

ILMASTO – TIETO – POLITIIKKA: KOLMIYHTEYS VAI KOLMIODRAAMA?

ILMASTON POLITIIKKA

Ilmasto on jännittävä ilmiö. Ilmasto on koko ajan kaikkialla läsnä. Ilmastosta on helppo puhua ikään kuin sen tuntisi omakohtaisen kokemuksen kautta. Tosiasiassa ilmasto ei kuitenkaan voi yksilöllisen kokemuksen välityksellä havaita. Se, mitä voimme havaita päivästä toiseen, on sää. Sää vaihtelee, ja vaihtelussa on säännönmukaisuutta – erityisesti vuodenaikojen kierto korostuu. Vaihtelun havaitseminen ei kuitenkaan kerro mitään siitä, millaisia laajalaisempia ilmiöitä – siis millainen ilmasto – on säännönmukaisuuden taustalla.

Ilmasto on poliittinen ilmiö. Ihmiset ovat kautta aikojen tienneet, että sääolojen säännönmukaisuudet määräävät ratkaisevasti heidän toimeentuloonsa vaikuttavia asioita ja olosuhteita. Paikallisten sääolojen vaihtelua ja toistuvuutta on havainnointi ja kirjattu kautta aikojen. Hesiodos kirjoittaa teoksessaan *Työt ja päivät* monessa jaksossa säästä, esimerkiksi kesän ja talven eroista sekä oikean ajankohdan määrittelystä viljelyn aloittamiselle. Se on yksi maanviljelijän vuoden tärkeimpiä päätöksiä.

Ilmaston ja säätilan välillä on selvä käsitteellinen ero: Ilmasto viittaa globaaliin vuorovaikutteiseen systeemiin, joka kietoo ilmakehän, meret ja vesistöt, biosfääriin sekä mantereiden topografian moniulotteiseksi kokonaisuudeksi. Säätila viittaa paikallisesti ja hetkellisesti vallitseviin olosuhteisiin – ja tietenkin paikka ja hetki laajenevat ulospäin (tai ajassa eteen- tai taaksepäin) ilman selväpiirteistä rajaa riippuen siitä, mitä tarkoitusta varten säätila kulloinkin kuvataan.¹

Ilmasto säätelee ja ohjaa, eli ilmastolla on suuri poliittinen merkitys. Termillä ilmaston politiikka viitataan ilmasto-olojen ja inhimillisen toimeentulon keskinäisiin suhteisiin. Kaikilla ihmisten toimeentuloa määrittävillä luonnonilmiöillä on politiikka samassa mielessä. Luonnonilmiöt asettavat ehtoja sille, millainen inhimillinen elämä on mahdollista. Ihmiset koettavat muuttaa tai muuntaa noita ehtoja tai sopeutua elämään niiden mukaisesti. Olen aiemmin käyttänyt vastaavassa merkityksessä termiä veden politiikka (*politics of water*) (Haila 2017).

Ilmaston politiikka tulee dramaattisimmillaan ilmi äärimmäisten säätilojen välityksellä: Espanjan suuren armadan tuho; Napoleonin sotaretki Venäjälle; ja niin edelleen. Nämä ovat tietenkin sopusoinnussa vastaavien ilmasto-olojen kanssa: Atlantin myrskyt; Venäjän talvi; ja niin edelleen. Ääri-ilmiöitä tärkeämpi ilmaston politiikan perusta on kuitenkin se, miten ilmaston yleiset piirteet vaikuttavat ihmisten tavanomaisen elämän ehtoihin.

Säiden vaihtelun pitkäjänteinen havainnointi on ollut menetelmä, jolla on luotu suhteita ilmastoon. Havainnointi on paikallisen säätilan ja sitä määräävän ilmaston välimaastossa. Kansanomaiset sääolojen säännönmukaisuutta kuvaavat sanonnat kuuluvat samaan luokkaan; suomalaisittain esimerkiksi: ”Jaakko heittää kylmän kiven veteen” tai ”Jaakko pistää paarmat pussiin ja pussin suun kiinni” (Vilkuna 1950 on sanontojen antoisa lähde). On yhdentekevää, pidetäänkö tällaisia sääntöjä ilmasto vai säätilaa koskevana tietona. Olen naista on, että vastaavanlaisia käyttäytymissääntöjä on ollut kaikkialla ja kaikkina aikoi-

na – ja ne ovat useimmiten osuvia ja ennen kaikkea korvaamattoman arvokkaita kunkin yhteisön vuosirytmien jäsentäjiä.

Ilmaston (säätilan) ja politiikan suhde on vastavuoroinen. Nimenomaan vastavuoroisuuden mielessä *ilmaston politiikka* ja useammin käytetty *ilmastopolitiikka* eroavat käsitteinä toisistaan. Jälkimmäisessä termissä ilmasto on objekti: ihmiset koettavat vaikuttaa ilmastoon. Vastavuoroisuutta ei oteta huomioon. Tätä ilmentää se, miten hankalaa on ollut omaksua ilmastonmuutosta koskevan ilmastopolitiikan osaksi toimet, joiden tavoite on sopeutua muutokseen (esim. Pielke ym. 2007).

Toki vastavuoroisuuden taustalla on epäsymmetria sikäli, että globaali ilmasto on reunaehto, jonka materiaaliselle perustalle ihmiset eivät mahda mitään. Ihmisille on kuitenkin ollut mahdollista vaikuttaa valintojensa välityksellä siihen, millainen paikallinen säätila eli mikroilmasto vallitsee heidän omassa välittömässä ympäristössään. Hippokrateen korpukseen sisältyvä teksti ”Ilmasta, vedestä ja asuinpaikoista” on varhainen kirjallinen todiste siitä, että valintojen merkityksestä oltiin perillä.

Meteorologia, ”sääoppi”, on vanha nimitys säiden vaihtelua selvittävälle tutkimukselle. Aristoteleen korpukseen sisältyvä meteorologiaa käsittelevä teos *Meteorologica*, jota pidetään aitona. Aristoteles käsittelee teoksessaan laajan kirjon ilman ja veden liikkeisiin liittyviä luonnon ilmiöitä. R.J. Hankinson (1995) toteaa, että teos kokonaisuudessaan ilmentää erinomaisesti Aristoteleen metodia: enimäkseen tarkkaa, systemaattista ja selväjärkistä havainnointia yhdistettynä hämmästyttävän spekulatiiviseen selittämiseen. Nykypäivän lukijaa kuitenkin viehättää se, kuinka taitavasti Aristoteles yhdistää toisiinsa yksilöllisen havainnoinnin piiriin sisältyviä luonnon ilmiöitä muodostaakseen käsityksen kokonaisuudesta, jota ei voi havaita. Sitä paitsi ne ainekset, joita Aristoteles sääoppinsa perustana käyttää, ovat sangan ymmärrettäviä: ilma ja vesi, kylmä ja kuuma.²

Antiikin aikana kenelläkään ei voinut olla käsitystä siitä, millaiset mekanismit vaikuttavat ilman ja veden liikkeisiin, vaikka tietyistä paikallisesti ilmenevistä tapahtumakuluista oltiinkin hyvin perillä. Meteorologia sääoppina tuli liitettyksi tieteellisen tietämyksen piiriin eurooppalaisen uuden ajan tieteellisten murrosten – siis klassisen fysiikan synnyn – yhteydessä. Ilmakehän fysiikka on olennaisesti samankaltaista kuin veden fysiikka – ilma on kaasua, ja kaasu on tavallaan laimeaa nestettä.³ Veden ominaisuuksista päästiin perille varhemmin, koska se on kouriintuntuvampaa ainetta kuin ilma.

Tähän liittyen sallittaneen pieni kärjistys. Veden fysiikkaan kohdistuva tutkimus – hydrologia – kasvoi esiin pyrkimyksistä hallita veden käyttäytymistä ihmisasumusten läheisyydessä: turvata välttämätön veden saanti, säännöstellä maaperän kosteutta viljelmillä sekä torjua tuhoisat tulvat. Asumusten vesihuoltoa turvaavat käytännölliset järjestelyt käynnistyivät jo Länsi-Aasian varhaisissa sivilisaatioissa yhtä varhain kuin viljelysten kastelujärjestelmät. Kiinan vesistöjen säännöstelyllä ja kanavoinnilla on oma erityisen rikas historiansa.⁴

Vesien hallintaan tähtäävät ratkaisut edellyttivät paitsi massiivista teknologiaa myös jonkinlaista käsitystä veden fysiikasta. Mitä systemaattisempaan vesirakentamiseen on tarvetta, sitä tärkeämpää on tuntea vesi. Ei siis ole yllättävää, että hydrologian varhainen kasvualusta läntisessä maailmassa oli Venetsia. Toinen eurooppalainen ”hydraulinen yhteiskunta” vakiintui hiukan myöhemmin Alankomaihin nykyisten Hollannin ja Flanderin alueille (Ciriacone 2006). Venetsialaisten ongelma oli hallita Venetsian laguuniin laskevien jokien sekä Adrianmeren myrskyjen yhteisvaikutuksena syntyneet tulvat sekä estää kaupunkia suojanneen laguunin liettyminen.⁵ Alankomaissa puolestaan keskeisin ongelma oli kuivattaa uutta maata ranta-alangoille (polderit) sekä torjua jokien, kuten Reinin, ja Pohjanmeren myrskyjen yhteisvaikutuksena syntyvien tulvien tuhot.⁶

Tavallaan siis ilmaston politiikka ja veden politiikka ovat eläneet ja kehittyneet keskinäisessä vuorovaikutuksessa. Tosin niiden välillä on myös olennainen ero: Veden politiikka sallii ihmisille huomattavasti aktiivisemmän otteen, koska vesi on tukevampaa materiaa kuin ilma. Veden virtauksia voi ainakin jossakin määrin ohjata, ilmavirtausten ohjailu on jokseenkin mahdotonta. Ilmatoon (vallitseviin säätiloihin) ihmiset eivät ole juuri voineet muuta kuin sopeutua valintojensa välityksellä sekä suojautumalla niiltä asumustensa sisään.⁷

ILMASTOTIETO

Ilmakehän fysiikasta alettiin päästä perille, kun veteen päteviä dynamiikan periaatteita ryhdyttiin soveltamaan kaasuihin. Varhaisimpia instrumentteja systemaattisten havaintojen tekoon olivat esimerkiksi ilmapuntari ja lämpömittari. Monet sääilmiöt kyettiin ymmärtämään seuraukseksi ilmakehän kaasujen sekä vesien liikkeistä. Tässä tavallaan lähennyttiin Aristoteleen meteorologiaa: ilmaa ja vettä on syytä käsitellä yhdessä sääilmiöitä tutkittaessa.⁸

Ilmaston dynamiikka syntyy siitä, että aurion säteilyn myötä maapallolle tuleva energia jakautuu maapallon pinnalle hyvin epätasaisesti: päiväntasaajalle paljon, korkeille leveysasteille vähän. Ilmasto on dynaaminen systeemi, joka pyrkii tasoittamaan tämän eron niin nopeasti kuin mahdollista.⁹ Ilmasto koskevan systemaattisen tieteen edellytys on ollut oivalus, että ilmasto on maapallon kattava ilmiö.

Ensimmäiset nykyiseen ilmastonäkemykseen johdattelevat tärkeät havainnot ja päätelmät koskivat ilmakehässä ilmeneviä virtauksia, jotka käynnistävät lämmön siirtymisen päiväntasaajalta kohti korkeampia leveysasteita. Ilmakehään päiväntasaajan molemmille puolille muodostuvat kierrot, joita nykyisin kutsutaan Hadleyn kierroiksi löytäjänsä mukaisesti (George Hadley, 1685–1768). Päiväntasaajan seudulla lämmennyt ilma kohoaa ylöspäin (”lämpökonvektio”), siihen sitoutu-

nut kosteus tiivistyy ja sataa takaisin maahan, ja kuiva ilma palautuu lähelle maan pintaa hepoasteilla 20–30 astetta pohjoiseen ja etelään. Autiomaiden vyöhykkeet Saharan ja Gobin autiomaan leveysasteilla pohjoisessa sekä Kalaharin ja Pohjois-Chilen leveysasteilla etelässä ovat seuraus Hadleyn kiertojen pysyvyydestä. Pasaatituulet palauttavat ilman takaisin päiväntasaajan tuntumaan, mutta maapallon pyörimisliikkeestä seuraavat coriolisvoimat kääntävät tuulen pohjoisella pallonpuoliskolla oikealle (eli koillis-pasaatiksi) ja eteläisellä pallonpuoliskolla vasemmalle (eli kaakkois-pasaatiksi) (Gustave-Gaspard Coriolis, 1792–1843).

Hadleyn kiertojen pohjois- ja eteläpuolella ilmakehän virtaukset muuttuvat sekalaisemmiksi, mutta pääpiirteissään säätilojen vaihtelua hallitsevat suhteellisen vakaina pysyvät lauhkeiden ilmamassojen ja polaarilmmamassojen sijainnit – vuodenaikaisvaihtelu huomioon ottaen. Koska mannerten ja merten keskinäinen sijainti on maapallon pohjoisella pallonpuoliskolla sekalaisempi kuin eteläisellä – etelässä suurempi osa on valtameren ulappaa, ja etelänavalla on suuri ja suhteellisen säännöllisen muotoinen manner – ilmastovyöhykkeet ovat pohjoisella pallonpuoliskolla sotkuisemmat kuin eteläisellä.¹⁰

Meteorologian varhaisina vuosisatoina paikallisen säätilan oli kuviteltu olevan paikallisesti pysyvää. Vähitellen sääilmiöiden liikkeestä päästiin perille sitä mukaa, kun tehostunut tiedotus teki mahdolliseksi arvioida eri paikkakunnilla todettujen sääilmiöiden saman- tai eriaikaisuutta. William Stevens (1999, 79–80) kuvaa oivallukseen johtaneita tapahtumakulkuja. Benjamin Franklin esimerkiksi koki Philadelphiassa iltayöllä 21.10.1743 voimakkaan myrskyn, joka esti häntä havainnoimasta kuunpimennystä. Myöhemmin hän sai tietää, että Bostonissa oli kyseisenä yönä kirkas taivas ja erinomainen sää havainnointia varten, mutta vuorokautta myöhemmin Bostoniin iski myrsky. Franklin päätteli, että kyseessä oli ehkä sama myrsky.

Kertomus on metodologisesti kiinnostava. Franklin havaitsi odottamattoman ilmiön ja kehitti sille mahdollisimman uskottavaksi selitykseksi oletuksen, että säähäiriöt ovat liikkeessä. Tässä toteutui klassinen abduktio. Kuten Stevens kuvaa, Franklin kokosi alustavan selityksensä tueksi mahdollisimman paljon lisähavaintoja ”induktiivisesti” erilaisista lähteistä, ja ne kaikki tukivat hänen alkuperäistä päätelmäänsä.

Varsinaisia säätilan havainnoinnin verkostoja koetettiin perustaa lennätintä käyttäen 1700-luvun lopulta lähtien, mutta ensimmäinen toimiva järjestelmä saatiin aikaan Ranskassa 1800-luvun puolivälissä.

Modernin meteorologian varsinainen perusta vakiintui 1900-luvun alun vuosikymmeninä, jolloin alueellisesti rajattujen säähäiriöiden liikkeistä kehitettiin uskottavia malleja. Pioneereina toimi joukko norjalaisia tutkijoita, jotka selvittivät Atlantin yli Labradorin ja New Foundlandin seudulta Luoteis-Eurooppaan kulkeutuvien matala- ja korkeapaineiden liikkeitä. Englantilainen Lewis Fry Richardson (1881–1953) loi 1920-luvulla matalapaineiden (eli syklonien) liikkeitä kuvaavan numeerisen mallin, jota hän koetti soveltaa niiden vaikutuspiiriin kuuluvien alueiden säätilan ennustamiseen. Malli on rakenteellisilta piirteiltään edelleen pätevä, joskin Richardsonin laskema ennuste osui pahasti vikaan hänen käyttämensä alkuarvojen virheellisyyden vuoksi (Karttunen ym. 1998, 244–246). Tosin tällaisten numeeristen mallien tuottamien ennusteiden laskeminen kynällä ja paperilla on jokseenkin toivotonta: ennusteet valmistuvat jälkikäteen. Sään ennustaminen numeeristen mallien avulla edellyttää automaattista tietojenkäsittelyä.

Ilmakehän virtausten kokonaiskuvaan toi tärkeän täydennyksen troposfäärissä noin kymmenen kilometrin korkeudessa esiintyvien suihkuvirtauksien löytyminen. Suomen ilmaston suhteen keskileveysasteiden ilmassan ja polaari-ilmamassan väliin sijoittuva epäsäännöllisesti kiemurteleva suihkuvirtaus on erityisen tärkeä.¹¹

Koko maapallon kattavan ilmastosysteemin olennainen piirre on ilman ja merien yhteisvaikutus. Vesi sitoo lämpöä tehokkaammin kuin ilma. Päiväntasaajan tuntumassa olevat meret sitovat auringon säteilyn energiaa lämmöksi, ja merivirrat välittävät lämpöä pohjoiseen ja etelään. Merialtaiden pintakeroksissa liikkuvat merivirrat syntyvät tuulien vaikutuksesta, mutta coriolisvoimat vaikuttavat olennaisesti niiden suuntaan. Atlantille saapuu Afrikan eteläkärjen ympäri voimakas merivirta, joka jatkaa päiväntasaajan seudulta pohjoiseen ja koukkaa Meksikon lahden kautta koilliseen Golf-virtana. Pohjois-Atlantilla viilenneet vedet laskeutuvat syvänteisiin ja virtaavat pohjavirtana takaisin päiväntasaajan eteläpuolelle. Tämän merivirtojen ”liukuhinnan” (*conveyor belt*) merkitys maapallon ilmastolle selvisi 1900-luvun lopulla (merivirroista ks. Lunkka 2008, 31–34).

Meret sitovat lämmöstä noin 60% ja ilma-kehä 40%, mutta ajalliset mittakaavat eroavat suuresti: vesi sitoo kuukausiksi ja vuosiksi, ilma päiviksi tai viikoiksi. Siksi päiväntasaajan lähellä merten lämpö on suhteellisesti tärkeää, kauempana päiväntasaajasta sen sijaan ilman, joskin merivirrat tasaavat pitkällä aikavälillä lämpöeroja kuten Luoteis-Euroopassa Golfvirran vaikutuksesta hyvin tiedetään.

Nykyisen ilmastotutkimuksen olennaisen välineen muodostavat ilmakehän yleisen kiertoliikkeen numeeriset mallit (*Global Circulation Models*). Kansainvälisen hallitusten välisen ilmastopaneelin (*Intergovernmental Panel for Climate Change*, IPCC; perustettu 1988) raportteihin (*Assessment Reports*; 1990, 1995, 2001, 2007, 2014) sisältyy mallien laatimiseen käytetyistä aineistoista ja mentelmistä seikkaperäisiä selvityksiä. Paul N. Edwards (2001) analysoi mallien taustana olevaa tieteellistä ajattelua. Forster (2017) luo katsauksen siihen, miten ensimmäiseen realistiseen mutta yksinomaan ilmakehään rajoittuneeseen malliin (1967) on vuosikymmenten kuluessa kyetty yhdistämään olennaisia kiertoliikkeeseen vaikuttavia tekijöitä, kuten ilman ja merten

vuorovaikutus (1975), realistinen maantiede (1980), pilvipeite (1980-luku), kasvillisuuden dynamiikka (2000-luku) ja ilmakehän kemia (2010-luku).

PYSYVYYS JA MUUTOS

Sekä säätila että ilmasto vaihtelevat luonnostaan joskin erilaisissa ajallisissa mittakaavoissa. Säätilan vaihtelua on luontevaa arvioida asettaen vertailukohdaksi sopivan aikavälin keskiarvo. Arkisessa kokemusmaailmassa eri vuosien vuodenaikoja verrataan toisiinsa muuttaman vuoden kattavan ”säämuistin” varassa pitäen kriteerinä niitä toimintoja, jotka ovat totunnaisesti osuneet vuoden kierron eri osiin. Tämä on luontevaa, mutta säätilan vaihtelun kuvaamiseksi myös harhaanjohtavaa, erityisesti jos vertailu kiinnitetään mekaanisesti kalenteriyksiköihin kuten kuukausiin. Kuukauden keskilämpötila ei kerro mitään sen aikana ilmenneestä vaihtelusta, joka usein on vaikutuksiltaan paljon merkittävämpää.

Näkemyks, että maapallon ilmasto-olot ovat geologisessa aikamittakaavassa vaihdelleet dramaattisesti, vakiintui sen myötä kun 1800-luvun alkupuoliskolta lähtien alkoi löytyä jääkausien jättämiä vastaansanomattomia tunnusmerkkejä. Ilmasto-olojen muutoksista viimeisimpien satojen tuhansien vuosien ajalta on tarkkojen laboratoriotekniikoiden avulla saatu tarkkoja tietoja. Aineistoina käytetään esimerkiksi Grönlannin ja Etelämantereen jääkerrostumiin tallentuneiden ilmakehien kaasukoostumusta sekä merten pohjasedimenttien isotooppikoostumusta (esim. Allen 2000). Kokonaiskuva on dramaattinen kahdessa suhteessa: yhtäältä vaihtelevuus on nopeaa, ja vaihteluvälit ovat suuria; toisaalta viimeisten 10 000 vuoden aikana (eli ”holoseenin” aikana) ilmaston peruspiirteet ovat säilyneet hyvin vakaina. Vakaus on ollut ihmiskunnalle onnekasta: Esivanhemmillemme oli aikanaan mahdollista rakentaa yhteiskuntansa sangen pysyvissä ilmasto-oloissa.¹²

Sen sijaan ilmastossa juuri nyt tapahtuvien pitkävaikutteisten muutosten havaitseminen on vaikeaa, koska luontevaa vertailukohtaa ei ole. Ilmaston peruspiirteet joudutaan kiinnittämään (lähi)menneisyyden kattavien tilastojen avulla. Kansainvälisissä sopimuksissa tällaiseksi tekniseksi normiksi on asetettu 30 vuotta; tästä käytetään nimitystä ”30-vuotinen normaalijakso” (Rinne ym. 1998, 176).

Ilmakehän lämpötilan perustason määrää sen kaasukoostumus sekä kaasujen tuottama kasvihuonevaikutus.¹³ Kasvihuonekaasuja koskeva tietämys periytyy 1800-luvun alkupuolelle. Ilmakehän kaasujen fysiikka ja kemia ovat täysin tunnettua epäorgaanista kemialta. Ruotsalainen Nobel-palkinnon saanut kemisti Svante Arrhenius on tutkimuksen perustavia taustahahmoja. Kasvihuoneilmaston perustana on se, että maan pinnasta takaisin avaruuteen lähtevästä infrapunasäteilystä (lämpösäteilystä) osa absorboituu kasvihuonekaasujen molekyyleihin. Sen seurauksena lämpöenergian määrä alailmakehässä lisääntyy, ja ilmasto lämpenee. Ilmiön fysikaalisessa perustassa ei ole mitään epäselvää.

Ilmastotutkimuksen tärkeä sivujuonne on, että se tuotti yhden niin sanotun kaosteorian synnyn kulmakivistä. Yhdysvaltalainen matemaatikko ja meteorologi Edward Lorenz (1917–2008) simuloi kolmen dynaamisen epälineaarisen yhtälön määrittämän mallin käyttäytymistä ja havaitsi, että eri simulaatioiden tulokset poikkesivat täysin toisistaan. Tietokoneen laskennallinen pyöristysvirhe riitti muuttamaan sinänsä täysin deterministisen yhtälöryhmän laskennallisen tuloksen tarpeeksi monen simulointikierroksen jälkeen aivan uudenlaiseksi. Lorenz esitti (vuonna 1972) tuloksesta yhteenvedon konferenssiesitelmässä, jonka otsikossa hän esitteli metaforan ”perhosvaikutus” (*butterfly effect*).¹⁴

Lorenz oli niin pätevä matemaatikko, että hän oivalsi mistä oli kysymys: epälineaarisissa systeemeissä kuinka pienet alkuarvojen erot tahansa voivat tuottaa suuret ja ennakoimat-

tomat erot systeemin kehityspolkuun (*trajectory*). Tämä on kaaosteorian ydin.¹⁵

Näkemykset siitä, kuinka hyvin tai huonosti kaaosteoria soveltuu ilmaston dynamiikan tulkintaan vaihtelevat osittain sen mukaan, mikä mittakaava on tarkastelun kohteena. Tähän muutama huomio. Kaaos ei ensinnäkään tarkoita, että mitä tahansa voi milloin tahansa tapahtua missä tahansa. Luonnon tapahtumakulkujen muotoutumiselle on yleensä selvät rakenteelliset ehdot. Ilmaston osalta ehdot määrittyvät maapallon ja auringon keskinäisistä suhteista, ilmakehän koostumuksesta sekä maapallon geologian suurista rakenteellisista piirteistä, kuten mannerten ja merialtaiden sijainneista toisiinsa ja päiväntasaajaan nähden.

Yhtä lailla paikallis-alueelliset säähäiriöt, kuten Atlantin yli Luoteis-Eurooppaan ajautuvat matalapaineet, noudattavat varsin selkeitä säännönmukaisuuksia. Norjalaisten meteorologien 1920-luvulla kehittämä malli on tässä suhteessa edelleen pätevä – vallankin kun troposfäärin suihkuvirtausten vaikutus otetaan huomioon.¹⁶ Siksi suomalaiset sääennusteet ovat jopa viikon tarkkuudella yllättävän luotettavia vaikka säätyyppiä hallitsisi Atlantilta tulevien matalapaineiden jatkuva vaihtelu.

Sen sijaan pienemmän mittakaavan tapahtumakulut voivat olla aidosti ennakoimattomia. Esimerkiksi: Tuoko ukkosrintama mukanaan maahan asti ulottuvia syöksyvirtauksia; jos tuo, osuuko voimakkain niistä Orivedelle vai Kuhmoisiin? Synnyttääkö joku hellesään cumuluspilvistä ukkosen; jos synnyttää, osuuko se Hartolaan vai Orimattilaan? Ja niin edelleen. Näiden systeemien yksityiskohtiin vaikuttaa suuri määrä sinänsä determinoituja voimia, joiden yhteisvaikutus on kuitenkin ennakoimaton. Stewart (1989, 91–92) käyttää esimerkkinä polkupyörää. Siinä on vähintään viisi itsenäisesti liikkuvaa osaa (ohjaustanko, kaksi poljinta, kaksi pyörää), ja liikkeessä olevassa pyörässä jokaisella niistä on sekä sijainti että nopeus. Pyöräilijä voi oppia hallitsemaan kehollisesti pyöränsä etenemisen, mutta jos polkupyörä päästetään yksikseen irralleen ala-

mäkeen, se kaatuu ehdottoman varmasti; ja toistettiin koe kuinka monta kertaa tahansa, pyörä ei koskaan kaadu täsmälleen samoin. Se ei myöskään koskaan lähde itsestään ylämäkeen. Asetelman rakenteelliset ehdot määräävät rajat pyörän kaoottiselle kaatumiselle.

Lorenzin perhosvaikutus on vaikuttava metafora, mutta se on osoittautunut huonosti harmituksi. Se lukitsee helposti ajattelemaan kaaosta ”mitä tahansa voi tapahtua”-kuvitelman läpi. Olennaisempi piirre luonnon ilmiöissä ilmenevälle kaoottisuudelle on, että rakenteelliset reunaehdot määräävät tapahtumakulkujen yleiset ehdot, mutta näiden rajoissa prosesseissa voi ilmetä suurta, usein kaoottista vaihtelua. Hurrikaanien synty on tämänkaltaisen tapahtumakulku. Meren pintalämpötilan on oltava vähintään 26 C°, lisäksi syntyy vaikuttavat muu muassa tuuliolosuhteet. Kun sopivat olosuhteet vallitsevat esimerkiksi eteläisellä Atlantilla Afrikan rannikon edustalla, hurrikaani ehkä syntyy (tai ei synny) ja kulkeutuu vallitsevien tuulten mukana jonnekin Karibian merelle tai Yhdysvaltojen itärannikon tuntumaan; silloin tällöin hurrikaani kaartaa keskisen Atlantin viileiden vesien rauhoittamana hirmumyrskynä Brittein saarille asti.¹⁷

Säätilan vaihtelun ennustaminen yhtäältä ja ilmaston dynamiikan mallintaminen toisaalta ovat kaksi eri asiaa. Kuten Carl A. Miller (2004) hienosti osoittaa, perinteinen meteorologia ja uudempi ilmastotutkimus kuitenkin erkaantuivat toisistaan vasta 1900-luvun puolivälissä eli oikeastaan hämmästyttävän myöhään. Vasta tuolloin vakiintui näkemys, että ilmastolla on ontologisesti itsenäinen asema: vaikka ilmasto tulee ilmi paikallisten ja alueellisten sääolojen vaihteluna, se muodostaa aidosti globaalin dynaamisen systeemin. Antonio Speranza (1997) esittää teknisemmässä, kaaosteorian näkökulmasta laatimassaan arviossa, että tutkimusperinteiden keskinäiset erot ovat vaikeuttaneet tutkijoiden keskinäistä kommunikaatiota.

Suomen oloissa säätilan vakauden ajajänne on keskimäärin yli vuorokausi, eli kun

ennustaa huomiseksi suunnilleen samanlaista säätä kuin tänään, on keskimäärin oikeassa useammin kuin väärässä. Toisin sanoen lyhyellä aikavälillä säiden vaihtelun menneisyys ja tulevaisuus ovat symmetrisiä – vuodenaikaisvaihtelu huomioon ottaen. Ilmaston suhteen kysymys symmetriasta on hankalampi. Jääkaudet vahvistavat sen, että pitkällä aikavälillä menneisyys ja tulevaisuus ovat epäsymmetrisiä. Missä ajallisessa mittakaavassa menneisyyden ja tulevaisuuden symmetria murtuu?

Ilmaston trendinomaisen muutoksen kuten lämpenemisen todentaminen ei ole mahdollista ilman mielekästä vertailukohtaa. Kansainvälisten sopimusten mukainen 30 vuoden keskiarvo on tähän tarkoitukseen pahasti vajavainen. Keskiarvot piilottavat sisäänsä vaihtelun, jonka luonne voi merkittävästi muuttua samana pysyvän keskiarvon alla. Olisi olennaisempaa saada selville se, muuttuvatko ilmaston kehitykseen vaikuttavat reunaehdot. Kuinka nopeasti reunaehdot ylimalkaan voivat muuttua? Onko takeita, että tulevaisuudessa kohdatut muutokset ja ongelmat ovat menneisyydessä ratkaistujen ongelmien toisintoja?

ILMASTOTIEDON POLITIIKKA

Koska vesillä ja ilmastolla on olennainen vaikutus inhimillisen toimeentulon ehtoihin ja siis politiikkaan, myös vesiä ja ilmastoa koskeva tieto on poliittista. Tieto on välittävä jäsen asetelmassa, jonka toisiinsa liittyneet solmukohtat ovat tietty merkityksellinen luonnonilmiö sekä sen edellyttämät inhimilliset toimet. Se, millaisia asioita vettä tai ilmastoa koskevaan tietoon sisällytetään, on sidoksissa ilmaston politiikkaan.

Kuten edellä totesin, Aritoteleen meteorologiset pohdinnat olivat suoranaisessa yhteydessä silloisten yhteiskuntien toimeentulon ehtoihin. Maatalouden harjoittamisesta kirjoittaneen Hesiodoksen tekstissä yhteys oli vielä selvempi. Ympäröivän maailman tapahtumista on haluttu ottaa selvää muun muas-

sa siksi, että niihin voitaisiin varautua tai että niitä voitaisiin jossakin määrin peräti hallita. Ilmiöt, kuten säätila, joille ihmiset eivät mitään mahda, on arvioitu ja tulkittu inhimillisen toimeentulon prisman läpi. Suhtautuminen säätilan säännöllisiin ilmiöihin on kantanut tällaista perintöä. Clarence Glacken toteaa yhteiskuntien luontosuhdetta erittelevässä mestarillisessa katsauksessaan (Glacken 1967), että antiikin aikaan ilmaston ja inhimillisen toimeentulon ihmeellinen sopusointu nousi yhdeksi perusteeksi päätelmälle, että maailma on luotu ihmistä varten. Antiikin aikana oltiin hyvin perillä siitä, että vesi liikkuu kiertokulussa meren ja vuoriston välillä ja kastelee matkallaan vuoristosta takaisin mereen ihmisten viljelykset. Tämän arveltiin olevan painava todiste sen puolesta, että Luoja on luonut maan piirin ihmiselle soveliaaksi asuinpaikaksi.

Myös nykyinen näkemys ilmastosta on tulkinta. Toki maapallon ilmasto on todellinen ilmakehän energetiikan, fysiikan ja kemian tuottama systeemi, mutta käsite ilmasto viittaa sellaiseen luonnonilmiöön, joka on suoran inhimillisen havainnoinnin ulottumattomissa. Ilmastotutkija Mike Hulme (2009, 9) toteaa yksikantaan, että ilmasto tiedon kohteeksi määriteltynä on ”yhteenkietoutuneen ja fyysisikaalisen globaalin systeemin emergentti ominaisuus”. Toisin sanoen, ilmasto on meille ihmisille olemassa sellaisena kuin sen itsellemme esitämme.¹⁸

Luontoa koskevat perustavat oletukset ovat tietenkin suuresti muuttuneet sitten antiikin. Heuristiikka on hyvä nimitys sellaisille yleisluonteisille oletuksille, joita on jokaisen tieteellisen ajattelutavan taustalla perustelemassa sen oikeutusta.¹⁹ Usko kaikkivoivan Luojan hyväntahtoiseen kaitselmukseen on suurelta osin väistynyt. Sen sijalla on luonnontieteen historian tuottama ja tukema heuristiikka: luonnon ilmiöillä on luonnolliset syyt. Tämä tietysti pätee myös säätilan vaihteluun ja ilmastoon.

Ilmaston muotoutumisen syy-seuraussuhteet (eli kausaalisuus) ovat kuitenkin

hankalasti tulkittavia, koska ilmaston prosesseihin vaikuttavat moninaiset tekijät. Lineaarinen syy–seuraus–malli on mahdoton. Tämän osoittavat kaksi ilmaston dynamiikan hyvin tunnettua piirrettä.

Ensinnäkin ilmastossa ilmenee itseään vahvistavia kehämäisiä prosesseja, joiden lopulliseen muotoutumiseen vaikuttaa suuri joukko osittain toisistaan riippumattomia alku- ja reunaehtoja – siis eräänlainen ”sattumien summa”. Trooppisten hirmumyrskyjen (hurrikaanien, taifuunien) sekä yhtä lailla keski-leveysasteiden matalapaineiden (syklonien) kehitys ilmentää tätä piirrettä. Monien sääilmiöiden, esimerkiksi poutapäivien kumpupilvien muodostumisessa toteutuu itseään toistaen (eli rekursiivisesti) laajeneva kaskadi, joka synnyttää fraktaalimaisia geometrisia muotoja. Itse asiassa edellä mainitsemani säähäiriöiden numeerisia malleja kehittänyt matemaatikko Lewis Fry Richardson ennakoï myös fraktaalien matemaattisen merkityksen.²⁰

Kausaalisuhteiden täsmällistä jäsentämistä vaikeuttaa toisaalta se, että ilmakehän prosessien ajalliset ja tilalliset mittakaavat sekoittuvat epälineaaristen dynaamisten vuorovaikutusten seurauksena. Suuressa mittakaavassa tätä edustavat esimerkiksi lämpökonvektion tuottamien Hadleyn solujen muuntuminen päiväntasaajan molemmiin puolin. Alueellisessa mittakaavassa esimerkiksi Länsi- ja Pohjois-Euroopassa troposfäärin suihkuvirtauksen aseman muutokset voivat vaikuttaa muun muassa laajojen korkea- tai matalapaineiden alueiden paikalliseen esiintymiseen.

Ilmaston dynamiikassa ilmenevien syy–seuraus–suhteiden kuvaamiseen voi soveltaa Nancy Cartwrightin (2007) näkemystä kausaalisuuden luonteesta. Cartwrightin mukaan kausaalisuuden perustana on ilmiöiden *kapasiteetti* vaikuttaa tietyllä tavalla asioihin, joiden kanssa ne ovat vuorovaikutuksessa. Näin ajatellen esimerkiksi merivedellä, joka on lämpötilaltaan vähintään 26 C°, on kapasiteetti synnyttää trooppinen myrsky – mutta syntyykö myrsky vai ei, riippuu lukuisista muista ti-

lanteeseen vaikuttavista tekijöistä. Vastaavasti ilmakehän tietyillä kaasuilla on kapasiteetti absorboida säteilyenergiaa siten, että ilman lämpötila kohoaa. Komplekseissa prosesseissa toteutuvan kausaalisuuden analysointi edellyttää siis kuhunkin tilanteeseen vaikuttavien tekijöiden eriyttämistä toisistaan sekä niiden suhteellisen merkityksen arviointia. Jotkut tekijöistä ovat rakenteellisia ja useimmiten välttämättömiä, jotkut toiset satunnaisempia.²¹

Ilmastonmuutosta koskevassa tutkimuksessa muutosta aiheuttavat kausaaliset tekijät on tapana luokitella hyvin karkeasti aggregoituina käyttäen termiä ”pakote” (*driver, forcing function*). Kasvihuonekaasujen aiheuttamasta maapallon alailmakehää lämmittävästä vaikutuksesta käytetään nimitystä ”säteilypakote” (*radiative forcing*). Käytäntö on ymmärrettävä mutta myös harhaanjohtava. Hyvin yleisluonteisten ja koko ilmakehää kuvaavien muuttujien avulla on nimittäin vaikea saada ilmastonmuutoksen uhka kehystetyksi sellaiseksi ongelmaksi, johon vaikuttaa mahdolliselta vaikuttaa. Ilmastotiedon politiikan olennainen hankaluus onkin luoda hedelmällisiä tapoja eriyttää ilmastonmuutoksen laajasta kokonaisuudesta selkeästi määriteltyjä ongelmia.

Nykyisessä IPCC:n raporttien välityksellä vakiintuneessa kielenkäytössä kritiikkiä ovat herättäneet esimerkiksi seuraavat seikat: Tiedon ja politiikan väliseen suhteeseen sovelletaan teknokraattista ja lineaarista mallia (Beck 2011). Paikallisten yhteisöjen haavoittuvuutta eli altistumista muutosten haitoille ei ole otettu huomioon, vaikka tämä olisi tarpeen, muuttuu ilmasto tai ei (Pielke ym. 2007). Taloudellisia laskelmia korostetaan liikaa sosiaalisten näkökohtien kuten eriarvoisuuden kustannuksella (Hiedanpää & Bromley 2016). Kuten Roger Pielke kollegoineen toteaa (2007), ilmastonmuutoksen virittämien poliittisten näkemysten kehittämiseksi tarvitaan uusia ajattelun, puheen ja toiminnan tapoja. Yksi keskeisistä ongelmista on alusta lähtien ollut se, että IPCC:n raporteissa on pääpaino annettu vaihtoehtoisten skenaarioiden esit-

telylle, ja muutoksia aiheuttavien prosessien tarkastelu on jäänyt vähemmälle (esim. Beck 2011, 299).²²

Ilmastonmuutos on yksi globaalien ympäristöpolitiikan keskeisimmistä ongelmista. Sille ei ole olemassa mitään yksinkertaista ratkaisua. Taustalla on lisäksi pitkän aikavälin vielä kattavampia tavoitteita, kuten kestävä kehitys, kestävä kulutus ja tuotanto, vihreä talous, kierto-talous, kasvun rajoittaminen ja niin edelleen. Kokonaisuudesta on vaikea erottaa täsmällisesti rajattuja, ratkaistavissa olevia ongelmia. Koko ongelmakimpun yhteinen nimittäjä on *tulevaisuuden politisoituminen*: Tänäpä on tehtävä valintoja, joiden seuraukset tulevat ilmi vasta vuosien tai vuosikymmenien kuluttua. Miten siis on mahdollista tunnistaa oikeat valinnat?

KOLMIODRAAMA

Ilmaston politiikkaa koskevalla tiedolla ei ole sitä asemaa yhteiskunnallisen ajattelun heuristiikassa eikä poliittisessa ymmärryksessä, mikä sillä pitäisi olla. Ilmaston, tiedon ja politiikan suhteet muistuttavat kolmiodraamaa enemmän kuin kolmityhteyttä. Ilmasto, luonnonilmiö, on tietenkin todellinen. Poliittiset päätökset ja niiden taustalla olevat intressit ovat tietenkin todellisia. Ilmasto koskeva tieto on asetelmassa joustava ja väistyvä osanen, jota voidaan muokata tarpeen mukaan, kun poliittinen vakaumus tulkitsee ilmaston politiikkaa.

Raflaavia esimerkkejä on tarjolla. North Carolina säätö vuonna 2012 lain, jonka nojalla rantavyöhykkeelle suunniteltujen rakennushankkeiden lupaharkinnassa ei saa käyttää meren pinnan nousun osalta muita kuin 30 vuoden ”historiallisen datan” mukaisia arvioita. North Carolina tosin sanoen määräsi lakisääteisesti ilmaston vakaaksi. Noudattaako ilmasto lakia, on toinen kysymys; kysymys sai väistyä rantatonttien arvon nousuun liittyvien taloudellisten intressien tieltä. Samanlainen asetelma on toistunut lukuisilla alueilla Yhdysvaltojen itäisillä ja eteläisillä rannikkoseuduilla.²³

Yhdysvallat ei toki ole ainoa maa, missä ilmastonmuutoksen uhkaan suhtaudutaan yliolkaisesti, mutta siellä ilmastonmuutoksen kieltäjillä on erityisen vahva poliittinen ja ideologinen asema.²⁴ Muusta kansasta eristäytyneen yläluokan vahvat taloudelliset intressit varmasti selittävät asiasta huomattavan osan. Öljy- ja kivihiihteellisuuden vahva lobbaus on tärkeä osa kokonaiskuvaa. Mutta olisi banaalia selittää tämä asennevamma suoraviivaisesti taloudellisilla intresseillä. Oletan, että taustalla on myös poliittisen ideologian tuottamaa heuristiikkaa sen suhteen, millaiset seikat politiikassa ovat niin merkityksellisiä, että ne tulee asettaa etusijalle. Vahva kansallisen edun tavoittelu on ollut leimallista ilmastopolitiikkaa koskeneille kannanoitoille. Yhdysvaltojen senaatti esimerkiksi äänesti vuonna 1997 yksimielisesti (99-0) Kioton pöytäkirjaa vastaan, koska sen katsottiin edellyttävän yksipuolisesti kasvihuonepäästöjen rajoittamista vain teollisuusmailta (Miller 2004, 62).²⁵

Olisi mahdollista kuvitella, mitä ilmaston, tiedon ja politiikan tasapainoinen kolmityhteyks voisi merkitä. Asetelmaa hieman yleistän: kyse on siitä, millä tavoin voisi syntyä harmoninen tasapaino tietyn merkityksellisen luonnonilmiön, ilmiötä koskevan tiedon ja ilmiön edellyttämän politiikan välille.

Harmoniselle suhteelle antaa mallin puutarha. Merkityksellinen luonnonilmiö puutarhassa on kasvien kasvu. Tieto on kiteytynyt puutarhurin näkemykseen siitä, millaisia edellytyksiä kasveille tulee turvata, jotta ne kasvaisivat. Poliitiikka kattaa puutarhurin toiminnan sekä erityisesti kyvyn (tai kyvyttömyyden) muuttaa toimintaansa, kun olosuhteet kasvukauden aikana muuttuvat. Poliitiikan olennainen osa on varautuminen. Keväällä kylvökauden alussa puutarhuri ei tiedä, tuleeko kesästä aurinkoinen ja kuiva vai sateinen ja kolea – tai ehkä sateinen, mutta lämmin. Alkuperäiset valinnat edustavat puutarhurin sopeutumista ilmaston politiikkaan, joka heijastuu puutarhaan säätilojen vaihtelun välityksellä. Mikään puutarha ei ole homogeeninen, ja oikeiden

kasvien sijoittaminen puutarhassa oikeisiin paikkoihin parantaa olennaisesti tulosta. (Tämän oppiminen on vienyt minulta hämmästyttävän pitkään – johtuen tietyistä siitä, että vuodet ovat kovin erilaisia, ja viimeisin vuosi peittää aina tehokkaasti aikaisemmat alleen.)

Parhaassa tapauksessa puutarhuri oppii vuosien mittaan tuntemaan kolmiyhteyden mahdolliset hiertymä- ja murtumakohdat.

Periaatteessa ilmaston, tiedon ja politiikan välille voisi syntyä vastaavanlainen harmoninen kolmiyhteys. Sellaiselle on ehkä ollut aineksia joissakin perinteisissä yhteisöissä, joissa puutarhan ja ilmaston politiikat ovat määrittäneet ihmisten toimintojen vuosirytmiiä. Tunnettua on, että esimerkiksi antropologi Bronislaw Malinowski antoi Trobriand-saarten puutarhoja ja niiden hoitoa kuvaavalle teokseen (1935) otsikoksi *Coral Gardens and Their Magic. A Study of the Methods of Tilling the Soil and of Agricultural Rites in the Trobriand Islands*.

Puutarhoista ei kuitenkaan voi johtaa suoranaisia malleja vastata ilmaston politiikkaan, ei nykyisistä eikä menneistä. Huomio kannattaa käsittääkseni sen sijaan kiinnittää tiedon ja yhteiskunnallisen järjestyksen keskinäisiin riippuvuuksiin. Tähän asetelmaan kohdistuvassa tieteen ja teknologian tutkimuksen viritämässä perinteessä käytetään termiä ”tieteen ja yhteiskunnallisen järjestyksen *co-production*” – suomeksi sananmukaisesti ”yhteistuotanto”, mutta ehkä sujuvammin ”yhteinen rakentuminen” (Jasanoff 2004).

Tiedon ja yhteiskunnallisen järjestyksen yhteisen rakentumisen tutkimus on vielä nuorta, mutta se tarjoaa lähtökohтия selkiyttää kolmiyhteys *vs.* kolmiodraama asetelmaa.

VIITTEET

1. Ero on nykyisessä katsannossa itsestään selvä, mutta se tuli selvästi artikuloiduksi yllättävän myöhään. Clark C. Miller (2004, 51–52) lainaa yhdysvaltalaisen tutkijoiden ilmastolle vielä 1900-luvun puolivälissä esittämiä määritelmiä, joissa ilmasto tulkittiin ”suurikokoiseksi

Näin etenkin mikäli erilaisten tiedon kohteiden keskinäinen erilaisuus kyetään ottamaan huomioon. Kuten sanottu, käsitykseni mukaan esimerkiksi ilmaston politiikka ja veden politiikka ovat keskenään lähisukulaisia, mutta niiden välillä on myös olennaisia eroja. Erot seuraavat siitä, että ilmasto ja vesi vaikuttavat inhimillisiin toimiin ja muodostuvat toimien kohteiksi hyvin eri tavoin. Olisi kummallista, jos nämä erot eivät heijastuisi siihen, miten ilmastoa ja vettä koskeva tieto vaikuttaa yhteiskunnallisten näkemysten ja niiden välityksellä yhteiskunnallisen järjestyksen rakentumiseen. Vastaavanlaisia eroja voi tunnustaa myös muiden luonnonilmiöiden edellyttämien tiedon sisältöjen ja politiikkojen välillä.

Asian ytimessä on kysymys, miten sellaisen kattavan luonnonilmiön kuin ilmaston määrittelemät politiikan välttämättömyydet voitaisiin omaksua yhdeksi yhteiskuntapolitiikan lähtökohdist. Ensisijaista on tämän tarpeen hyväksyminen osaksi yhteiskunnallisen ajattelun heuristiikkaa. Yhteiskunnallisen järjestyksen ja yhteisen hyvän vaaliminen on kaiketi yksi kriteeri – ehkä jopa välttämätön, vaikka järjestyksen ja yhteisyyden tavoitteet ovat alttiita vääristymään vallanpitäjien monopolisoimiksi iskulauseiksi. Rinnalle tarvitaan kykyä kuvitella vaihtoehtoisia yhteiskunnallisia ja poliittisia tulevaisuuksia (*imaginary*) (Ezrahi 2004).

Jos ilmaston, tiedon ja politiikan suhteita hallitsee kolmiodraama, tulevaisuus näyttäytyy lineaarisena vallitsevan järjestyksen toistona. Kolmiyhteys vaatii toteutuakseen refleksiivisyyttä, vuorovaikutteisuutta ja herkkyyttä tilanteiden jatkuvalla muutokselle.

— YRJÖ HAILA

säätilaksi”.

2. Teokseen sisältyy myös hämmästyttävä jakso, jossa Aristoteles pohtii erityisesti vesiolojen merkitystä asutuksen sijoittumiselle Niilillä sekä Argoksen ja Mykenen keskinäisten voima- ja valtasuhteiden muutokselle

- (351^b9-352^a16).
3. Sekä kaasuisa että nesteissä molekyylit ovat toisiinsa nähden vapaassa liikkeessä; niiden ominaispiirre on viskositeetti (sitkaus), mikä on ratkaiseva ero kiinteään aineeseen nähden. Kuten Mark W. Denny (1993) toteaa, kaasuille ei ole mahdollista määritellä muotoa eikä tilavuutta; nesteillä sen sijaan on tilavuus mutta ei muotoa.
 4. Philip Ball (2016) esittää vakuuttavasti, miten Kiinan mantereen laajuista valtakuntaa hallitsevat joet, jotka ovat suuresti määränneet sosiaalista ja poliittista kehitystä Kiinan sivilisaatioiden varhaisista vaiheista lähtien.
 5. Venetsia perustettiin suunnilleen 500-luvulla Venetsien laguunin liejuisille saarille rannikon asujamiston turvapaikaksi pohjoisten barbaarien ryöstökiltä. Mutasaarille syntynyt kaupunki (valtio) säilytti tietoisuuden siitä, että laguuni turvaa sen mantereelta tulevalta valloittajilta. Laguuniin laskevia jokia ryhdyttiin kanavoimaan jo 1200-luvulla liettymisen estämiseksi.
 6. Nykyisten Alankomaiden asujamiston taistelu tulvia vastaan ulottuu ajanlaskumme alkua edeltävään aikaan. Sielläkin yksi syy siihen, että jokseenkin asuinkelvottomat ranta-alamot alunperin asutettiin oli pyrkimys suojautua sisämaasta levittäytyneiden joukkojen ryöstökiltä (Lambert 1971).
 7. Tätä eroa heijastaa myös se, että vesipolitiikka assosioituu vahvasti pyrkimykseksi hallita vettä (Haila 2017). Sopeutua elämään ”veden kanssa” tuntuu hankalammalta kuin sopeutua elämään ”ilmaston kanssa”. Tosin yhä selvemmin on tiedostettu se, että esimerkiksi tulvien torjumiseksi tehokas menetelmä olisi usein jättää ”säännöstely” vähemmälle ja antaa sen sijaan äkillisille tulvavesille aikaa viipyä kosteikoissa jokien yläjuoksulla.
 8. Hydrologiasta johdettujen analogioiden soveltaminen ”ilmatieteeseen” on yksi parhaista esimerkeistä analogiapäätelyn merkityksestä luonnontieteellisen ymmärryksen kehitykselle; aihe, jota perinteisen tieteenfilosofian on vaikea käsittää.
 9. Vuodenaikaisuus puolestaan johtuu siitä, että maapallo on vinossa aurinkoa kiertävän maapallon ratatasoon nähden; mutta tämän olemme saaneet selville jo peruskoulussa/ kansakoulussa.
 10. Hannu Karttunen kollegoineen (1998) esittää selväpiirteisen kokonaiskuvan maapallon ilmastovyöhykkeiden rakenteesta sekä vyöhykkeiden vakautta ylläpitävistä säännöllisistä ilmavirtauksista.
 11. Jarmo Koistinen (teoksessa Rinne ym. 1998, 35–42) esittää suihkuvirtauksista selkeän yhteenvedon.
 12. Juha Pekka Lunkka (2008) esittää erinomaisen katsauksen maapallon ilmaston historiaan; ks. myös Karttunen ym. (1998, luku 7).
 13. Karttunen ym. (1998) ja Rinne ym. (1998) esittävät kasviuoneilmiöstä selkeän yhteenvedon. Tosin geologisessa aikamittakaavassa myös mannerten ja merien sijainnit ovat vaikuttaneet olennaisesti ilmaston peruspiirteisiin (Lunkka 2008).
 14. Esitelmä on liitteenä Lorenzin kaaosteoriaa esittelevässä kirjassa: ”Predictability: Does the Flap of a Butterfly’s Wings in Brazil Set off a Tornado in Texas?” (Lorenz 1993, 181–184). Lorenz kuvaa myös käyttämänsä tavattoman yksinkertaiselta näyttävän kolmen yhtälön ryhmän (s. 188).
 15. Pätevää kirjallisuutta on nykyisin saatavilla enemmän kuin kukaan pystyy lukemaan; kiinnostavia ovat erityisesti ne, joissa pohditaan kaaosteorian ilmentämisen ennakoimattomuuden merkitystä tieteelliselle ajattelulle yleisemmin; Ekeland (2004), Kellert (1993) ja Stewart (1989) ovat tässä suhteessa erinomaisia. Epävarmuudesta tiivis esitys on Smith (2007).
 16. Niinpä Jarmo Koistinen toteaa teoksessa Rinne ym. (1998, 43): ”Vaikka kahta täysin samanlaista kehitystä ei ole, polaariirintaman matalapaineen kehityskaari noudattaa keskimääräisesti säännömukaista mallia.”
 17. Ian Stewart (1989, 130–133) kertoo tarinan Englannin sääennusteiden pahimmasta epäonnistumisesta: 15.10.1987 saarelle iski voimakkain myrsky sitten vuoden 1703, mutta sääennusteet eivät havainneet myrskyn tuloa. Atlantilta lähestyvän myrskyn ennusmerkit eivät vastanneet oletettua. Vuoden 2017 voimakkaan hurrikaanisyksyn tuotti poikkeuksellisen suotuisien sääolojen yhdistelmä.
 18. Mike Hulmen lausahdus ei siis edusta brutaalia konstruktionismia vaan ilmaisee sen, että joskin ilmasto on materiaallinen fysikaalinen ilmiö, me ihmiset tunnemme ilmaston ainoastaan omien tutkimuksellisten käsitteidemme ja käytäntöjemme välityksellä. Tämä ei ole mitenkään ainutlaatuista luonnontieteellisen tutkimuksen piirissä. Ydinräjähdys on yhtä lailla todellinen fysikaalinen ilmiö, jota kukaan ei ole nähnyt ”sisältä päin” – eikä tule koskaan näkemään; se tunnetaan laskennan ja mallintamisen sekä välillisesti seuraustensa

välityksellä.

19. Termillä heuristiikka on kaksoismerkitys: Se voi ensiksikin viitata yksilökohtaisiin päättelyperiaatteisiin, kuten esimerkiksi Amos Tverskin ja Daniel Kahnemanin tukimusperinteessä (ks. Tverski & Kahneman 1974). Toisaalta heuristiikka voi viitata kollektiivisesti omaksuttuun näkemykseen siitä, millaisia ehtoja hyväksyttävissä olevan tutkimustuloksen tietyllä tutkimusalalla tulee täyttää (esim. Dyke 1988). Käytän termiä jälkimmäisessä merkityksessä.
20. Fraktaali on geometrinen kuvio, jossa toistuu sama muoto kaikissa tarkastelun mittakaavoissa. Benoit Mandelbrot liitti fraktaalikirjaansa (1983) Richardsonista lyhyen biografisen esseen tätä kohtaan tuntemansa arvostuksen osoitukseksi (s. 401–403). Richardsonin erityinen ansio oli osoittaa (vuonna 1926) ilmakohinan turbulenssin itseään toistava kaskadimainen rakenne (Mandelbrot, s. 102); ilman turbulenssi ja veden turbulenssi ovat samaa sukua (vrt. alaviite 8). Richardson tutki myös empiirisesti sitä, miten mutkittelevan rajalinjan pituus riippuu käytetyn mittayksikön pituudesta: mitä lyhyempi mittayksikkö, sitä suurempi kokonaispituus, koska lyhyt yksikkö kuluu rajalinjan mutkat tarkemmin kuin pitkä. Hänen aineistonsa mukaan esimerkiksi Espanjan ja Portugalin välinen raja oli pituudeltaan

espanjalaisten mittaamana 987 km ja portugalilaisten mittaamana 1214 km (Mandelbrot, s. 33).

21. Cartwright (2007) esittää tuoreen yhteenvedon hänen pragmaattisesta näkökulmastaan. Cartwright on myös käyttänyt John Stuart Millin termiä *tendenssi* kapasiteetin rinnalla. Cartwright on perustellut näkemystään useissa varhemmissa kirjoissaan, mutta hän on myös todennut itseironisesti (2009, 191), että hänen näkemysensä on ”by far a minority view in philosophy”.
22. IPCC:n tutkimusstrategiaa koskevaa järkevää keskustelua on toki alusta asti vaikeuttanut myös konservatiivisten ajatuspajojen harjoittama IPCC:n tutkimuksen mustamaalaus (esim. Miller & Schneider 2004).
23. North Carolinan laista on helppo löytää netistä sen säätämisen aikaisia kommentteja; esim. Harish (2012). Meyer (2017) esittää laajan raportin siitä, miten ”supermyrsky” Sandyn lokakuussa 2012 tuhoamille, edelleen tulville äärimmäisen alttiille New Jerseyn ranta-alueille nousee uutta (kallista) esikaupunkiasutusta.
24. Motherboard-sivustolla julkaistun selvityksen mukaan yli puolet sekä Yhdysvaltojen kongressin edustajainhuoneen (232/435) että senaatin (53/100) jäsenistä on ilmastonmuutoksen kieltäjiä (Emerson 2017).
25. Mehling & Vihma (2017) arvioivat Yhdysvaltojen poliittisen ajattelun historian ja heuristiikan näkökulmasta Trumpin aikakauden ilmastopolitiikkaa.

KIRJALLISUUS

- Alley, Richard B. 2000. *The Two-Mile Time Machine. Ice Cores, Abrupt Climate Change, and Our Future*. Princeton Univ. Press, Princeton.
- Ball, Philip (2016). *The Water Kingdom. A Secret History of China*. Vintage.
- Beck, Silke (2011). Moving beyond the linear model of expertise? IPCC and the test of adaptation. *Regional Environmental Change* 11, 297–306.
- Cartwright, Nancy (2007). *Hunting Causes and Using Them. Approaches in Philosophy and Economics*. Cambridge University Press.
- Cartwright, Nancy (2009). What Is This Thing Called ”Efficacy”? Teoksessa C. Mantzavinos (toim.), *Philosophy of the Social Sciences. Philosophical Theory and Scientific Practice*. Cambridge University Press: 185–206.
- Ciriacone, Salvatore (2006). *Building on Water. Venice, Holland and the Construction of the European Landscape in*

Early Modern Times. Berghahn Books.

- Denny, Mark W. (1993). *Air and Water. The Biology and Physics of Life's Media*. Princeton University Press.
- Dyke, Chuck (1988). *The Evolutionary Dynamics of Complex Systems. A Study in Biosocial Complexity*. Oxford University Press.
- Edwards, Paul N. (2001). Representing the Global Atmosphere: Computer Models, Data, and Knowledge about Climate Change. Teoksessa Clark A. Miller & Paul N. Edwards (toim.), *Changing the Atmosphere. Expert Knowledge and Environmental Governance*. MIT Press: 31–64.
- Edwards, Paul N. & Stephen H. Schneider (2001). Self-Governance and Peer Review in Science-for-Policy: The Case of the IPCC Second Assessment Report. Teoksessa Clark A. Miller & Paul N. Edwards (toim.), *Changing the Atmosphere. Expert Knowledge and Envi-*

- ronmental Governance*. MIT Press: 219–246.
- Ekeland, Ivar (2004). *Paras mahdollisista maailmoista. Matematiikka ja kohtalo*. Art House.
- Emerson, Sarah (2017). The Climate Change Deniers in Congress. Motherboard 28 April, 2017 [https://motherboard.vice.com/en_us/article/pg5zqg/a-guide-to-the-climate-change-deniers-in-congress; 31.10.2017].
- Ezrahi, Yaron (2014). Science and the political imagination in contemporary societies. Teoksessa Sheila Jasanoff (toim.), *States of Knowledge. The co-production of science and social order*. Routledge, London: 254–273.
- Forster, Piers (2017). Half a century of robust climate models. *Nature* 545, 296–297.
- Glacken, Clarence (1967). *Traces on the Rhodian Shore, Nature and Culture in Western Thought from Ancient Times to the End of the Eighteenth Century*. University of California Press.
- Haila, Yrjö (2017). Securing Water: Ambiguities of Control vs. Coexistence. Teoksessa Jane Coslow, Yrjö Haila & Arja Rosenholm (toim.), *Water in Social Imagination, from Technological Optimism to Contemporary Environmentalism*. Brill Rodopi: 255–276.
- Hankinson, R.J. (1995). Science. Teoksessa Jonathan Barnes (toim.), *The Cambridge Companion to Aristotle*. Cambridge University Press: 140–167.
- Harish, Alon (2012). New Law in North Carolina Bans Latest Scientific Predictions of Sea-Level Rise. *ABC News*, August 2, 2012. [http://abcnews.go.com/US/north-carolina-bans-latest-science-rising-sea-level/story?id=16913782; 30.10.2017]
- Hiedanpää, Juha & Daniel W. Bromley (2016). *Environmental Heresies. The Quest for Reasonable*. Palgrave Macmillan.
- Jasanoff, Sheila (toim.) (2004). *States of Knowledge. The co-production of science and social order*. Routledge.
- Karttunen, Hannu, Jarmo Koistinen, Elena Saltykoff & Olli Manner (1998). *Ilmakehä ja sää*. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa.
- Kellert, Stephen H. (1993). *In the Wake of Chaos. Unpredictable Order in Dynamical Systems*. The University of Chicago Press.
- Lambert, Audrey M. (1971). *The Making of the Dutch Landscape, an Historical Geography of the Netherlands*. Seminar Press.
- Lorenz, Edward 1993. *The Essence of Chaos*. Univ. of Washington Press, Seattle.
- Lunkka, Juha Pekka (2008). *Maapallon ilmastohistoria kasvihuoneista jääkausiin*. Gaudeamus.
- Mandelbrot, Benoit B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman and Co.
- Mehling, Michael & Antto Vihma (2017). ‘Mourning for America’ Donald Trump’s Climate Change Policy. FIIA Analysis – 8, Ulkopoliittinen Instituutti.
- Meyer, Gregory (2017). Sand castles on Jersey Shore: property boom refies US flood risk. *Financial Times* October 29, 2007. [https://www.ft.com/content/f95aa4e2-b3e6-11e7-aa26-bb002965bce8; 30.10.2017]
- Miller, Clark A. (2004). Climate science and the making of a global political order. Teoksessa Sheila Jasanoff (toim.), *States of Knowledge. The co-production of science and social order*. Routledge, London: 46–66.
- Pielke, Roger Jr, Gwyn Prins, Steve Rayner & Daniel Sarewitz (2007). Lifting the taboo on adaptation. *Nature* 445, 597–598.
- Rinne, Juhani, Jarmo Koistinen & Elena Saltikoff (toim.) (1998). *Suomalainen sääkirja etanasta ElNiñoon*. Otava.
- Smith, Leo (2007). *Chaos. A Very Short Introduction*. Oxford University Press.
- Speranza, Antonio (1997). The impact of chaos on meteorology. Teoksessa Celso Grebogi & James A. Yorke (toim.) *The Impact of Chaos on Science and Society*. United Nations University Press: 232–242.
- Stevens, William K. 1999. *The Change in the Weather. People, Weather, and the Science of Climate*. Delacorte Press, New York.
- Stewart, Ian (1989). *Does God Play Dice? The New Mathematics of Chaos*. Penguin.
- Tverski, Amos & Daniel Kahneman (1974). Judgement under uncertainty: Heuristics and biases. *Science* 185, 1124–1131.
- Vilkuna, Kustaa (1950). *Vuotuinen ajantieto*. Otava.