

Kasvihuoneista jääkausiin

■ JUHANI KAAKKURI

Juha-Pekka Lunkka: *Maapallon ilmastohistoria kasvihuoneista jääkausiin*. Gaudeamus 2008.

Sää, ilmasto ja ilmastomuutos, siinäpä median tavallisimmat puheenaiheet, etenkin ilmastomuutos, josta usein esitetään yksinkertaisettuja, jopa sensaationhakuksia mielipiteitä. Luullaan, että monet normaalitkin luonnonilmiöt ovat

seurausta ihmisen aiheuttamasta ilmastomuutoksesta.

Oulun yliopiston maaperägeologian professori Juha-Pekka Lunkka on äskettäin julkaissut maapallon ilmastohistoriaa käsittelevän teoksen. Se tuo geologin näkökulman kuumana vellovaan ilmastokeskusteluun. Erityisesti se keskittyy ilmastohistoriaan sadan miljoonan viimeksi kuluneen vuoden ajalta.

Lunkka jakaa ilmastolliset muutokset kolmeen ryhmään, nimittäin pitkän, keskipitkän ja lyhyen aikavälin muutoksiin. Pitkän aikavälin muutokset ovat muuttaman miljoonan tai jopa monen kymmenen miljoonan vuoden pituisia. Ne johtuvat pääasiassa mainerien hitaista liikkeistä ja asemasta maapallomme napoihin nähden. Keskipitkän aikavälin muutokset puolestaan toistuvat kymmenien tai jopa satojen tuhansien vuosien sykleissä. Niiden syiksi paljastuvat maapallomme kiertoradassa ja pyörähdysakselin kaltevuudessa tapahtuvat jaksolliset muutokset.

Muutamasta kymmenestä muutama tuuhanteen vuoteen kestävät muutokset Lunkka luokittelee lyhyen aikavälin muutoksiksi. Ne johtuvat monista eri syistä, joista kaikkia ei vielä tunneta hyvin tai ollenkaan. Tunnusomais- ta niille (kuten myös pitkän ja keskipitkän välin muutoksille) on, ettei ilmasto ole millään aikavälillä muuttumaton. Paikallinen ilmasto saattaa muuttua huomattavasti siitä huolimatta, että maapallon keskilämpötila ei muutu.

Varhaisin ajanjakso

Maapallomme on 4,6 miljardin vuoden ikäinen. Sen varhaimman kehitysvaiheen, hadesvaiheen, ilmastosta ei tiedetä suoran geolo-

gisen tiedon perusteella juuri mitään. Ainoa, mikä perustuu varmaan tietoon, on se, että maapallo on aikojen alussa ollut kauttaaltaan sula, kiitos ankaran asteroidipomituksen synnyttämän lämmön ja radiogeenisen lämmöntuoton. Ensimmäisen puolenmiljardin vuoden aikana sille kehittyi kerroksellinen rakenne ja alkeellinen kuori, joka kuitenkin vähitellen hävisi. Tämän käsityksen puolesta puhuvat vanhimmat kivet, jotka ovat 4,1 miljardin vuoden ikäisiä.

Arkeinen eoni

Hadesvaiheen jälkeistä ajanjaksoa kutsutaan arkeiseksi eoniksi. Sen katsotaan alkaneen noin 3,9 miljardia ja päättyneen 2,5 miljardia vuotta sitten. Selvimmät merkit tästä etäisestä ajasta ovat säilyneet kilpialueiden kallioperässä, joita on mm. Kanadassa ja Grönlannissa, Etelä-Afrikassa ja Australiassa, mutta myös kotoisessa Suomessa. Merenpinnan alainen tulivuoro toiminta lienee tuolloin ollut voimakasta. Entä sitten ilmastolliset olosuhteet? Tähtien energiatuotantoa käsittelevän teorian mukaan Auringon säteilyenergian määrä on arkeisella ajalla ollut vain 75 prosenttia nykyisestä. Maapallon keskilämpötilaksi saadaan tämän perusteella jonkin verran pakkasen puolella oleva luku. Jos näin on ollut, ovat mantereet olleet arkeisella ajalla jäätiköiden peitossa ja meret jäässä ainakin suurimman osan vuotta. Geologiset aineistot viittaavat korkeampiin lämpötiloihin kuin tähtien energiantuotantoa koskevat teoriat antavat ymmärtää. Arkeiset sedimenttikivet näet osoittavat, ettei maapallo ole ollut jatkuvasti jäässä. Ilmakehä lienee ollut

voittopuolisesti typpipitoinen. Ty-
pen lisäksi siinä on ollut runsaasti
kasvihuonekaasuja, etenkin hiili-
dioksidiä, metaania ja häkää. Nä-
mä ovat pitäneet yllä voimakasta
kasvihuoneilmiötä ja tämä ilmas-
ton lämpimänä.

Proterotsooinen eoni

Arkeista eonia seurasi proterot-
sooinen eoni, joka alkoi 2,5 miljard-
ia ja päättyi 540 miljoonaa vuot-
ta sitten. Litosfäärin tektonisten
laattojen liikunnot ja niihin liit-
tyvät mekanismit olivat eonin al-
kuun mennessä kehittyneet ny-
kyisen kaltaisiksi. Manneralueita
ympäri matalan meren vyöhyke,
mannerjalusta ja siitä syvän mer-
en alueelle johtava mannerrinne.
Matalien merien pinnassa ja osin
myös pohjassa sikisi elämää, joka
tuotti alkeellisia levä- ja syanobak-
terikantoja. Niiden happea tuotta-
va fotosynteesi aiheutti aluksi vain
vähäisiä muutoksia ilmakehän
koostumukseen. Suurin osa foto-
synteesissä vapautuneesta hapestä
sitoutui rautaan ja muihin metallei-
hin. Vasta kun rauta oli hapettunut,
happea alkoi jäädä ilmakehään.

Proterotsooisen ajan ilmastos-
ta on vaikea tehdä johtopäätök-
siä. On kuitenkin yleisesti otaksut-
tu, että ainakin eonin alussa ilmas-
to oli lämpimämpi kuin nykyisin,
kiitos kasvihuonekaasujen, joita il-
makehässä oli huomattavasti ny-
kyistä enemmän. Alun lämpimän
vaiheen jälkeen ilmasto kylmeni
nopeasti. Ensimmäisen jääkausi-
vaiheensa maapallo koki varhais-
proterotsooisella maailmankau-
della noin 2,4–2,2 miljardia vuot-
ta sitten.

Myöhäisproterotsooisella maa-
ilmankaudella noin 850–630 mil-
joonaa vuotta sitten jäätiköt kas-

voivat maailmanlaajuisiksi uudelle-
leen. Syyt olivat mahdollisesti sa-
mat kuin varhaisproterotsooisella
maailmankaudella eli ilmasto kyl-
meni kasvihuonekaasujen määrän
pienentyttyä hapen lisääntymisen
ja maanpinnan rapautumisen joh-
dosta. Pitkiä jäätiköitymisvaiheita
lienee ollut ainakin kaksi, nimittäin
Sturtian ja Marinoan kylmät vai-
heet. Kummankin loppuvaiheessa
maapallo lienee ollut jopa kauttaal-
taan jäämassojen tai ainakin soh-
jolumen peitossa. Kun tulivuoritoi-
minta likasi lumipinnat ja nostatti
ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta,
jäätiköt alkoivat sulaa.

Mantereet muodostivat prote-
rotsooisella ajalla noin 1 100 mil-
joonaa vuotta sitten Rodiniaksikut-
sutun supermantereen. Kun se ha-
josi, siitä jäi vastakkaiselle puolel-
le maapalloa ja osittain etelänavan
päälle joukko nykyisiä mantoita,
nimittäin Afrikka, Etelämanner,
Australia, Intia ja Etelä-Amerikka
sekä osia Kiinasta. Nämä muodostivat
jättiläiskokoisen mannerryp-
pään nimeltä Gondwana-manner.
Muut Rodinian osista, Laurentia eli
Pohjois-Amerikka ja Grönlanti, Si-
peria, Kazakstan ja Baltica eli Poh-
jois-Eurooppa, liukuivat päiväntä-
saajalle erillisiksi mantereiksi.

Fanerotsooinen eoni

Proterotsooista eonia seurasi fane-
rotsooinen eoni, joka alkoi 540
miljoonaa vuotta sitten. Phanero-
tsooisella eonilla tarkoitetaan sitä
aikaa maapallon historiassa, jolta
ajalta elämän kehitystä voidaan
seurata. Se on perinteisesti jaettu
paleotsooiseksi, mesotsooiseksi ja
kenotsooiseksi maailmankaudeksi.
Sitä luonnehtivat uuden super-
mantereen Pangaean syntymiseen
ja lähes välittömästi alkaneeseen

hajoamiseen liittyvät geologiset
tapahtumat.

Muinaisen ilmakehän hiilidiok-
sidipitoisuuden kehitystä fane-
rotsooisella ajalla on yritetty ar-
vioida sekä geologisen aineiston
pohjalta että mallintamalla pitkä-
aikaista hiilen kiertokulkua luon-
nossa. Tutkimusten mukaan hii-
lidioksidipitoisuus on vaihdellut
varsin paljon, kambriakauden
yli 7 000 ppm:stä muutamaa sa-
taan ppm:ään. Liitukauden läm-
pimän vaiheen aikana se lienee ol-
lut 1 000–2 500 ppm. Näistä, noin
100–80 miljoonan vuoden takai-
sista korkeista arvoistaan se on
alentunut hitaasti liitukauden lop-
pua kohden. Noin 25 miljoonan
viimeksi kuluneen vuoden ajan
se lienee pysytellyt jatkuvasti 400
ppm:n alapuolella.

Geologisen aineiston mukaan
maapallon ilmasto on fanerot-
sooisella ajalla ollut yleisesti otta-
en lämmin aina silloin, kun hiili-
dioksidipitoisuus on ilmakehässä
ollut korkea, ja kylmä silloin, kun
se on ollut matala. Pitkäaikaisten
muutosten takana näyttävät olleen
laattatektoniikasta johtuvat ilmiöt,
jotka ovat muuttaneet maapallon
mantereiden alueiden ja valtamerien
laajuutta ja avanneet meriyhtey-
teksiä muuttaen lämpöä kuljetta-
vien merivirtojen reittejä maapal-
lolla. Myös tulivuoritoiminta ja
vuoristojen syntyprosessit ovat vai-
kuttaneet hiilidioksidipitoisuuteen
ja tätä kautta hiilen nopeaan kiertoon
ja ilmastoon.

Keskikipitkän aikavälin muutokset
lienevät pääasiassa astronomisia,
sillä maapallon kylmät ja läm-
pimät ilmastovaiheet korreloituvat
maapallon radan eksentrisyydessä
ja perihelin paikassa sekä pyöräh-
dysakselin kaltevuudessa tapah-

tuviin jaksollisiin muutoksiin, ns. Milankovichin sykleihin. Mainittakoon, että maapallon lyhin eli perihelietäisyys Auringosta on nykyisin 147,1 miljoonaa ja pisin eli aphelietäisyys 152,1 miljoonaa kilometriä (vrt. Lunkka, s. 184). Kun rata on soikeimmillaan, vastaavat etäisyydet ovat 140,5 miljoonaa ja 158,7 miljoonaa kilometriä.

Nykyinen kasvihuoneilmiön voimistuminen lienee ainakin osaksi seurausta energiatuotannossa käytettävien fossiilisten polttoaineiden, kuten kivihien, öljyn ja kaasun, hiilidioksidipäästöistä. Pitoisuuden kasvuun on kuitenkin vaikuttanut myös maankäytön muuttuminen eli pääasiassa hiilidioksidia sitovien metsien hakkuut, raivaaminen pelloiksi, asutusalueiksi, kaupungeiksi ja valtateiksi. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus, joka ennen teollista vallankumousta on jääkairauksista saatujen tulosten mukaan ollut noin 280 ppm, on mittausten mukaan nykyisin 380 ppm eli suurempi kuin 650 000 vuoteen. Mikäli hiilidioksidipitoisuus yksin määräisi maapallon lämpötilan, Suomessakin kasvatettaisiin kohta banaaneja, niin suureksi on hiilidioksidipitoisuuden esiteollisen ajan kasvanut.

Maapallo ei tällä hetkellä ole yhtenäisen jääpeitteen alla. Varsinainen mannerjäätikkö peittää vain Etelämannerta ja Grönlantia. Lisäksi on olemassa pienehköjä vuoristo-, laki- ja laaksojäätiköitä. Mannerjäätiköistä Etelämannerta peittävä jäätikkö on sekä laajin että iältään vanhin, pääosiltaan ainakin 34 miljoonan vuoden ikäinen, jopa vanhempi. Grönlantia peittävä jäätikkö on sitä huomattavasti nuorempi. Geologisten todisteiden mukaan se syntyi 11–8 mil-

joonaa vuotta sitten. Se oli aluksi pienehkö vuoristojäätikkö, joka pikku hiljaa paksuuntui keskiosistaan ja valui reunoiltaan, kunnes saavutti rannikon noin 2,6 miljoonaa vuotta sitten. Koska Pohjoiselta jäämereltä puuttuvat mantereet, ei siellä voi olla jäätiköitäkään muutamia saaria ja Kanadan arktisia seutuja lukuunottamatta, ainoastaan muutaman metrin paksuista keluvaa merijäätä, jonka kattaman alueen laajuus seuraa lämpötilojen vaihtelua.

Kaivattu geologin näkökulma ilmastokeskusteluun

Maapallon ilmastohistoria avaa geologian näkökulman käynnissä olevaan ilmastokeskusteluun. Kirja on asiantuntevasti ja selkeästi kirjoitettu. Paikoin se kuitenkin edellyttää lukijaltaan perustietoja, joita ei kaikilla aiheesta kiinnostuneilla ole. Sitä voi varauksetta suositella kaikille luonnontieteilijöille ja luonnontieteitä opiskeleville. Myös ilmastoasiantuntijoiden tulisi siihen perehtyä.

Kirja tarkastelee ilmaston kehitystä maapallon koko historian eli 4,6 miljardin vuoden ajalta. Ilmasto on sen mukaan ollut muuttuva kaikkina aikoina. Ennen ihmistä muutokset ovat olleet luonnollisia, sillä ne ovat tapahtuneet maapallon kohdistuneiden ulkoisten tekijöiden vaikuttaessa merien, maitereiden, jäätiköiden ja ellollisen luonnon vuorovaikutukseen. Ihminen on onnistunut muuttamaan tätä luonnonmukaista kehitystä siten, että maapallon pintalämpötilat ovat alkaneen nousta nopeammin kuin luonnollinen kehitys edellyttäisi. Kun nousu on vuosina 1910–1945 ollut keskimäärin 0,14 astetta vuosikymmenessä, oli se

1979–2005 noin 0,17 astetta vuosikymmenessä.

Kirjoittaja on professori ja Geodeettisen laitoksen täysinpalvellut johtaja.