

# Teknisiä analogioita

■ Ero Paloheimo

**James Lovelock esittää Gaia-teoriassaan, että maapallo on elollisen olennon kaltainen kapale. Keskustelua on käyty siitä, pitääkö tämä ymmärtää kirjaimellisesti vai vertauskuvallisesti. Jatkamatta tätä keskustelua esitän tässä hillitymmin, että maapallo on fyysinen systeemi, jonka eri osat vaikuttavat toisiinsa. Elolliset olennot ovat fyysisten systeemien erikoistapaus. En puutu myöskään siihen fysikalistiseen näkemykseen, että on olemassa vain fyysisiä systeemeitä.**

Fyysisillä systeemeillä on joitakin yleisiä piirteitä, joita kuvaavat usein tekniset tai niihin verrattavat tapahtumat. Näitä voidaan tarkastella riippumatta systeemin koosta tai muista erityispiirteistä. Tämä on nyt tarkoitukseni. Pohtikaamme tästä näkökulmasta maapallon tulevaisuutta.

Maapallon toisiinsa vaikuttavia osia ovat esimerkiksi ilmakehä, meret, elollinen massa yleensä ja ihmiskunta elollisen erityisenä osana. Näillä on keskinäinen riippuvuus, eikä tämä liene yllätys lukijalle. Niinpä tuon keskinäisen riippuvuuden tarkastelu on rutiininomaista pohdiskelua. Esitän seuraavassa kolme erilaista, luonteeltaan teknistä analogiaa, jotka eivät ole vailla merkitystä silloin, kun koko planeetan seuraavien vuosikymmenten muutoksia halutaan arvioida.

## Sitkeä ja hauras murtuminen

Systeemillä on useimmiten jokin toimintaperiaate, joka saattaa häiriytyä kokonaisuudessaan, kun joku osista joutuu epäkuntoon. Kun systeemi on vaurioitunut niin pahasti, että sen alkuperäinen, mielekäs toiminta käy mahdot-

tomaksi, puhutaan systeemin murtumisesta tai romahtamisesta. Ihminen on sitä kuoltuaan, rakennus luhistuttuaan, sademetsä kuivuttuaan autiomaaksi. Systeemi on lähes aina rakentunut ottamaan vastaan ja kestämaan tietyt kuormat. Kuorma saattaa olla mikä hyvänsä fyysinen ilmiö, esimerkiksi paine tai lämpötila.

Murtumisen mekanismeja voidaan erottaa kaksi ja niiden lähempi erittely on paikallaan. Hauras (*fragile*) murto on äkillinen, sitkeä (*ductile*) murto on hidas ja porrastettu.

Esimerkki hauraasta murrosta olkoon auton karkaistu tuulilasi, joka saadessaan johonkin iskun, särkyy kokonaisuudessaan pieniksi soke-ripaloiksi. Tavallisen lasin haurasta murtumista kuvataan taas Günter Grassin *Peltirummuksessa*, jossa Oskar Matzerath rikkoo lasiesineitä kimeällä kiljunnallaan. Hauralle murrolle on ominaista, että koko systeemi hajoaa äkillisesti toimintakyvyttömäksi ulkoisen kuormituksen vaikutuksesta. Maapallo oli alttiina hauralle murrolle kylmän sodan aikana, jolloin kahdella osapuolella oli ylimitoitettu aseistus ja ne uhkasivat toisiaan. Oli tärkeää, että kauhun tasapainon lisäksi varotoimet olivat kummallakin puolella aukottomat. Haurasta murtumista on syytä kunnioittaa, koska äkillisyys tekee siitä peruuttamattoman eikä reagointiin ole aikaa.

Sitkeä murto on toisella tavalla kavala. Tyyppillinen sitkeän murron mekanismi vallitsee niin sanotuissa staattisesti määräämättömissä rakenteissa, jotka saattavat olla teräsbetonia tai vielä taipuisampaa ainetta. Tällainen systeemi on itseään säätelevä ja suojeleva, se siirtää kuormitusta osaltaan toiselle, joustaa. Systeemiin syntyy usein varottavia ulkoisia merkkejä, taipumia tai halkeamia, ja kuormituksen kasvaessa nämä merkit käyvät yhä selvemmiksi. Kun jonkun alu-

een kapasiteetti tulee kuorman lisääntyessä käytetyksi, rasitus siirtyy automaattisesti toiselle, vähemmän kuormitetulle osalle ja koko systeemi romahtaa vasta sitten, kun sen kaikkien osien kapasiteetit on ylikuormitettu. Kavaluus on siinä, että halkeamat, taipumat ja muut vauriot vaikuttavat usein mitättömiltä ja systeemi säilyttää näennäisesti toimintakykynsä niistä huolimatta. Sortuminen on lopulta hyvinkin nopea ja tapahtuu, kun koko systeemin rajatila saavutetaan.

Maapallo on nykyään etenemässä kohti sitkeää murtoa. Sitä kuormittaa ihmiskunnan kulutus ja sen luontaisen kestokyvyn muodostavat yhdessä ilmakehä, meret ja vielä vihreänä säilyneet maa-alueet. Ympäristöpakolaisuus siirtää kuormaa alueelta toiselle, kun yksi alue on ylikuormitettu ja tuhoutunut. Niin kuormitus siirtyy systeemin yhdeltä osalta sellaiselle, jolla on vielä kapasiteettia sen vastaanottamiseen. Vihreän maa-alan vähentyessä sekä ilmakehän ja merien vastustuskyvyn heiketessä maapallon väkiluku samanaikaisesti kasvaa. Lisääntyvä kuorma keskittyy rasittamaan jatkuvasti heikenevää rakennetta. Näin kuorma kasvaa kapasiteettiin verraten kahdelta taholta.

## Vakaat ja epävakaat systeemit

Systeemit voidaan myös luokitella vakaassa, epävakaassa tai indifferentissä tilassa oleviin, joista tässä käsittelen vain kahta ensimmäistä. Yksinkertaisia ja tuttuja vakaita systeemejä ovat kiristetty vaijeri tai ripustettu sauva. Niille on ominaista, että jouduttuaan jostain syystä poikkeamaan perustilastaan, ne pyrkivät palaamaan siihen sitä voimakkaammin, mitä suurempi tuo poikkeama on. Vedettyä vaijeria on sitä raskaampi työntää keskeltä sivusuunnassa, mitä suurempi työntämisen aiheuttama poikkeama on. Epävakaa eli labiili systeemi joutuu horjahdettuaan päinvastaiseen tilaan. Puristettu, ohut sauva, joka nurjahtaa, tai kärjellään tasapainoileva keppi ovat tällaisia.

Kärjelleen pystytettyä sauvaa kaataa sitä suurempi voima, mitä suurempi on kallistuma. Toisaalta: sitä voimakkaammin kallistuma kasvaa,

mitä suurempi sivuvoima sauvaan kohdistuu. Kallistuman kiihtyvyysskin siis kasvaa. Kärjellään seisova sauva paljastaa toisenkin, useille epävakaasta tilastaan poikenneille systeemeille ominaisen piirteen. Seuraava luonnehtikoon tätä.

Olettakaamme kilometrin korkuinen tornimainen sauva ja sen yläpäähän metrin alkupoikkeama pystysuorasta perusasennosta. Sellaisen sauvan kaatuminen vaaka-asentoon kestää noin 80 sekuntia. Kun neljännes tuosta ajasta on kulunut, on metrin poikkeama kasvanut vasta 3,4 metriksi, tuskin havaittavasti. Kuitenkin prosessi on todellisuudessa jo niin pitkällä, että systeemin palauttaminen perustilaansa on monin verroin vaikeampaa kuin olisi ollut sauvan pitäminen tukirakenteilla pystysuorassa, stabiilissa tilassa. (Asetelma on teoreettinen: sauva on jäykkä ja painoton, massa on keskitetty ylös, ilmanvastusta ei ole ja tuki on pistemäinen.)

Jo ilmastonmuutos yksinään etenee labiiliin, romahtamaan päästetyn systeemin lailla. Maapallon keskilämmön nousu vaikuttaa moniin tekijöihin siten, että ne vastavuoroisesti kiihdyttävät prosessia. Tällaisia ilmiöitä ovat valtamerien lämpeneminen, ikiroudan sulaminen soilla, lisääntyvät metsäpalot, jäätiköiden heijastusvaikutuksen pieneneminen ja metaanihydraattien vapautuminen merten pohjasta. Tämän rinnalla maapallon tilaa muuttavat muutkin tekijät kuin ilmasto. Myös niistä monet vaikuttavat toisiaan kiihdyttäen ja ilmastoa vastavuoroisesti lämmitäten. Yksi on metsäpeitteen katoaminen ja viljelysmaiden aavikoituminen, toinen pohjaveden tyrehtyminen kuumilla vyöhykkeillä. Luonnonkatastrofit lisäävät köyhyyttä, köyhyys kasvattaa väestöä. Mitä enemmän toisiaan tukevia osatekijöitä labiilissa prosessissa on, sitä äkillisempi on lopullinen romahdus.

Prosessin labiili luonne on sinänsä pelottava, mutta myös toisella tavalla vaarallinen. Kun se on kaikkien kiistattomasti havaittavissa – ja kun siihen vasta sitten reagoidaan vakavasti – ei ehkä mitään enää kyetä tekemään. Sauva on jo silloin liian kallellaan. Olemme jo nyt siinä tilassa, että maapallon luontainen kyky palautua perustilaansa on järkkynyt ja palauttaminen voisi

onnistua vain keinotekoisin konstein. Se saattaa olla jo nyt ylivoimaista, mutta mitä pidemmälle radikaalit vastatoimet viivästyvät, sitä vaikeammaksi tehtävä osoittautuu. Maapallon labiilissa systeemissä on enemmän kuin kaksi samaan suuntaan vaikuttavaa, toisiaan kiihdyttävää tekijää. Maapallo on tässä suhteessa huomaamattomasti etenevän, mutta lopulta romahdusmaisesti sortuvan systeemin tyyppitapaus.

## Varmuuskysymyksiä

Rakennusten, lentokoneiden tai ydinvoimaloiden suunnittelussa käytetään varmuuslukuja. Kuormat oletetaan poikkeuksellisen suuriksi, materiaalien lujuudet ja jäykkyydet todellisia alhaisemmiksi ja rakenteiden mitat hieman pienemmiksi kuin ne keskimäärin ovat. Näin torjutaan arkiset ja pienet työvirheet. Tutkimuksissa tarkastellaan virheiden yhteisvaikutusta tilastojen pohjalta ja lasketaan vaurioitumisen todennäköisyyksiä. Normituksella pyritään siihen, että elinaikanaan vain yksi kymmenestä tai sadasta miljoonasta rakenteesta voi poikkeuksellisissa oloissa romahtaa. Luonnollista syistä näin tapahtuukin äärimmäisen harvoin.

Niinpä Suomessakin nähdyt hallien sortumat eivät ole virheellisten normien tai väärin laskentamenetelmien seurauksia. Ne johtuvat useimmiten yhdestä karkeasta, inhimilliseksi luonnehdittavasta erehdyksestä, johon ei ole varauduttu. Vastaava esimerkki tästä oli WTC:n tuho New Yorkissa. Laskelmissa ei oltu ennakoitu matkustajakoneen törmäystä, koska ainutkertaista ja odottamatonta ei lähestytty todennäköisyyksien avulla. Ydinvoimaloiden varmuuksia analysoitaessa ei aavistamattomia kuormia myöskään pysty torjumaan.

Maapallon tulevaisuutta puntaroidessa ennustamaton kuorma olisi ulkoavaruudesta lentävä, maapalloon törmäävä taivaankappale. Sille emme voisi mitään. Mutta maapallon

luonnollista, laskennallista tuhoutumista, joka aiheutuu ihmiskunnan kuormituksesta, voitaisiin analysoida ja hillitä. Näin on tehty, mutta hapuillen, osittain liian myöhään, eikä riittävää varmuutta maapallon säilymiseksi ole tavoiteltu. Jos maapalloon suhtauduttaisiin yhtä vakavasti kuin esimerkiksi siltaan tai ydinvoimalaan, olisi tulevaisuutemme strategia tehty ajoissa ja huolellisesti. Silloin sadasta miljoonasta maailman-kaikkeuden maapalloa vastaavasta planeetasta vain yksi tuhoutuisi seuraavien vuosimiljoonien aikana. Sellaisia varmuuslukuja tulisi noudattaa, jotta menossa oleva, labiilin systeemin sitkeä murtuminen olisi estetty turvallisesti. Nyt me istumme lentokoneessa, jonka ilmassa pysymistä asiantuntijat pitävät hyvinkin epävarmana. Maapallo ei hajoa, mutta sen elämä ja kulttuuri uhkaavat romahtaa rudimenteiksi nykyisistä.

Yksi oljenkorsi voisi vielä auttaa, sekin saattaa olla myöhäinen. Ihmiskunnan pitäisi julistaa yhteinen liikekannallepano, ainoana päämääränä planeetan pelastaminen. Se pitäisi käynnistää heti. Muodostettava armeija noudattaisi sotatilan lainsäädäntöä. Sen ensimmäinen tehtävä olisi esimerkiksi Saharan metsittäminen; pinta-ala on kuusi miljoonaa neliökilometriä.

Nopeisiin toimiin on käytännön esimerkkejä. Yhdysvaltojen terrorisminvastainen taistelu polkaistiin käyntiin ällistytävällä vikkelyydellä. Sen toteuttamiseksi ei järjestetty tuhansien viskaalien jaarittelevia kokouksia. Kun pohditaan maapallon tulevaisuutta, on edessämme paljon suuremman kertaluokan kysymys. Kioton ja Balin päätökset ovat riittämättömiä ja hitaita. Toimenpiteiden pitäisi olla sekä suuruusluokaltaan että teholtaan ainutkertaisia ihmiskunnan historiasa, sillä niin on ratkaistava ongelmakin.

**Kirjoittaja on tietokirjailija ja Teknillisen korkeakoulun puurakentamisen emeritusprofessori.**