säätämään prosessia tai muuta systeemiä niin, että se ohjautuu haluttuun tilaan. Mutta juuri silloin ongelmat alkavatkin. Kun systeemi saadaan ajetuksi optimaaliseen tilaan ja prosessista saadaan aivan äärimmäisen hyvää tuotetta, kaikki säätötoimintaa ohjaavat, tavoitetilan ja todellisuuden välistä eroa mittaavat erosignaalit tulevat nolliksi. Tällöin säätäjä ei saa enää mitään palautetta systeemin toiminnasta. Tavallaan siltä katoaa kaikki ohjauksessa tarvittava informaatio, eikä sillä ole enää mitään, minkä pohjalta kehittää systeemin mallia.

Optimiin päässeelle säätäjälle käy sitten helposti niin, että se pyrkii mallintamaan pelkkää kohinaa, jolloin kärpäsestä tulee härkänen – ja äkkiä prosessi on ajettu pitkän matkaa sivuraiteelle. Ja silloin erosignaalit paukahtavat suuriksi, jolloin säätäjälle on taas tarjolla oivaa materiaalia, jonka pohjalta se voi kehittää malliaan.

Näin adaptiivisilla säätäjillä on taipumus toimia syklisten hoipertelevasti. No, tietenkin insinööreillä löytyy lääkkeitä tähänkin ongelmaan; esimerkiksi säätäjälle voidaan antaa tahallaan huononnettua, esimerkiksi sopivasti kohinalla höystettyä informaatiota, jottei sen 'aika tule pitkäksi'.



Kyberneettinen järjestelmä on kuin käärme, joka syö omaa häntäänsä: resurssien mahdollisimman tehokas kuluttaminen johtaa lopulta nälkiintymiseen. Täydellisen tasapainon saavuttaminen johtaa romahdukseen.

Liika tasaisuus vie ääri rajoille

"Itämaisessä filosofiassa pyritään mahdollisimman hyvään tasapainoon. Näin on myös tavallisissa säätöjärjestelmissä, mutta kyberneettinen intuitio menee pidemmälle: Pelkkä tasapaino ei riitä – jotta mallin muodostaminen onnistuisi, tarvitaan tasapainon ympärillä variaatiota", Hyötyniemi tiivistää ja heittää pari esimerkkiäkin:

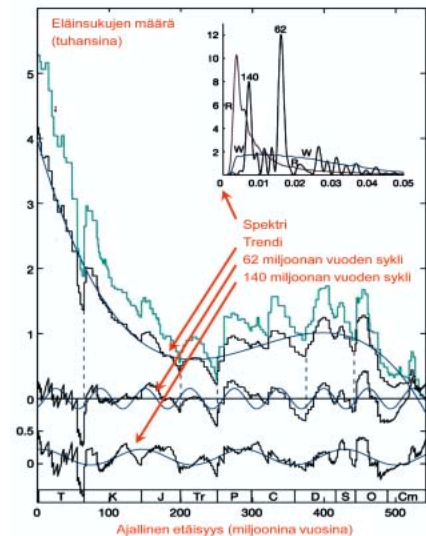
"On esitetty esimerkiksi allergioiden ja muiden autoimmuunisairauksien johtuvan paljolti siitä, että immuunijärjestelmä ei saa lapsuudessa tarpeeksi oikeanlaisia herätteitä. Sama koskee myös kognitiivista järjestelmää: jos elämä on liian tasaista, haetaan äärimmäisiä kokemuksia."

"Onni ei ole tasapaino, vaan tieto elämänhallinnasta, eli siis siitä, että tilanteesta riippumatta tasapaino pystytään palauttamaan", Hyötyniemi filosofoi.

Laajoille kyberneettisille kokonaisuuksille on ominaista, että niissä syntyy aika ajoin myös suoranaisia katastrofeja. Kun niissä olevat järjestelmät kehittyvät ja adaptoituvat valtavan pitkän ajan, säädöt tarkentuvat ja vapausasteet karisevat – ja lopulta järjestelmistä tulee äärimmäisen herkkiä muutoksille. Tämän jälkeen hyvin pienikin ympäristön muutos voi romahduttaa jonkin järjestelmistä. Ja koska kaikki ohjaa kaikkea, romahdusaalto leviää helposti naapurijärjestelmiin.

Kehittyvätkö dinot liian pitkälle?

Hyötyniemi poimii mielenkiintoisen esimerkin: Nature-lehdessä oli artikkeli siitä, että fossiililöydöksistä on voitu päätellä (kuva yllä), että luonnossa on esiintynyt selvästi jaksollisesti massiivisia sukupuuttoaaltoja, joissa lajien määrä on romahtanut. Jakson pituus on noin 62 miljoonaa vuotta. [Rohde and Muller (2005): *Cycles in fossil diversity*. *Nature* 434.] Esimerkiksi dinosaurukset kuolivat noin 65 miljoonaa vuotta sitten – ja monien mielestä myös juuri nytkin on yöryssä valtaisa sukupuuttoaalto.



kuva: Rohde and Muller, Nature 434.

"Dinosaurusten katoamisyyksi on tarjottu muun muassa meteoriittia. Mutta törmäkö niitä tasaisesti noin 62 miljoonan vuoden välein?", Hyötyniemi kysyy. "Vai onko kyse siitä, että dinosaurukset ja muut kadonneet eläinlajit vain kehittyivät ja erikoistuivat aivan liian pitkälle, jolloin ne eivät enää sopeutuneet riittävän nopeasti suhteellisen pieniin ympäristön muutoksiin? Oppivatko ekosysteemit aina noin 60 miljoonan vuoden jälkeen jollakin tapaa liian hyviksi?"

Samantapaisia selityksiä voidaan tarjota myös muinaisten valtakuntien ja kulttuurien tuhoutumiseen. Monesti nekin taisivat vain kehittyä liian pitkälle.

"Ja entä se paljon puhuttu uusi talous?", Hyötyniemi kysäisee. "Siinähan pitkä tasainen kasvu päätyi nykyiseen katastrofiin."

Suurin haaste emergenssin kesytys

Kybernetiikan suurin haaste on tekstissä jo aiemmin vilahdellut käsite emergenssi.

Emergenssi tarkoittaa, että jossakin kokonaisuudessa syntyy tai nousee esiin uusia odottamattomia ilmiöitä, ominaisuuksia tai toiminnan tasoja, joita ei sen osilla ole. Esimerkiksi elottomat molekyylit muodostavat yhdessä elävän solun, yksittäisistä soluista muodostuu olio, ja hermosolujen verkosto mahdollistaa tietoisuuden syntymisen. Järjestystä syntyy 'tyhjistä', ikäänkuin itseorganisoituneesti.

Emergenttien ilmiöiden synty edellyttää toiminnallisuutta, liikettä ja vuorovaikutusta, mutta myös sitä, että kokonaisuus on riittävän kompleksinen ja että siinä on lukumääräisesti riittävän paljon osasia ja toimijoita.

Emergenssiin liittyy läheisesti filosofinen ja ontologinen käsite holismi, jonka mukaan kokonaisuus on enemmän kuin osansa tai osiensa summa. Holismin perusidean esitti jo antiikinajan Aristoteles, joskin nimi keksittiin taaskin myöhemmin.

Holismi kritisoi länsimaista tiedettä siitä, että sen tapana on paloitella tutkittava asia osiin, joita kutakin tutkitaan aivan erikseen – lainkaan välittämättä siitä, että näissä osissa ei ole kokonaisuuden emergentejä piirteitä.

Jotta kybernetiikasta tulisi salonkikelpoinen, sen pitää 'kesyttää' emergenssi, joka näyttää olevan vahvasti ristiriidassa perinteisten reduktionististen tieteiden kanssa.

Erityisesti insinöörit ajattelevat reduktionistisesti ja pilkkovat ongelmia osiin, joihin sitten etsitään ratkaisuja erikseen. Kybernetikassa kuitenkin kaikki vaikuttaa kaikkeen ja koko systeemillä on piirteitä, joita sen osilla ei ole.

Hyötyniemi sanoo, että neokybernetiikan missio on tehdä emergenssin käsitteestä tieteellisesti hyväksyttävä.

Jään miettimään, miksi tuo etuliite *neo*? Halutaanko sillä tehdä 'hajurakoa' huonomaaiseen 'perinteiseen' kybernetiikkaan?

Myöhemmin juttua tarkistettaessa Hyötyniemi kertoo taustan: "1970-luvulla uutta näkökulmaa kybernetiikkaan alettiin kutsua nimellä *New Cybernetics*. No, neokybernetikka on sitten uusi näkökulma tähän uuteen kybernetiikkaan!", hän naurahtaa.

Emergentejä robottiyhteisöjä?

Emergenssin mekanismien selvittäminen ja ymmärtäminen on kovin haastavaa, mutta niistä koitunee paljon iloa – kunhan ne vain hallitaan hyvin. Olisi kovin mukavaa, jos esimerkiksi iso prosessilaitos kehittäisi itse ikäänkuin tyhjistä kaiken säädössään tarvittavan osaamisen ja toimisi sitten optimaalisesti ja tuottaisi huippuhyviä tuotteita.

"Muinaiset suomalaiset ajattelivat, että eri asioiden 'synnyn tunteminen' mahdollisti näiden hallitsemisen. Vastaavasti järjestelmien synnyn eli emergenssin ymmärtäminen mahdollistaa näiden säädön ja hallinnan", Hyötyniemi vertaa.

Aineistoja kootessani eteen tupsahtaa mielenkiintoinen emergenssin 'sovellus': Yksi robotiikan selkeä tulevaisuuden trendi on se, että yksittäisten isojen, monimutkaisten ja aika 'älykkäiden' robottien sijasta käytetään pienempiä ja yksinkertaisempia robotteja, jotka 'elävät' ja toimivat tiiviisti vuorovaikutustavina robottiyhteisöinä.

Yhden ison robotin korvaamiseen monella pienellä voi olla hyvin yksinkertaiset syyt; ehkä robottien työpaikalle ei vain mahdu isoja koneita. Jos esimerkiksi ihmisen verisuoniin lähetetään robotteja, niiden tulee olla tosi pieniä. Ja toisaalta esimerkiksi kalliissa avaruusprojektissa merkittävin etu voi olla toimintojen varmistaminen moninkertaistamisella; yhden tai jopa usemmankin robotin tuhoutuminen ei aiheuta katastrofia.

Mutta todella mielenkiintoisia näkymiä aukeaa, kun robotteja on valtavasti. Silloin käy kuin muurahaisten ja muiden hyönteisten yhteisöissä: esiin voi emergoitua älykkyyttä, jota yksittäisillä roboteilla ei ole. Vaikka ne ovat yksinkertaisia ja 'tyhmiä' ja niiden kommunikointi ja muu vuorovaikutus sekä konfliktien hallinta perustuvat aivan yksinkertaisiin sääntöihin, niiden yhteistyö näyttää hyvin järkevältä ja tehokkaalta – edellyttäen tietysti, että järjestelmät ovat kyberneettisiä.

Intuitiota ja kovaa yrittämistä

Laajoihin kompleksisiin järjestelmiin liittyvän emergenssin mallintaminen ei kuitenkaan ole mikään helppo ja yksinkertainen tehtävä.

Emergenssille kun ei ole olemassa mitään kaavaa – ei ainakaan vielä.

Onpa jopa esitetty, että kybernetiikan saaminen hallintaan edellyttää aivan uudentyyppistä tiedettä – tai vähintään uudenlaista matematiikkaa. Hyötyniemi on eri mieltä: Nykymatematiikalla pötkitään vielä pitkälle – tarvitaan vain uudentyyppisiä tulkintoja.

Hyötyniemi painottaa, että ratkaisuja on olemassa ja aina silloin tällöin niitä onnistuu löytämäänkin. Ratkaisujen etsimisessä käytettyihin moninaiisiin menetelmiin voi tutustua katsomalla Hyötyniemen luennoiman kybernetiikan peruskurssin (*Elementary cybernetics*) videotallenteet ja mainion luentomateriaalin, jotka ovat tarjolla netissä. Monista materiaaleista on tarjolla myös suomenkieliset versiot. Itse asiassa myös koko edellä mainittu Hyötyniemen erinomainen kirja *Neocybernetics in biological systems* on pdf-versiona netissä. Linkki: <http://neocybernetics.com>

Ratkaisumenetelmistä puhuttaessa huomio kiinnittyy siihen, että sana *intuitio* toistuu kovin tiuhaan. Itsestäni intuitio kalskahtaa kovasti samalta kuin MUTU-menetelmä (*siis: MUsta TUuntuu*) – ja siitähän paljolti on kysymyskin. Vaikka sana intuitio ei ehkä soinnahda kovin tieteelliseltä, sen avulla syntyy hyviä tuloksia, jotka kyllä kestävät tieteellisen tarkastelun.

Eikä intuitio sinänsä ole mitään 'hihastavetämistä'; kyse on siitä, että aivot osaavat prosessoida 'taustajona' suurista tietomääristä esiin sellaisia asioita ja vuorovaikutussuhteita, joita ihminen ei tietoisella tasolla osaa päätellä. – Siis silkkaa emergenssiä.

Ja tietenkin intuitiota voidaan auttaa. Ja myös aiemmista ja muidenkin intuitioista voidaan oppia ja niitä voidaan soveltaa analogisesti uusiin asioihin ja uusille sovellusalueille. Hyötyniemen tavoitteena näyttää olevan myös intuition käsittelyn ja hyödyntämisen kehittäminen hyväksytyksi tieteeksi asti.

Kybernetikka ei ehkä sovi opintojen alkuun?

Hyötyniemi itse ei suosittele kybernetiikan kurssiaan opintojen alussa oleville. Kurssin vahvasti intuitioon perustuvat menetelmät kun ovat osin niin pahasti ristiriidassa perinteisen reduktiivisen insinööriajattelun kanssa, että uuden ajattelutavan omaksuminen saattaa haitata muuta opiskelua!



Video: download (200 MB)

Slides: download pdf (1 MB)

Brief instructions: –

- Click to play/pause the video (~300 kilobits per second required)
- Click to control the slides (use keypad arrows or click left/right half of the slide)
- Press F11 for borderless display (click screen background first) (not available on Chrome or Safari)
- Use Ctrl +/- to zoom the display (click screen background first) [Command +/- on Safari]
- Click to dim the background: white = light = normal = dark = black (click again to reset)
- Click to switch the sides of video and slides: switch
- In addition, please consider leaving a note on the neocybernetics guestbook

Koko kybernetiikan peruskurssi on katsottavissa netissä suomeksi luennoituna.

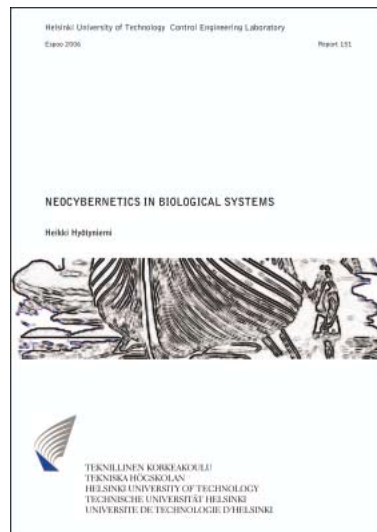
”Ennen kybernetikkaopintoja on hallittava peruskäsitteet ja perustyökalut, koska korkean tason käsitteet ilman konkreettista sisältöä ovat pelkkää pinnallista näennäistietoa. Ymmärryksen kasvu on sekin evolutiivinen, kyberneettinen prosessi: tyvestä puuhun nousee! Yllättäen insinööriopinnot antavat tukevan pohjan myös kokonaisvaltaisen maailmankuvan rakentamiselle.”

Pelkällä intuitiolla ei homma valitettavasti hoidu. Sillä voi kuitenkin jäljittää ideoita, joiden pohjalta ratkaisuun saattaa lopulta päästä – kovan puurtamisen jälkeen. Työkaluiksi kurssi esittelee laajan repertuaarin matemaattisia menetelmiä. Intuitiota tarvitaan tutkimuksen suunnan valitsemiseen ja myös tulosten kiinnostavuuden arviointiin.

Taustalla kajastaa myös ’Okkamin partaveitsi’-nimellä tunnettu periaate, jonka voi ehkä pelkistää niin, että yksinkertaisin ratkaisu on paras – eli teoriaan ei pitäisi koskaan ottaa mukaan mitään sellaista, mitä siihen ei aivan välttämättä tarvita.

Hyvä ohjenuora on myös vanha KISS: Keep It Simple Stupid! Optimaaliset mallit ovat tyypillisesti myös mahdollisimman yksinkertaisia.

Joku on ihmetellyt periaatteen nimiä: mikä ihmeen partaveitsi? Itse olen aina luullut, että tässä alkujaan ’Ockham’s razor’-nimellä jo 1700-luvulla lanseeratussa termissä razor viittaa pikemminkin järkeen – aivan samoin kuin espanjan kielen sana razón, joka esiintyy myös sanonnassa tienes razón – olet oikeassa. Toisaalta sanotaanhan myös, että jonkun järki on terävä kuin partaveitsi.



Nerokkaita oivalluksia, kuin silmäkääntötempuja

On hauska katsoa Hyötyläinenin kaavojen pyörittelyä. Selkeästi mahdollomalta tuntuva tehtävä käännähtää hetkessä kakkupalaksi.

Ja pian käy ilmi, että sama kaava, joka selittää kasvinsyöjien käyttäytymistä, sopiikin mainiosti selittämään vaikkapa elektronien orbitaaleja molekyyliissä – joka puolestaan voi antaa avaimet ymmärtää, miksi proteiinit laskostuvat juuri niin kuin ne tekevät.

”Toimivathan elektroniikin kuten ’itsekkäät agentit’. Ne pyrkivät kohti positiivisia varauksia ja tyrkkivät samalla toisia elektroneja etäämmälle. Muodostuu itseorganisoitua ’kyberneettinen ekosysteemi’, joka balansoi itsensä”, Hyötyläinen perustelee.

Yksi peruseräite systemien todellisten ominaispiirteiden etsikelyssä on aika-akselin eliminointi havaintomateriaaleista. Kun aika-riippuvuus tungetaan kauas taustalle, esiin nousevat systemien todellista luonnetta paremmin kuvaavat tilastolliset piirteet.

Erityisen voimakkailla työkaluilla tuntuvat tilastolliset monimuuttujaregressiomenetelmät, joiden taustalla on ajatus, että moniulotteisten mittausignaalien sisältämä relevantti informaatio voidaan esittää matalammassa dimensiossa ns. latenttimuuttujien, eli piilomuuttujien avulla, jotka ovat lineaarikombinaatioita alkuperäisistä muuttujista.

Ja kaiken aikaa läsnä on äärimmäinen pyrkimys yksinkertaisuuteen. Esimerkiksi aina ensimmäiseksi pyritään laatimaan malli, joka on lineaarinen. Vasta äärihäädässä mukaan otetaan epälineaarisia elementtejä – nekin vasta sitten, kun lineaarinen osa mallia on saatu toimimaan hyvin, jolloin ne voidaan ympätä mukaan jo suhteellisen helposti.

Menetelmissä voi jopa aistia olevan suoranaista tahallisesti haettua ristiriitaa. Dynaamisia järjestelmiä pyritään aluksi mallintamaan ikäänkuin ne olisivat staattisia. Ja lineaarisuuden vaatimus ei istu kovin hyvin yhteen sen kanssa, että nimenomaan epälinearisuus ruokkii emergenssiä. Mutta jostakin on pakko päästä liikkeelle.

Lineaarinen on kaunista

Lineaarisuus merkitsee, että systemissä pätee superposition periaate, eli sen suureiden välisiä vuorovaikutuksia voidaan kuvata yhteen- ja kertolaskun keinoin – jolloin on esimerkiksi niin, että jos jokin herätesignaali kaksinkertaistuu, niin myös siitä riippuva vastesignaali kaksinkertaistuu.

Vahva epälineaarisuus puolestaan merkitsee sitä, että systemi on hyvin herkkä parametrien muutoksille. Pienikin muutos jossakin suureessa voi muuttaa systemin tilaa merkittävästi. Epälineariselle systemille on myös ominaista, että sen lopputila saattaa riippua olennaisesti lähtötilanteesta, jolloin ennustettavuus on hyvin huono.

Lineaarisuuden korostamiseen on monta hyvää syytä ja perustelua. Päällimmäisenä on tietysti se, että lineaarisuuden oletus

on monesti aivan ainoa keino ylipäänsä löytää ratkaisu.

Hyvä perustelu on myös se, että yleensä voidaan olettaa, että järjestelmä on varsin lineaarinen ainakin dynaamisten tasapainotilojen läheisyydessä – ja juuri siellähän säätävän järjestelmän halutaan pysyvänkin.

Siitä että lineaarinen systeemi noudattaa superpositioperiaatetta, seuraa se mahtava mahdollisuus, että ratkaisu on skaalattavissa eri kokoiisiin järjestelmiin. Tämä ominaisuus elättää toiveita siitä, että on ylipäänsä mahdollista löytää laajalti sovellettavia 'yleisesti päteviä' kyberneettisiä malleja.

Lineaarisuus merkitsee käytännössä myös sitä, että systeemistä tehtävän mallin perusteella toteutettava säätöjärjestelmä voidaan koostaa halvemmista, yksinkertaisemmista ja helpommin hallittavista teknisistä ratkaisuista.

"Lineaarisisissa malleissa pitäytyminen tuo myöhemmin kauniin palkinnon: osoittautuu, että lineaarinen rakenne on kyberneettisen informaation mallina paras mahdollinen, joten sillä on evolutiivinen etu puolellaan. Voidaankin olettaa, että luonto itsekin pyrkii kohti lineaarisuutta", Hyötyniemi korostaa.

Mallinnus on kaiken A ja O

Erittäin suuria odotuksia kohdistuu siihen, että kybernetiikka tuo apua kompleksisten järjestelmien mallintamiseen.

"Sen jälkeen kun meillä on järjestelmän malli, tarjolla on kyllä hyvin tehokkaita modernin säädön menetelmiä, joilla varsinkin säätötoiminto voidaan toteuttaa", Hyötyniemi vakuuttaa.

Mallintamisen menetelmiin voi tutustua Hyötyniemen luennoimalla kurssilla *Monimuuttujaregression menetelmät*, jossa keskitytään ratkaisujen etsimiseen erityisesti tilastollisten monimuuttujamenetelmien avulla.

"Se on sellainen monen muuttujan menetelmien kurssi, jossa lähdetään siitä, että mitauksia ja signaaleja on oikeasti paljon – ja sitten järjestelmälle pyritään rakentamaan paras mahdollinen malli tällaisessa kehityksessä ilman että sitä palautetaan näihin perinteisiin malleihin", Hyötyniemi selvittää.

Perinteisesti on lähdetty siitä, että järjestelmän jokaisen erillisen herätesignaalin ja vastesignaalin välinen yhteys mallinnetaan erikseen, esimerkiksi siirtofunktioita käyttäen. Ongelmana on silloin se, että jos järjestelmässä on n herätesignaalia ja m vastesignaalia,

niin tarvitaan $n \times m$ siirtofunktiota. Todellisuudessa maailmassa näillä eri siirtofunktiolla on kuitenkin paljon yhteistä, koska kyseessä on kuitenkin lopultakin yksi ja sama kyberneettinen järjestelmä. Monimuuttujamenetelmillä voidaan jäljittää nämä yhtäläisyydet.

"Olen havainnut, että monimuuttujajärjestelmät ovat hyvin tärkeitä, ne tulevat olemaan insinööriyössä jatkossa hyvin keskeisiä", Hyötyniemi perustelee.

"Kuten jo aiemmin todettiin, tilastolliset monimuuttujamenetelmät ovat kaikkien kyberneettisten järjestelmien perustyökäluja. Tämä mahdollistaa insinööriosaamisen soveltamisen myös ehkä aivan uusille tutkimuksen alueille."

Tekoäly ja kybernetiikka eivät innosta teollisuutta

Haastattelun alussa Hyötyniemi painotti erityisesti sitä, että kybernetiikka on hänelle rakas harrastus, leipätyö on aivan muuta, esimerkiksi teollisiin prosesseihin liittyvien kehitysprojektien läpivientiä. Mutta eikö kybernetiikan tutkimustuloksia voida siis vielä soveltaa käytäntöön?

"Teollisuus ei yleensä halua kuulla mistään kybernetikasta, tekoälysäätäjistä ja muusta sellaisesta, vaan haluaa hyvin pitkälle keskittyä hyväksi ja toimiviksi osoittautuneisiin perinteisiin PID-säätäjiin. Siinäkin mielessä tämä on perustutkimusta", hän veistelee.

Hänen mainitsemansa PID-säätäjä on säätötekniikan perustyökälu, jonka nimi tulee sanoista *Proportional*, *Integral* ja *Derivative*. Säätimeen on yhdistetty kolme erilaista säätötoimintoa, joiden voimakkuutta ja keskinäistä suhdetta säädetään parametreilla siten, että ne vastaavat parhaiten säätävän suureen käyttäytymistä ja säädön tarkoitusta. P-osa säätää suorassa suhteessa säädön pohjana olevan erosignaalin suuruuteen, integroiva I-osa suhteessa aikaa myöden kumuloituneeseen virheeseen ja derivoiva D-osa suhteessa erosignaalin muutosnopeuteen – joten sen avulla voi tehdä myös 'ennakoivaa' säätöä.

Hyötyniemi itse uskoo kuitenkin vakaasti siihen, että kybernetikalla tulee olemaan vielä hyvin paljon tarjottavaa kompleksisissa ohjausjärjestelmissä.

"Kyllä teollisuuslaitosten operaattorit hallitsevat yksittäiset säätäjät ja tietävät, mitä nappulaa pitää kääntää esimerkiksi silloin, kun laatu vaihtelee tietyllä tavalla. Mutta heidän

on vaikea hallita kokonaisuutta, koko laitosta, jossa kaikki saattaa vaikuttaa kaikkeen. Vaikka käännetään vain yhtä nappulaa, koko laitokseen aiheutuu helposti transientti", Hyötyniemi tietää.

"Olemme nyt puhuneet paljon tällaisista hyvin löysän kuuloisista asioista ja ideatason ilmiöistä, mutta osoittautuu, että kun kuljetaan riittävän syvältä ja palataan takaisin globaalille tasolle, globaalin säätäjän tasolle, niin matkalla kertyy intuitiota siitä, kuinka me voimme ohjata vaikkapa jotakin monimutkaista teollisuuslaitosta."

Kohti teollista metaboliaa

"Biologisilla soluilla on pitkälle kehittynyt itsepuolustus ja niillä on tehokkaita keinoja suojautua ympäristön vaihteluita vastaan", paljon solujen mallinnustakin tehnyt Hyötyniemi johdattelee.

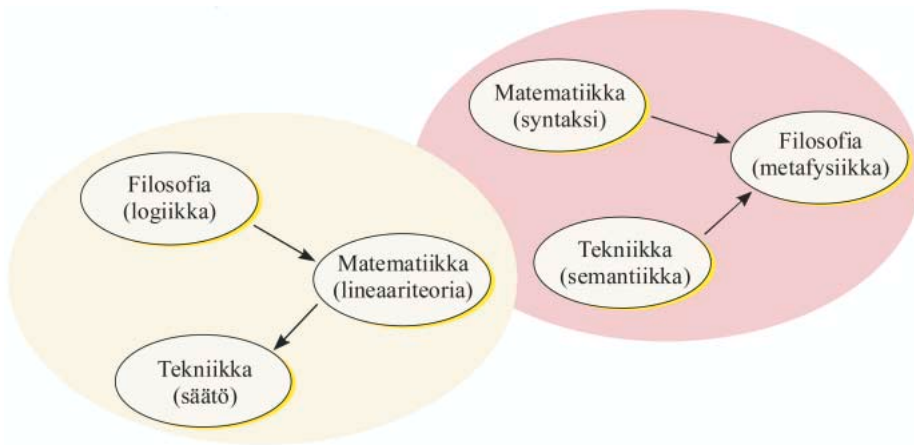
"Aivan samanlaisia periaatteita voidaan soveltaa vaikkapa teollisuuslaitosten teknisiin soluihin, joissa niissäkin tapahtuu tavallaan metaboliaa eli soluhengitystä: sisään menee raaka-aineita ja ulos tulee tuotteita."

"Aivan samalla tavalla kuin biologinen solu, myös tuotannon solu voi pyrkiä optimoimaan kyberneettisesti niin, että se käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyväksi ympäristöä ja tulee samalla myös mahdollisimman *robustiksi*, jolloin se säilyttää tasapainonsa ja pysyy hengissä, vaikka ympäristöolosuhteet vaihtelevat."

"Näin ajatellen päästään hyvin kiinnostaviin teknisiin ongelmanasetteluihin. Perinteisesti säätötekniikassa on keskitytty yksittäisiin säätäjiin; mitataan yhtä suurta ja säädetään yksittäisellä säätäjällä toista yksittäistä suurta. Kybernetiikka antaa työkaluja siihen, että me voimme katsoa kerralla koko järjestelmää ja ohjata kaikkia yksittäisiä säätäjiä siten, että kokonaisuus tulee robustimmaksi", Hyötyniemi selvittää.

"Näin ei mennä pelkästään lokaalisti optimaaliseen suuntaan, vaan samalla myös globaalisti robustimpaan suuntaan."

Systeemitekniikan tutkimusryhmän tutkija **Kalle Halmevaara** teki väitöskirjan siitä, kuinka tällaisia ajatuksia voidaan soveltaa esimerkiksi Veitsiluodon sellukattilan optimointiin. Kyseessä oli todellinen käytännön sovellus, joskin työssä käytettiin simuloitua dataa, joka vastasi mahdollisimman tarkasti todellisuutta. Halmevaara väitteli 23.10.2009.



Vasemmalla perinteinen ajattelu. Oikealla Hyötyniemen näkemys.

Hyötyniemi kertoo, että on itse alkanut yhä enemmän nähdä asioita niin, että teollisuudessa on paljon sovelluksia, jotka vastaavat luonnon kyberneettisiä soluja. Esimerkkinä hän mainitsee Pyhäsalmen kaivoksen rikastamon vaahdotuskennostot, joiden automaatiota hän on ollut kehittämässä.

”Kyllä käytännön monimuuttujaongelmistakin löytyy usein hyvin haastavia teoreettisia kysymyksenasetteluja”, hän toteaa.

Kybernetiikka – todellisuuden perustiede?

Kun puhumme kybernetiikan paikasta tieteen joukossa, käy ilmi, että Hyötyniemi jopa kääntäisi kovin mielellään ylösalaisin tieteen perinteisen ’nökkimisjärjestyksen’.

”Perinteisesti on ajateltu, että filosofia on se taustalla oleva logiikka, joka antaa työkalut esimerkiksi lineaariteorialle ja muulle matemaatikalle. Ja sitten sovellettua matemaatiikkaa ovat luonnontieteet. Ja sovellettua luonnontiedettä on tekniikka”, hän lokeroi.

”Ajatellaan, että insinöörialat, esimerkiksi säätötekniikka ja systeemitekniikka ovat hierarkian alimpana. Siellä vain sovelletaan lähes mekaanisesti käytäntöön muualta lainattuja oppeja. Ja katsotaan, että siellä ei tehdä mitään hienoa”, hän tuhahtaa.

Itse hän näkee asian olevan pikemminkin niin päin, että kaiken tieteen lähtökohtina ovat kielenä toimiva matematiikan syntaksi sekä sille merkitykset antava luonnontieteiden semantiikka. Se, mitä tällä kielellä kerrotaan, ’*evolutiiviset tarinat*’, voidaan ymmärtää adaptiivisten säätöjärjestelmien tarjoamassa kehityksessä. Juuri niiden pohjalta voidaan perustella luonnon mekanismit ja järjestelmät

– ja ehkä lopulta selvittää ja selittää sitä, mitä on kaiken olevaisen takana.

”Voisi jopa hieman hyökkäävästi sanoa, että kybernetiikka onkin todellisuuden perustiede”, hän heittää hymyillen.

Kybernetisoituminen ei ole aina hyväksi

Kyberneettiselle järjestelmälle on ominaista, että se pyrkii aina eliminoimaan mahdollisimman hyvin tulevat herätteet. Aivan aiheetta ei siis Neuvostoliittokaan nostanut kybernetiikkaa niin korkealle jalustalle.

Mutta tänään maailmassa on edelleen menossa vahva *kybernetisoituminen*, jossa kybernetiikan periaatteita sovelletaan ties mihin – tosin asiaa ei ehkä aina mielletä kybernetisoitumiseksi. Mutta mistä siinä on kysymys? Tiivistetysti siitä, että lisätään toisaalta informaation hankintaa (siis valvontaa) ja toisaalta ohjeistusta. Näin saadaan eliminoitua vapausasteita, jolloin asiat saadaan paremmin haltuun ja myös ennustettavuus paranee. Järjestelmien säädöt paranevat.

Työelämän kybernetisoitumisesta kielivät muun muassa termit *lähiesimies* ja *kehityskeskustelu*. Hyötyniemen mielestä pahinta on se, että myös tiedeyhteisöt kybernetisoituvat, jolloin tieteen tekeminen ja erityisesti perustutkimus uhkaavat taantua. Rahoituksensa turvaamiseksi tutkimusryhmien on valittava sellaisia tutkimuskohteita, joissa takuuvarmasti syntyy tuloksia. Eli kuten tiedefilosofi Thomas Kuhn on todennut: Tiede näyttää etenevän nopeasti, koska tutkimusryhmät valitsevat vain sellaisia ongelmia, jotka ne osaavat ratkaista.

Kirjoitin viime vuonna Sisäpiirissä siitä, että Suomen Akatemiaa oli arvosteltu siitä,

että hyvin monet rahoitusta hakevat hankkeet saavat kerrassaan loistavat arviot, mutta rahaa ei sitten tulekaan, jolloin hakijat eivät tiedä, mikä oikein meni pieleen.

Hyötyniemellä on tarjota esimerkki siitä, että Akatemialta voi saada tosi huonoinkin arvion. Hän itse sai huonoimmat mahdolliset arvosanat hakiessaan vuonna 2005 rahaa neokybernetiikan kirjansa kirjoittamiseen liittyvään tutkimukseen. Tekoälytutkimuksessa on kuulemma koettu jo liikaa pettymyksiä.

”Suomen korkein tieteellinen auktoriteetti on arvioinut minun tekemän huonoa tiedettä”, Hyötyniemi naurahtaa. ”Toivottavasti sitä voi silti pitää hyvänä luonnonfilosofiana.”

Jään pohtimaan, onko perustutkimuksen ainoa toivo siinä, että kasinotalouksissa ökyrikastuneiden sukujen vesat kyllästyvät lopulta kaikkiin extreme-harrastuksiinsa ja lähtevät tutkimaan liki kaikenkattavan kybernetiikan tarjoamia haasteita. Kyberneettiset järjestelmät ovat nyky maailmassa ehkä se viimeinen tutkimaton rajamaa, ’*ehytymätön Eldorado*’. Mesenaattejakin tarvittaisiin taas.

Pelkkä malli vai interobjektiivinen totuus?

”Kaiken tieteellisen työn lähtökohta on, että rakennetaan malleja. Ja silloin kun malli ei vastaa todellisuutta, hyväksytään se, että malli on väärässä, koska mallithan ovat vain pinnallisia kuvauksia, jotka eivät koskaan pysty tavoittamaan sitä systeemin ydintä”, Hyötyniemi jatkaa.

”Mutta jos on niin, että nämä luonnon kyberneettiset järjestelmätkin rakentuvat näille *luonnon itse laatimille* malleille, joita se sitten käyttää mallipohjaiseen säätöön, niin mikä ero lopultakin on niillä ja ihmisen tekemillä malleilla?”

”Jos me rakennamme mallin täysin samoilta periaatteilla kuin itse luontokin rakentaa mallin noista resursseista – samat attraktorit toteuttaen – niin eikö siinä ole aivan fundamentaaliseläkin tasolla mukana kaikki olennainen? Ja silloin malli ei olekaan enää pelkkä malli, vaan se kuvaa käyttäytymistä täysin oikein, jolloin kyseessä on syvä metafysiinen totuus, interobjektiivinen totuus”, Hyötyniemi sanailee ”tällaisena rohkeana heittona” lopuksi. Niin, todellakin melkoisia lupauksia! ■