

Ilmastonmuutoksen aika

■ Jari Holopainen ja Samuli Helama

Ilmastonmuutoksesta on viime vuosien kuluessa kirjoitettu tämän lehden sivuilla useaan otteeseen ja eri näkökulmista. Allekirjoittaneet ovat myös osallistuneet keskusteluun esittämällä ilmastonmuutoksen käsitteen merkityksen muutosta pohtivan artikkelin.¹ Taannoisessa kirjoituksessa käsiteltiin mm. havaintovälineiden ja kellon tuloa osaksi meteorologista havaintojentekoa ja miten ne muuttivat tapaa hahmottaa säässä ja ilmastossa tapahtuvia vaihteluita aikaisempaan verrattuna. Tämä aihepiiri johti pohtimaan laajemmin ajan luonnetta ilmastonmuutoksen yhteydessä. Yllättäen teema osoittautui vähän käsitellyksi ilmastonmuutostutkimuksen piirissä.

Hallitusten välisen ilmastopaneelin IPCC:n (2007) neljännen arviointiraportin tiivistelmässä ilmastonmuutoksella viitataan mihin tahansa ilmaston muuttumiseen ajan myötä joko luonnollisten vaihteluiden tai ihmisen toiminnan seurauksena.² Samaisen raportin sanastossa ilmastonmuutoksella viitataan tilastollisesti merkitsevään vaihteluun joko ilmaston keskiarvoisessa tilassa tai sen vaihtelussa tavallisesti vuosikymmenien tai pidem-

mällä jaksolla.³ Edelleen molemmat viittaukset tekevät eron YK:n ilmastositomusten määritelmään, missä ilmastonmuutoksella tarkoitetaan vain sellaisia muutoksia, jotka johtuvat suoranaisesti tai epäsuorasti ihmiskunnan toimista, esim. ilmakehän koostumuksen muuttamisesta.⁴ Aikaviitekehyksessä ilmastonmuutosten käsittämisen erilaisuus johti pohtimaan kysymystä, millainen aikakäsitys tai käsityksiä ilmastonmuutokseen määritelmiin oikein liittyä? On huomionarvoista, ettei ajan määritelmää tai aikakäsitystä kuitenkaan IPCC:n raporteista esitetä, vaikka sanana aika kuuluu keskeisesti ensin mainittuun ilmastonmuutoksen määritelmään.

Lienee hyvä tuoda esille sekin näkökohta, etteivät IPCC:n raportit tee erityistä poikkeusta ilmastonmuutostutkimuksen kentässä aikänäkökulmasta katsottuna, sillä aikaa ei juuri tapaa luonnontieteellisessä kontekstissa asetettavan erikseen määrittelyn kohteeksi. Itse asiassa aika on niitä harvoja tutkimuksen peruskäsitteitä, minkä merkitys ajateltaneen olevan muuttumaton. Mutta mistä silloin puhumme, kun puhumme ajasta tai sen määritelmästä ilmaston-

1 *Tieteessä tapahtuu* -lehdessä (6/2007) oli artikkeli, joka käsiteli ilmastonmuutoksen merkityksen muuttumista 1700-luvun ja nykypäivän välillä (Holopainen ja Helama 2007). Tuolloin, hyödyn aikakautena, ilmastonmuutos kohti lämpimämpää ilmalaa oli Ruotsi-Suomen kuningaskunnan suuri ja kunnianhimoinen tavoite. Samoihin aikoihin käynnistyi myös meteorologinen havaintojenteko Turun Akatemiassa. Ensiaskeleet otettiin vuoden 1730 seutuvilla, ja systemaattisempi havaintojenteko käynnistyi lääketieteen professori Johan Lechen toimesta syksyllä 1748.

2 Climate change in IPCC usage refers to any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result of human activity.[1]

3 Climate change refers to a statistically significant variation in either the mean state of the *climate* or in its variability, persisting for an extended period (typically decades or longer). Climate change may be due to natural internal processes or *external forcings*, or to persistent anthropogenic changes in the composition of the *atmosphere* or in *land use*.[2]

4 Climate change in the United Nations Framework Convention on Climate Change usage refers to a change of climate that is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and that is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods. [1, 2]

muutoksessa? Ajan määritelmäksi voidaan sopia vaikkapa maapallon kierto akselinsa tai aurin-
gon ympäri tai cesium 133 -isotoopin säteilemän
valon jakson aika säteilyssä, joka syntyy hyper-
hienotasojen $F=4$ ja $F=3$ välisessä siirtymässä
(Oja 2010). Näin tehden ei kuitenkaan ole välttä-
mättä kyse ajan määrittelystä, vaan ajan kiinnit-
tämisestä mitattavan prosessin sykliin, jota sitten
käytetään ajan mittayksikön perustana.

Viitteitä ajan määritelmiin

”Mitä Jumala teki ennen kuin loi ajan? Hän valmisteli hel-
vettä tällaisille kiusallisille kysyjille.”

Aika, maailmankaikkeuden ikä sekä ajallisen
muutoksen luonne ovat filosofisista kysymyk-
sistä vanhimpia ja eniten pohdituimpia. Onko
maailma ikuinen, vai onko sillä alku ja loppu?
Lukijoista monet varmaan tuntevatkin kirk-
koisä Augustinuksen ylläsiteeratun vastauksen
tähän kysymykseen (mm. Niiniluoto 2000a, 11).
Augustinuksen tunnustus ajan olemuksen mää-
rittelyn vaikeudesta on myöhemmin toiminut
mainiona esimerkkinä filosofisten ongelmien
luonteesta suhteessa arkiymmärrykseen, kuten
myös myöhempien aikapohdintojen ohittamat-
tomana lähtökohtana.

Ajasta puhuminen on luontevaa, mutta sen
käsitteellistäminen on vaikeampi tehtävä. Aika
on monimerkityksinen, ja vasta sanan käyt-
töyhteys määrittelee sen, mitä sillä tarkoitetaan.
Esimerkiksi Kielitoimiston sanakirjan (2007)
mukaan ajalla voidaan tarkoittaa mm. ulottu-
vuutta, johon tapahtumat sijoittuvat peräkkäi-
seen järjestykseen jatkumoksi ja joka ilmenee
nykyhetkenä, menneisyytenä ja tulevaisuutena.
Edelleen ajalla voidaan tarkoittaa vaihtelevan
pituista ajankohtaa, määrähetkeä, kellonaikaa,
aikaansaamista, paheksumista, hämmästyistä
jne. Aika myös kuluu ja joskus se voi olla rahaa-
kin. Ajan sanotaan myös parantavan haavat.

Ei siten ihme, että aikakäsitykset ovat olennai-
sia kysymyksiä historianfilosofiassa, jossa on poh-
dittu ajallisen muutoksen luonnetta – menneisyy-
den, nykyhetken ja tulevaisuuden suhteita – ehkä
pidempään kuin mitään muuta. Yksi tunnetuim-
mista ajan ja paikan pohdiskeluista sisältyy Aris-

toteleen *Fysiikka*-teoksen IV lukuun. Aristoteleen
mukaan aika ei ole sama asia kuin muutos, mutta
silti aikaa ei ole olemassa ilman muutosta. Kos-
ka virtaava nyt-hetki jakaa muutokseen liittyvät
tapahtumat ennen ja jälkeen esiintyviin, Aristo-
teles päättyy määritelmään, jonka mukaan ”aika
on liikkeen luku aikaisemman ja myöhemmän
mukaan” (Niiniluoto 2000a). On myös esitetty
käsityksiä, ettei aikaa olisi olemassa. Ehkä tunne-
tuimman ajan olemassaolon kieltävän argumen-
tin on esittänyt J. Ellis McTaggart (1908) jo yli sata
vuotta sitten, missä hän pyrki osoittamaan, ettei
aikaa ole olemassa ja että tavanomaiset puhuvat
ajasta ovat ristiriitaisia.

Mielenkiintoista on sekkin, että keskusteluis-
sa ajan olemassaolosta on havaittavissa samo-
ja piirteitä kuin mitä on ollut viime vuosina
ilmastonmuutoksesta käytävässä keskustelussa:
yhdessä ääripäässä ovat ilmastonmuutos-ilmio-
n olemassaolon kyseenalaistavat näkemykset
ja toisessa näkemykset, jonka mukaan kaikki
tapahtuminen ilmastossa tai ympärillämme on
ilmastonmuutosta tai ainakin yhteydessä siihen.
Tarkoituksemme on valaista myöhemmin näitä
näkemyksiä, mutta sitä ennen esittelemme lyhy-
esti fysiikan aikafilosofiaa. Seuraavaksi luomme
lyhyen katsauksen ilmastonmuutostutkimuk-
seen sen ajallisen suuntautuneisuuden, mennei-
syyss – nykyisyyss – tulevaisuus, perusteella, jon-
ka kautta etenemme ilmastonmuutoksen ajan ja
muutoksen käsitteellistämiseen sekä siihen liit-
tyviin pohdintoihin.

Aika-akselin ominaisuuksia

Fysiikassa aikakäsitys ja sen kehitys ovat liitty-
neet kiinteästi todellisuuskäsityksen muutoksiin.
Vaikka nykyinen suhteellisuusteoriaan pohjaava
kosmologia tukee käsitystä maailman historian
ja ajan äärellisyydestä, näin ei ole ollut aina (vrt.
Hawking 1988). Isaac Newtonin kirjoitti ajasta
Principia-teoksessaan (Lehti 2006, 20):

”Absoluuttinen, oikea ja matemaattinen aika sellaisenaan ja
oman luontonsa mukaisesti virtaa tasaisesti vailla relaatiota
mihinkään ulkoiseen, ja toisella nimellä sitä kutsutaan kestok-
si. Relatiivinen, havaittu ja tavanomainen aika on jokin aistitta-
vissa oleva ja ulkoinen (joko täsmällinen tai epäsäännöllinen)
keston mitta liikkeen avulla, ja sitä käytetään yleisesti todellisen
ajan sijasta, kuten tuntia, päivää, kuukautta ja vuotta.”

Newtonin muotoilema käsitys matemaattisesta, oikeasta ja absoluuttisesta ajasta säilyi tieteessä aina 1900-luvun alkupuolelle asti, jolloin sen rinnalle nousi Albert Einsteinin kehittämä suhteellisuusteoria. Aika ja matka eivät ole absoluuttisia, vaan ne riippuvat liiketilasta. Aika ei ollut enää itsenäinen ja riippumaton avaruudesta, vaan aika ja avaruus kietoutuvat toisiinsa muodostan ns. aika-avaruuden (Hawking 1988). Teorian ilmiöt tulevat näkyviin, kun nopeus on lähellä valon nopeutta. Suhteellisuusteorian mukaisessa aika-avaruudessa mikä tahansa tapahtuma missä tahansa avaruuden pisteessä minä tahansa hetkenä voidaan määrittellä neljän luvun eli koordinaatin perusteella. Koordinaatteina voidaan käyttää mitä tahansa kolmea paikkakoordinaattia (x, y, z) ja mitä tahansa ajan mittaa. Kuulostaako helpolta? Ainakin tämän käsityksen voi helposti saada Stephen Hawkingin (1988) mainiosta teoksesta *Ajan lyhyt historia*.

Suhteellisuusteorian aika-akseli ei kuitenkaan ole ominaisuuksiltaan samanlainen kuin muut geometriset akselit (Mäntylä 2000): ensinäkkin aika-akselilla voidaan fysikaalisessa maailmassa siirtyä vain eteenpäin. Sen sijaan muilla geometrisilla akseleilla on mahdollista liikkua vapaasti ylös–alas, vasemmalle–oikealle, eteen–taakse. Geometrinen akselien dimensiot eivät muilla akseleilla vaikuta toisiinsa. Myöskään nopeus aika-akselilla ei ole vapaasti muunneltavissa. Muilla akseleilla nopeutta taas voidaan vapaasti vaihdella, tai vaikka pysähtyä. Nopeus on tarkasteltavan dimension suunnassa tapahtuva paikan muutosta aikayksikössä (m/s, km/h). Vastaavasti ajan kulun nopeutta säätelee suhteellisuusteoriassa kappaleen fysikaalinen nopeus geometrisissa dimensioissa ja gravitaatio. Aika-akseli ei ole samanlainen itsenäinen ja tasavertainen dimension akseli kuin geometriset akselit ovat toistensa suhteen.

f (x)

Ilmastonmuutos visualisoidaan tavallisesti siten, että graafisissa esityksissä tarkastelun kohteeksi valittu ilmastomuuttuja on pystyakselilla (esimerkiksi keskilämpötila) ja aika vaakakselilla. Tällöin muutos ilmastossa tapahtuu ajan myötä,

f (x), eli ajan funktiona. Aika on sama, tutkittiinpa sitten menneitä tai tulevia ilmaston vaihteluita. Menetelmät ja aineistot vain vaihtelevat.

Ilmastolla tarkoitetaan sään tilastoa, toisin sanoen sään yleistä luonnetta tietyssä paikassa tietyllä aikavälillä. Ilmastoa kuvataan tavallisimmin eri säämuuttujien (mm. ilman lämpötila, pilvisuus, sademäärä, ilmanpaine sekä tuulen suunta ja nopeus) kuukauden ja vuoden keskimääräisillä arvoilla sekä ns. normaaliarvoilla. Useimpien säämuuttujien arvot ovat mitattavissa erilaisilla mittareilla. Toiset taas arvioidaan (pilvisuus ja sumu) ja toiset (mm. kastepiste) määrytyvät muiden suureiden avulla. Esimerkiksi ilman lämpötila mitataan nykyään noin kahden metrin korkeudelta kolmen tunnin välein (kello 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 ja 23). Vuorokauden keskilämpötila saadaan kahdeksan havaintoarvon aritmeettisena keskiarvona, josta taas kuukauden keskilämpötila lasketaan kyseisten vuorokausikeskilämpötilojen keskiarvona. Tyypillinen ilmastollinen vertailukauden pituus on 30 vuotta, ja ajassa taaksepäin tällaisia jaksoja voidaan muodostaa tavallisesti 4–5, parhaimmillaan 11 (1961–1990, 1931–1960...). Esimerkiksi Tukholmassa säännölliset, tähän päivään asti ulottuvat mittaukset käynnistyivät vuonna 1756 ja Helsingissä vuonna 1828. Vanhin, yhtämittainen lämpötilahavaintosarja lieinee Keski-Englannissa vuodesta 1659 alkava sarja (Manley 1974).

Kun haluamme tietää ilmasto-oloista ajalta ennen nykyisenlaisia ilmastomittauksia, on meidän mahdollista ottaa käyttöön tutkimusaineistot, joille on englannin kielessä vakiintunut nimitys *proxy data*. Suomeksi niistä voidaan käyttää nimitystä ilmastojalkei. Ilmastojalkeiä löytyy hyvin monenlaisista lähteistä, jotka voidaan luokitella esimerkiksi fysikaalis-biologisiin ja historiallisiin lähteisiin. Edellisiä edustavat mm. jääkairaus- ja puiden vuosilustosarjat sekä jälkimmäisiä mm. muistiinpanot satotuloksista ja viljojen kylvö- ja korjuuajankohdista (Bradley 1999). Ilmastojalkei-aikasarja voidaan matemaattisesti muuntaa esim. lämpötila- tai sademäärä-rekonstruktioksi yksinkertaisimmillaan esimerkiksi lineaarisen regression avulla (Helama 2004;

Holopainen 2006). Tämä tapahtuu käyttäen varsinaisia meteorologisia lämpötila- tai sademäärätietoja yhdessä ilmastojalkei-kronologioiden kanssa. Tällöin johdetaan ns. siirtofunktio, jonka avulla voidaan kuhunkin vuotuiseen ilmasto-ajanjäljen arvoon perustuen laskea sitä vastaava ennallistettu muuttujaa kuvaava lukema. Näin aikaansaatu aikasarja, rekonstruktio, yltää parhaimmillaan ajassa taaksepäin yhtä pitkälle kuin olemassa oleva ilmastojalkei-kronologia.

Tulevaisuuden ilmasto-olojen tarkastelun tärkeimmät apuvälineet ovat ns. ilmastomallit (esim. Räisänen 2007). Ilmastomallien avulla on mahdollista numeerisesti laskea ennuste, millaiseksi tarkastelun kohteeksi valittujen ilmastomuuttujien tilat ja arvot voivat tulevaisuudessa todennäköisesti muuttua pakotetekijöissä tapahtuneiden muutoksien myötä. Nykyisissä ilmastomalleissa on omat erilliset alimallinsa ilmakehälle, maaperälle ja valtamerille, joissa ilmastojärjestelmä esitetään termo- ja hydrodynamisten yhtälöitten avulla, ja nämä yhtälöt kirjoitetaan edelleen tietokoneohjelman muotoon [3]. Malleissa yhtälöille käytetään ns. numeerista ratkaisutekniikkaa, jossa liikenopeuden, lämpötilan, paineen ym. kolmiulotteiset jakaumat esitetään säännöllisessä hilapisteikössä. Kussakin hilapisteessä voidaan laskea mallin yhtälöitten avulla kullekin suureelle muutosnopeus ajan suhteen. Lisäämällä lasketut muutokset alkutilaan voidaan laatia lyhyt, esim. 20 minuutin mittainen ”ennustus”. Tälle uudelle ennustetulle tilalle voidaan jälleen laskea muutosnopeudet, jolloin saadaan uusi ennuste jälleen yksi aika-askel eteenpäin. Laskemista toistetaan aika-askel kerrallaan ja järjestelmän kehitystä voidaan simuloida tunnista, päivästä ja vuodesta toiseen, useimmiten vuoteen 2100 asti.

Ehdotus ajan käsitteellistämiseksi

Edellisessä luvussa on pyritty kuvaamaan tiivistetyksi se, miten aika liittyy ilmastonmuutoksen

luonnontieteelliseen kontekstiin. Tieteenfilosofissa kuitenkin korostetaan, ettei puhtaasti empiirisiä havaintoja ja käsitteitä ole olemassa; kaikki havainnot ovat teoriapitoisia (esim. Sellars 1956; Hanson 1958; Kuhn 1962; Ketokivi 2010). Näin on myös ajan kohdalla. Ajan olemukseen kuuluu poiketen monista muista käsitteistä sen moniselitteisyys ja kietoutuminen esimerkiksi muutoksen ja tapahtumisen käsitteisiin. Siitä antoi viitteitä jo edellä ilmastonmuutoksen lyhyempi määritelmä, jossa ilmastonmuutoksella viitattiin mihin tahansa ilmaston muuttumiseen ajan myötä joko luonnollisten vaihteluiden tai ihmisen toiminnan seurauksena.

On siis tarpeen esitellä jokin menetelmä, jolla käsitteitä käsitellään. Yksi paljon käytetty tapa on jakaa ne teoreettisiin ja empiirisiin käsitteisiin (kuvio 1).

Yhteydet teoreettisten ja empiiristen käsitteiden ja mittaustulosten välillä määritetään korrespondenssisäännöllä (Niiniluoto 1980, 221; Ketokivi 2009, 43). Tyypin k2 korrespondenssisäännöt ovat tutkimuksessa suhteellisen ongelmattomia. Empiirinen käsite on melko vaivattomasti ja yksiselitteisesti empiirisesti todennettavissa. Mittaustulos esimerkiksi ilman lämpötilasta tietynä hetkenä tietyssä paikassa on suhteellisen ongelmattonta (tässä yhteydessä ei puututa mittausten ns. metadataan, joita ovat mm. havaintopaikan lähiympäristön muutokset, havaintopaikan vaihtuminen ja kaupunkien lämpösaarekeilmiö). Tyypin k1 korrespondenssisäännöt voivat osoittautua jo paljon hankalammiksi, koska ne yhdistävät teoreettiset käsitteet empiirisiin käsitteisiin ja sitä kautta aineistoihin. Tämä voi olla osasyynä siihen, miksi tutkijat välttelevät monesti näiden kysymysten käsittelyä (vrt. Ketokivi 2009). Yhteys teorian ja aineiston välillä on kuitenkin empiirisen tutkimuksen yksi kriittisempiä kohtia. Tällä ilmiöllä voi olla tutkimuksen lisäksi merkitystä esimerkiksi ilmastopolitiin-



Kuvio 1. Teoreettinen käsite, empiirinen käsite ja mittaustulos (Ketokivi 2009, 44)

kan kentillä, kun tutkimustuloksia sovelletaan käytäntöön. Jos ilmastonmuutostutkijoiden ja -asiantuntijoiden aikakäsitys on tietynlainen, voidaan perustellusti kysyä, ovatko neuvotte- lujen osapuolet tietoisia toistensa aikakäsityk- sistä?

Ketokiven esittämä kaavio johti pohtimaan sellaista ratkaisua ajan määrittelyssä, jossa teh- dään ero 1) aikaan teoreettisena käsitteenä, 2) aikaan empiirisenä käsitteenä ja 3) mittaustu- lokseen tietynä aikana. Vaikka kaikissa esiintyy sama sana aika, kyse on kuitenkin eri merkitys- sisällön omaavista ajan käsitteistä. Ilmastomuut- tujien mittaustuloksiin tietynä ajankohtana viitattiinkin jo edellä, mutta mistä silloin puhu- taan, kun puhutaan empiirisestä ajasta tai teo- reettisesta ajasta?

Empiirisessä ajassa operointi

Jotta ilmastonmuutoksen käsittäminen olisi ajan suhteen ylipäätään mahdollista, tarvitaan sopimus ajan mitasta, jonka kautta prosessien hahmottaminen tapahtuu. Määritelmällisesti empiirinen aika voitaneen kuvata sopimuksen- varaiseksi ajan mittakaavaksi⁵. Tällöin muutos ilmastossa, esimerkiksi lämpötilassa, tapahtuu ajan myötä. Sillä on kuitenkin merkityksensä, miten kauas menneisyyteen havaintosarjat ulot- tuvat ja millaisia päätelmiä niiden perusteella voi- daan tehdä? Esimerkiksi maapallon keskilämpö- tilojen kehitystä kuvaavat diagrammit esitetään usein vuodesta 1850 lähtien (esim. IPCC 2007; [5]), mutta joskus vasta vuodesta 1949 lähtien [6]. Lämpötilamittausten saatavuus ja kattavuus voi olla yksi kriteeri määriteltäessä diagrammin x-akselin pituuksia, mutta sitäkin tärkeämpiä ovat kysymykset, mitä aikasarjan pidentäminen kauemmas menneisyyteen tuo tullessaan. Esi- merkiksi trendin, joka osoittaa pitkän aikavälin

5 Aikaskaalan käsite esitetään IPCC:n vuoden 2001 raportissa. Uudemmassa raportissa määritelmää ei enää esiinny. "Characteristic time for a process to be expressed. Since many processes exhibit most of their effects early, and then have a long period during which they gradually approach full expression, for the purpose of this report the time scale is numerically defined as the time required for a perturbation in a process to show at least half of its final effect." [4]

kehityssuunnan, suunta voi muuttua aikasarjan pituuden muuttuessa. Samalla tavoin voi käy- dä aikasarjoissa mahdollisesti esiintyvän pitkän aikavälin suhdannevaihtelun luonteelle. Aikasar- jan pituudella on siis merkitystä.

Trendin lisäksi autokorrelaatiokerroin on yksi tärkeimmistä matemaattisista työkaluis- ta ilmastoaikasarjojen tutkimuksessa. Auto- korrelaatiokerroin kuvaa aikasarjassa viiveellä k esiintyvää termien samankaltaisuuden asteta. Tällöin tutkitaan, miten samanlaisia läheiset arvot ovat, eli kuinka peräkkäiset tai tietyllä vii- veellä olevat termit korreloivat keskenään. Mitä pidempi aikasarja on, sen luotettavimmin viivei- tä pystytään arvioimaan ja päinvastoin (Box & Jenkins 1970).

Ilmastonmuutoksen tulokinnassa havainto- sarjoissa ilmenevän vaihtelun ohella tutkijaa kiinnostaa tutkittavan muuttujan varianssin ymmärtäminen ja selittäminen muiden muut- tujien avulla. Mistä havaitut muutokset ajan suhteen johtuvat ja millainen on muutosta selit- tävien muuttujien tilastollinen yhteys ajan suh- teen: yhteys voi muuttua ennen ajan suhteen vakaasta yhteydestä epävakaaaksi, tai päinvas- toin. Tilastollinen yhteys voi toki pysyä ennallaan aikasarjan pidentyessä tai yhteyttä seli- tettävän ja selittävän muuttujan välillä ei ajan suhteen ole.

Millaista on sitten tilastollisesti merkitsevä ilmastonmuutoksen kohdalla, toisin sanoen missä sen raja menee? Tähän kysymykseen ei ole yksiselitteistä vastausta tarjolla, mut- ta aihetta on mahdollista lähestyä tilastolli- sen voiman (*statistical power*) kautta (Mann & Lees 1996; Ketokivi 2009). Ketokivi (2009, 224) määrittelee sen todennäköisyydeksi, jolla tilastollinen nollahypoteesi hylätään tilantees- sa, jossa se ei pidä paikkansa. Ilmastonmuu- toksen kohdalla tilastollisen voiman käsittely ja erittely ovat siten yksi tutkimuksen tärkeim- mistä vaiheista: se osoittaa, mitkä hypoteesit ja teoreettiset propositiot saavat empiiristä tukea ja mitkä eivät.

Ilmastonmuutoksen kohdalla on myös tavanomaista yleisöltä saatu palaute, joka voi lähtökohtaisesti kieltää ilmiön olemassa-

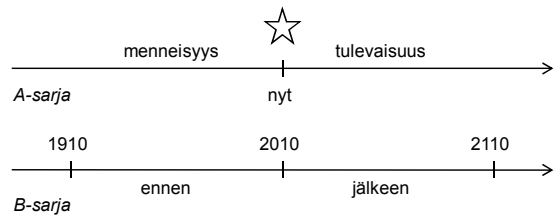
olon (Diethelm & McKee 2009). Osa asian-
tuntijoista voi pitää kysymyksiä siinä määrin
vihamielisinä, että he eivät he halua osallis-
tua tällaiseen keskusteluun. Osa taas leimaa
ilmastonmuutoksen olemassaolon kieltä-
vät argumenttien esittäjät ilmastokeptikoik-
si (Holopainen 2010). On tutkijan tai hänen
taustayhteisönsä vallassa, haluavatko he vas-
tata ilmastonmuutoksen ontologiaa koskeviin
peruskysymyksiin, mutta mikäli kysymyksiin
ei esitetä tieteellisiä vastauksia, joku tekee sen
joka tapauksessa.

Teoreettisen ajan erilaiset sarjat

Ilmastonmuutoksen kohdalla aika on niin itses-
tään selvä tutkimusta ohjaava tekijä, ettei ensim-
mäiseksi tule mieleen esittää kysymystä, entä jos
aikaa ei olisi olemassa tai pikemminkin, miten
aika on olemassa muuten kuin sopimuksenva-
raisesti. Ajan filosofisissa pohdinnoissa kysymys
ajan olemassaolon luonteesta on kuitenkin yksi
keskeisimmistä, ja siten sitä kannattaa pohtia
myös ilmastonmuutoksen kohdalla.

Tunnetuimpana ajan olemassaolon kieltä-
vän argumentin esittäjänä pidettäneen edel-
leen J. Ellis McTaggartia, joka erotti toisistaan
A-sarjan, jossa tapahtumat jaetaan menneisyy-
teen ja tulevaisuuteen, jotka erottaa toisistaan
nyt-hetki, ja B-sarjaan, jossa tapahtumat sijoit-
etaan yksikäsitteiseen järjestykseen ennen- ja
jälkeen-relaatioiden mukaan (kuvio 2). A-sar-
jan mukaan kaikki oleva on ensiksi tulevaa,
sitten nykyistä ja lopulta mennyttä. B-sarjan
peruskäsitteitä ovat aikaisempi ja myöhempi,
jonka perusteella tapahtumat voidaan asettaa
keskinäiseen suhteeseen sen perusteella, ovat-
ko ne toisiinsa nähden aikaisempia tai myöhäi-
sempiä. Sikäli kuin niiden eroa verrataan kes-
toa mittaavan järjestelmän asteikkoon, voidaan
myös ilmaista niiden tapahtuma-ajankohdat ja
niiden välinen kesto. McTaggart pyrki osoitta-
maan, ettei aikaa ole olemassa, koska mennyt,
nykyinen ja tuleva ovat toisensa poissulkevia
ominaisuuksia (ks. myös Lammenranta 2000,
216–217). Lisäksi McTaggart (1908, 462) mää-
ritteli myös C-sarjan, joka ei ole temporaalinen,
vaan jossa tapahtumilla on tietty järjestys. Esi-

merkiksi A:sta seuraa B ja B:stä C, mutta A:sta
ei voi seurata C.⁶



Kuvio 2. A- ja B-sarjat (Niiniluoto 2000b, 247)

Filosofisen aikakeskustelun suosimia aiheita
ovat olleet kysymykset, ovatko A-sarjan mukai-
set ilmaukset palautettavissa B-sarjan mukai-
siksi ilmauksiksi ja onko A-sarjan olettamilla
menneisyydellä, nykyisyydellä ja tulevaisuudella
jokin positiivinen ontologinen status (Knuuttila
2000). Sen sijaan McTaggartin C-sarjan käsitte-
ly on jostain syystä jäänyt vähemmälle huomiol-
le: kuten edellä todettiin, kyse ei ole aikasarjasta,
vaan tapahtumasarjasta. Koska C-sarjan tapah-
tumasarjalla ei ole suuntaa, vaan ainoastaan
järjestys, sitä on vaikea jos lähdes mahdotonta
visualisoida kuvioon 2 A- ja B- sarjojen yhtey-
teen. Ehkä tärkeintä on kuitenkin huomata se,
että tapahtuminen ja niiden järjestys on suhtees-
sa A- ja B-sarjojen kanssa. Jotta nyt-hetki olisi
tietynlainen, tapahtumien (esim. A, B, C, D, E)
on täytyntä tapahtua tiettyssä järjestyksessä. Ne
eivät ole voineet tapahtua toisessa järjestyksessä
(esimerkiksi A, C, B, D, E), koska silloin nyt-het-
ki olisi toisenlainen, ei nykyisenlainen.

Käsityksemme mukaan juuri C-sarja voi tuo-
da ilmastonmuutoksen aika-pohdintaan mien-
lenkiintoisen lisän. Tapahtumien järjestys ja
niiden pysyvyys vaikuttaa niin tähänhetkiseen
ilmaston tilaan kuin sen tuleviin muutoksiin.

6 Geologiassa käytössä olevaan ns. suhteellisen ajan
käsite (Kähkönen & Lehtinen 1998) muistuttaa McTaggar-
tilaista B-sarjan aikakäsitystä. Se ilmaisee menneiden tapahtumien keskinäisen järjestyksen. Usein merkkipaaluina ovat tiettyjen geologisten muodostumien syntyminen tai jokin merkittävä evoluutiota edistänyt tapahtuma. Sen rinnalla geologiassa esiintyy ns. absoluuttinen aika, joka sijoittaa suhteellisen ajan tapahtumat oikeille tapahtuma-
hetkilleen erilaisten ajoitusmenetelmien avulla (esim. ikä miljoonina vuosina).

Mielestämme C-sarja voitaneen rinnastaa geologiassa tunnettuun ns. syvän ajan käsitteeseen (esim. Gould 1987). 1830-luvulla Charles Lyell esitti, että syvä aika koostui tapahtumaketjuista, joissa vaiheet seurasivat toisiaan systemaattisesti, tietyssä järjestyksessä. Kuitenkin syvän ajan, kuten ajan määrittely yleensäkin, on osoittautunut haasteelliseksi tehtäväksi. Tavallisesti se esitetään erilaisten metaforien avulla (vrt. Fortelius 2002). Käytämme tässä yhteydessä vertauskuvana puun vuosilustoja (ks. myös Therón 2006): vuosittaisen kasvun myötä ensimmäinen vuosilusto jää vuosi vuodelta entistä kauemmas tai syvemmälle puun sisään verrattuna uusimpaan lustoon. Yhdessä lustot muodostavat puunrungon, jonka rakenteessa tapahtumat ovat olemassa ja tietyssä järjestyksessä. Edelleen rakenteessa oleva järjestys luo pohjaa puun kasvulle ja kehitykselle kasvukauden aikana niin nyt-hetkessä kuin tulevaisuudessakin.

Monet ilmastomuutoksen olemassaoloon liittyvistä kiivaistakin keskusteluista voivat saada uudenlaisen näkökulman edellä sanotusta. A-sarjan mukaan ilmastomuutos on ensiksi tulevaa, sitten nykyistä ja lopulta mennyt. Vastaavasti B-sarjan mukaisesti muutosta ei ole olemassa ennen kuin on siirrytty uuteen tapahtumaan. Kysymykset prosessien kestosta sekä niiden alkamisesta ja loppumisesta ovat luonteenomaisia B-sarjalle. Ne voivat olla luonteeltaan yksittäisiä, toistuvia (syklot) ja/tai näiden viiveellisiä sekoituksia. Yhtenä esimerkkinä mainittakoon hiilen kierto (esim. Lunkka 2008), johon voi kuulua eripituisia syklejä (vuosista satoihin miljooniin vuosiin) ja jotka reagoivat eri viiveillä varastoiden tai vapauttaen hiiltä ilmastojärjestelmään (geokemiallinen kierto, sedimentaatio, termohaliinikierto, biomassan hajoaminen humukseksi). C-sarjan ilmaisemien tapahtumien järjestys ja pysyvyys tuovat oman merkityksensä tämänhetkiseen ilmastojärjestelmään. Nykyinen ilmastojärjestelmän tila ei olisi voinut muodostua tietynlaiseksi, mikäli tapahtumat olisivat tapahtuneet jossakin toisessa järjestyksessä.

Mikä on ihmisen rooli tässä kaikessa? Hänet on kuvattu tähdellä kuviossa 2. Liikkeelle laittamistaan tapahtumista ja niiden järjestyksistä riippuen hänen merkityksensä ja vaikutuksensa voi olla suurempi tai pienempi, mutta ennen kaikkea ihminen on suhteessa tapahtumiseen. Tätä näkökulmaa voi parhaiten valottaa tilaation käsite: tilaatiolla tarkoitetaan kaikkea sitä, mihin ihminen on kehonsa ja tajuntansa välityksellä suhteessa (vrt. Rauhala 1989; Holopainen & Helama 2009). Tässä kontekstissa tilaatio voidaan nähdä teoreettisen ajan synonyyminä ja yhtenä sen tärkeimmistä ominaisuuksista. Ennen kaikkea tilaation nyt-hetkessä tapahtuu suuntautuminen: niin fyysikaalisen todellisuuden tapahtumien kuin inhimillisen tietoisuuden osalta.

Lopuksi

Tässä kirjoituksessa on ajateltu yli useiden tieteen alojen ja aikakäsityksien suverenilla tavalla. Ilmiö voi kuvastaa laajemminkin ilmastomuutoksen luonnetta ajassa. Muutos vie mukanaan, eikä meillä ole mahdollisuutta ottaa etäisyyttä tapahtumiseen. Muuttumatonta on enää aika, jos sekään. Siten ilmastomuutos ei ole yksinkertainen tiettyyn tila- ja aikakäsitykseen sijoittuva ilmiö (vrt. Tennberg 2004, 7), vaan pikemminkin kyse on moninaisesta aika- ja tapahtumasuhteista koostuvasta prosessista. Tässä kirjoituksessa olemme erotelleet aiheen jäsentämiseksi aikasuhteet kolmeen ryhmään: aika teoreettisena ja empiirisenä käsitteenä sekä mittautusulos tietynä aikana. Vaikka kaikissa lähtökohdissa esiintyy sama sana aika, kyse on kuitenkin eri merkityksen omaavista ajan käsitteistä. Mittautulokset ilmastomuuttujista tiettyyn aikaan kertovat muuttujien sen hetkisen arvon. Empiirinen aika on taas sopimuksenvarainen ajan mittakaava, jonka kautta jäsenetään ilmastossa havaittavaa muutosta: $f(x)$. Vastaavasti teoreettisessa ajassa suhteessaolon eli tilaation käsite nivoo yhteen erilaiset tapahtumisen muodot, jonka myötä tapahtuminen suuntautuu eteenpäin.

Viitteet

- [1] http://www.fmi.fi/kuvat/ipcc_ar4_spm_suomennos.pdf [Luettu 19.6.2010].
- [2] <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-annexes.pdf> [19.6.2010].
- [3] http://www.fmi.fi/ilmastonmuutos/miksi_13.html [Luettu 19.6.2010].
- [4] <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-en.pdf> [Luettu 19.6.2010].
- [5] <http://www.cru.uea.ac.uk/> [Luettu 19.6.2010].
- [6] <http://www.climate.gov/#climateWatch> [Luettu 19.6.2010].

Lähteet

- Bradley, Raymond S. (1999): *Paleoclimatology: Reconstructing climates of the Quaternary*. Academic Press, San Diego.
- Box, George E. P. & Jenkins, Gwilym M. (1970): *Time-series analysis: forecasting and control*. Holden-Day, San Francisco.
- Fortelius, Mikael (2002): Kivettynyt aika. *Duodecim* 118(23):2403–2408.
- Diethelm, Pascal & McKee, Martin (2009): Denialism: what is it and how should scientists respond? *The European Journal of Public Health* 2009 19(1):2–4.
- Gould, Stephen J. (1987): *Time's Arrow, Time's Cycle*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Hawking, Stephen W. (1988): *Ajan lyhyt historia. Alkuräjähdyksestä mustiin aukkoihin*. Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo.
- Hanson, Norwood Russell (1958): The logic of discovery. *Journal of Philosophy* 55:25, 1073–1089.
- Helama, Samuli (2004): *Millennia-long tree-ring chronologies as records of climate variability in Finland*. [Diss.]. Helsingin yliopisto, Helsinki.
- Holopainen, Jari (2006): *Reconstructions of past climates from documentary and natural sources in Finland since the 18th century*. [Diss.]. Helsingin yliopisto, Helsinki.
- Holopainen, Jari 2010: Konflikti ilmastonmuutoksesta. *Geologi* 62, 122–123.
- Holopainen, Jari & Helama, Samuli (2007): Haluttu, pelätty ilmastonmuutos. *Tieteessä tapahtuu* 6, 3–9.
- Holopainen, Jari & Helama, Samuli (2009): Ilmaston eletty muutos. *Ajatus* 66, 197–214.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <http://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/wg1-ar4.html> [Luettu 19.6.2010]
- Ketokivi, Mikko (2009): *Tilastollinen päättely ja tieteellinen argumentointi*. Hakapaino, Helsinki.
- Kielitoimiston sanakirja (2007): Osat 1–3. Kotimaisten kielten tutkimuskeskuksen julkaisuja 140. Kotimaisten kielten tutkimuskeskus, Helsinki.
- Kuhn, Thomas S. (1962): *The structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Knuuttila, Simo (2000): Aika ja ajattomuus. Teoksessa Pihlström Sami, Siitonen Arto ja Vilkkö Risto (toim.)

- Aika*. Yliopistopaino, Helsinki, 15–28.
- Kähkönen, Yrjö & Lehtinen, Martti (1998): Geologian peruskäsitteitä. Teoksessa Lehtinen, Martti, Nurmi, Pekka ja Rämö, Tapani (toim.). *Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa*. Suomen Geologinen Seura ry, Helsinki, 27–91.
- Lammenranta, Markus (2000): Aika ja terve järki. Teoksessa Pihlström Sami, Siitonen Arto ja Vilkkö Risto (toim.) *Aika*. Yliopistopaino, Helsinki, 215–226.
- Lehti, Raimo (2006): Einsteinin aika-käsitteen kehitys: mesokosmisesta mikrokosmiseen ja megakosmiseen. *Tieteessä tapahtuu* 1, 20–29.
- Lunkka, Juha-Pekka (2008): *Maapallon ilmastohistoria. Kasvihuoneista jääkausiin*. Gaudeamus, Helsinki.
- Manley, Gordon (1974): Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 100, 389–405.
- Mann, Michael E. & Lees, Jonathan, M. (1996): Robust estimation of background noise and signal detection in climatic time series. *Climatic Change* 33, 409–445.
- McTaggart, John Ellis (1908): The unreality of time. *Mind* 17, 457–474.
- Mäntylä, Heikki (2000): Eipä aikaakaan... <http://www.protsv.fi/lfs/verkko/Aika.htm> [Luettu 19.6.2010].
- Niiniluoto, Ilkka (1980): *Johdatus tieteenfilosofiaan: käsitteen- ja teorianmuodostus*. Otava, Keuruu.
- Niiniluoto, Ilkka (2000a): Aluksi. Teoksessa Pihlström Sami, Siitonen Arto ja Vilkkö Risto (toim.) *Aika*. Yliopistopaino, Helsinki, 9–14.
- Niiniluoto, Ilkka (2000b): Onko menneisyys todellista? Teoksessa Pihlström Sami, Siitonen Arto ja Vilkkö Risto (toim.) *Aika*. Yliopistopaino, Helsinki, 246–261.
- Oja, Heikki (2010): *Aikakirja 2010*. <http://almanakka.helsinki.fi/aikakirja/Aikakirja0.1-9.pdf> [Luettu 19.6.2010].
- Rauhala, Lauri (1989): *Ihmisen ykseys ja moninaisuus*. SHKS, Helsinki.
- Räsänen, Jouni (2007): How reliable are climate models? *Tellus* 59A, 2–29.
- Sellars, Wilfrid (1956): Empiricism and the philosophy of mind. Teoksessa Herbert Feigl & M. Scriven (toim.) *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Volume 1. University of Minnesota Press, Minneapolis, 253–329.
- Tennberg, Monica (2004): *Arktisen aika. Ilmastonmuutoksen ja ajan politiikka arktisella alueella*. Arktisen keskuksen tiedotteita 42. Rovaniemen Painatuskeskus, Rovaniemi.
- Therón, Roberto (2006): Hierarchical-temporal data visualization using a tree-ring metaphor. Teoksessa A. Butz et al. (toim.) *Lecture Notes in Computer Science. Smart Graphics 2006*, vol. 4663. Springer-Verlag, Germany, 70–81.

Jari Holopainen on post doc -tutkija (Koneen säätiö) Geotieteiden ja maantieteen laitoksella Helsingin yliopistossa ja Samuli Helama tutkijatohtori (Suomen Akatemia) Arktisessa keskuksessa Lapin yliopistossa.