

Maapallon ilmasto – jääkausia ja lämpöaaltoja

K.Ruosteenoja¹

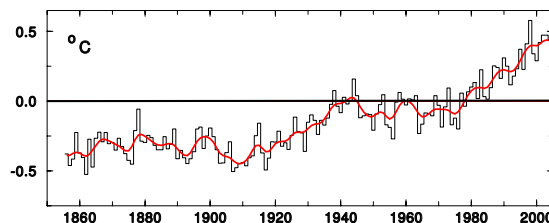
¹ Ilmatieteen laitos, Kimmo.Ruosteenoja@fmi.fi

1. ILMASTO JATKUVASSA MUUTOKSESSA

Koko maapallon olemassaolon ajan ilmasto pallollamme on jatkuvasti vaihdellut. Enimmän osan aikaa ilmasto on ollut varsin lämmin, ja napa-alueetkin ovat olleet pitkiä aikoja lähes jäätömiä. Lämpimien kausien välillä on ollut lyhyempiä kylmempiä vaiheita, tyypillisesti muutamman kymmenen miljoonan vuoden mittaisia, jolloin jomman kumman tai molempien napojen lähelle on muodostunut mannerjäätiköitä. Tällaista kylmää ilmastojaksoa elämme juuri tällä hetkelläkin. Edellisen kerran vastaavanlaista kylmyyttä koettiin kivihilikauden aikana noin 300 miljoonaa vuotta sitten.

Kylminä jaksoina, varsinkin viimeksi kuluneen miljoonan vuoden aikana, ilmasto on heilahdellut voimakkaasti. On esiintynyt useita jääkausia, joitten kylmimpien vaiheitten aikana, esimerkiksi n. 20000 vuotta sitten, koko Pohjois-Eurooppa ja Pohjois-Amerikka aina Yhdysvaltojen pohjoisosia myöten oli jopa kolmikilometrisen jäätikön peitossa. Välillä taas on ollut nykyisenkaltaisia leudompia jääkausien välivaiheita, jolloin pohjoisella pallonpuoliskolla ainoa laaja mannerjäätikkö on Grönlannissa.

Nyt eletävän jääkausien välivaiheen ilmasto oli leudoimmillaan noin 6000 vuotta sitten. Sen jälkeen lämpötilat ovat jonkin verran pudonneet, mutta heilahdellen. Keskiajalla oli melko lämmintä, kun taas 1500-1800-luvuille osui koleampi ns. pikku jääkausi, jolloin mm. vuoristojen jäätiköt Euroopassa laajenivat. 1900-luvulla maapallon keskilämpötila on noussut (kuva 1). Vuosisadan alkupuolen lämpeneminen johtunee paljolti luonnollisista tekijöistä, mutta viime vuosikymmenien lämpötilan nousussa on ihmiskunnalla ollut vahvasti sormensa pelissä.



Kuva 1: Maapallon keskilämpötilan poikkeama pitkäaikaisesta (v. 1961-90) keskiarvosta vuosina 1856-2004.

2. KASVIHUONEILMIÖ

Ilmakehä päästää ison osan auringon säteilystä maan pinnalle, mutta pinnan lähettämän lämpösäteilyn se imee lähes kokonaan. Tiettyjen kaasujen, mm. hiilidioksidin ja vesihöyryn olemassaolon ansiosta ilmakehä toimii täten eräänlaisena lämpösäteilyn kulkua jarruttavana eristeenä maan pinnan ja avaruuden välillä. Tätä ilmakehän ominaisuutta kutsutaan *kasvihuoneilmiöksi*. Ilman kasvihuoneilmiötä maan pinnan lämpötila olisi noin 30 astetta nykyistä alhaisempi. Hiilidioksidin lisääntyessä ilmakehässä kasvihuoneilmiö on nykyisin koko ajan voimistumassa ja ilmasto lämpenemässä; aiheesta kerrotaan lisää kirjoituksen lopussa.

Havainnollistus: ilmakehä kasvihuonekaasuineen on kuin villapaita, joka pitää maapallon sopivan lämpimänä kylmässä avaruudessa. Kasvihuoneilmiön voimistuminen tarkoittaisi vielä yhden lisävaatekerroksen pukemista, jolloin tulisi jo hiki. Havaintoesimerkin rajoitus: kasvihuoneilmiö vaikuttaa *säteilyn* välityksellä kulkevaan lämpöön, villapaita taas lähinnä estää ilman *virtauksia* siirtämästä lämpöä iholta pakkasilmaan.

3. ERIPITUISILLA ILMASTONVAIHTELUILLA ERI SYYT

3.1 Hitaat vaihtelut

Satojen ja kymmenien miljoonien vuosien mittakaavassa esiintyneitten ilmastonmuutosten tärkeimpänä aiheuttajana pidetään mannerten liikuntoja. Kylmän ilmastojakson edellytyksenä on, että mantereita sijaitsee riittävän lähellä napoja. Jos molemmat navat ovat keskellä laajaa merta, ei jäätiköitä helpolla pääse syntymään. Tällöin nimittäin napameret varastoivat kesällä niin paljon auringon energiaa, etteivät ne talvellakaan ehdi viilentyä jäätymislämpötilaan. Lisäksi merivirrat kykenevät tuolloin siirtämään tehokkaasti lämpöä korkeille leveysasteille. Jos sen sijaan napojen lähellä on isoja maa-alueita, voi niille muodostua talvisin lumipeite. Tämä lumi heijastaa keväisin suuren osan auringon säteilystä ja säilyy siksi pitkälle kesään. Kylmimmillä alueilla lumi saattaa säilyä sulamatta yli kesän ja näin jäätikön muodostuminen lähtee käyntiin. Jäätikön synty ja laajeneminen lisäävät auringon säteilyn heijastumista avaruuteen, mikä on omiaan laskemaan koko maapallon keskilämpötilaa.

Toinen hitaitten ilmastonvaihtelujen mahdollinen aiheuttaja on ollut vuoristojen synty ja häviäminen. Korkealla vuoristossa ilma on yleensä kylmää ja lumisateet runsaita, siispä jäätikköjä pystyy helposti muodostumaan. Jäätiköt heijastavat auringon säteilyä samalla laskien maapallon keskilämpötilaa. Nuorissa hiljan syntyneissä vuoristoissa on myös sellaisia mineraaleja, jotka kykenevät sitomaan ilmakehästä hiilidioksidia. Esimerkiksi viime vuosimiljoonina Tiibetin ylänkö on ilmeisesti ollut melkoinen hiilidioksidisyöppö.

3.2 Jääkausivaihtelu

Viimeksi kuluneen miljoonan vuoden aikana jääkaudet ja leudommat välivaiheet ovat seuranneet toisiaan noin 10-100 tuhannen vuoden välein. Sadassa vuosituhannessa mantereet ehtivät liikkua vain mitättömän vähän. Jääkausivaihtelun syyt löytyvätkin aivan toisaalta, maapallon kiertoradasta. Maan kiertoradan soikeus vaihtelee n. 100000 vuoden jaksolla. Kiertoradan auringon lähimpänä sijaitseva piste taas sattuu samalle vuodenajalle aina 22000 vuoden välein:

tällä hetkellä olemme lähinnä aurinkoa tammikuun alussa, 11000 vuoden kuluttua heinäkuussa. Lisäksi maan pyörimisakselin kallistuskulma maan kiertoradan määräämän tason suhteen vaihtelee 41000 vuoden jaksolla.

Maan rataparametrien vaihtelut muuttavat eri puolilla maapalloa eri vuodenaikoina saatavaa auringonsäteilyn määrää jonkin verran. Esimerkiksi noin 10000 vuotta sitten pohjoiset napaluudet saivat kesäaikaan nauttia keskimääräistä runsaammasta auringon lämmöstä. Juuri tähän aikaan sattui viimeisen jääkauden nopea sulamisvaihe. Vastaavasti niinä aikoina, jolloin aurinko suo lämpöään pohjoisille alueille niukalti, on todettu jäätiköitten laajenevan.

Jääkausien kylmimpien vaiheitten aikana ilmakehässä on ollut jopa kolmasosan verran vähemmän hiilidioksidia kuin jääkausien välillä. Tätä ei kuitenkaan tule tulkita niin, että hiilidioksidin väheneminen olisi sinänsä ollut ilmaston jäähtymisen alkusyy. Pikemminkin näyttää siltä, että merivirroissa ja valtamerien biologiassa jääkauden aikana tapahtuneet muutokset olisivat lisänneet merien kykyä sitoa hiilidioksidia, jolloin vastaavasti pitoisuus ilmakehässä olisi laskenut. Heikentynyt kasvihuoneilmiö olisi osaltaan voimistanut jääkauden ankaruutta.

3.3 Lyhytjaksoiset vaihtelut

Lyhyempien, jaksoltaan tuhannen vuoden luokkaa olevien ja sitä nopeampien vaihteluitten selityksiksi on esitetty tulivuorenpurkauksien määrän muutoksia ja auringonsäteilyn vaihteluita. Riittävän voimakkaan tulivuorenpurkauksen yhteydessä ylempiin ilmakerroksiin joutuu rikki-dioksidia, joka edelleen hapettuu ja reagoidessaan veden kanssa muuttuu rikkihapoksi. Syntyvät pienet rikkihappopisararat varjostavat maan pintaa auringon säteilyltä, jolloin lämpötilat laskevat tyypillisesti joitakin kymmenysosa-asteita.

Viimeaikaisten tekokuumittausten perusteella näyttäisi siltä, että aurinko säteilisi aavistuksen voimakkaammin silloin, kun auringonpilkkuja on runsaasti. Kuitenkin säteilyn määrä muuttuu niin vähän, ettei pilkkujen määrän havaittu 11-vuotinen vaihtelu kykene mainittavasti vaikuttamaan maapallon ilmastoon. Sen sijaan pitemmillä ajanjaksoilla auringon säteily on saattanut vaihdella enemmän. Pikku jääkauden aikaan 1600-luvun loppupuolella ja 1700-luvun alussa auringonpilkkuja ei ollut juuri lainkaan, ja on esitetty arveluita, että tuolloin aurinko olisi säteillyt nykyistä laiskemmin. Valitettavasti tuohon aikaan ei osattu vielä mitata säteilyn määrää, joten suoraa näyttöä asiasta ei ole.

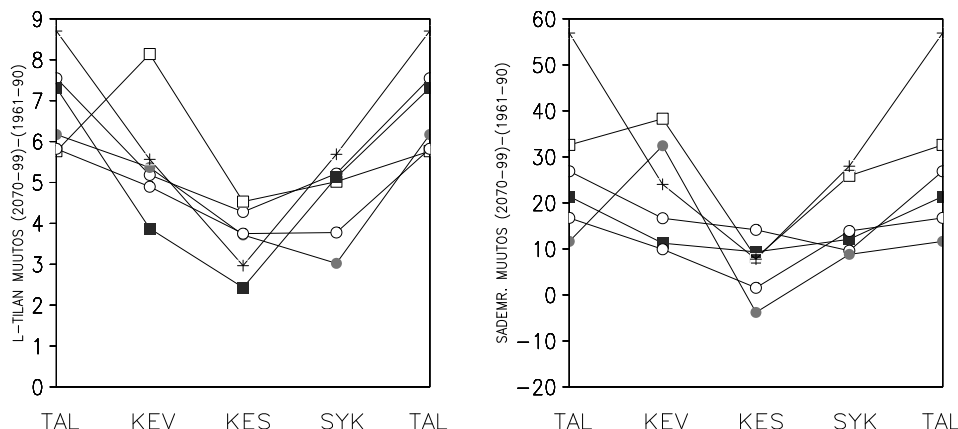
4. TULEVA ILMASTOMME

Kasvihuoneilmiö on sinänsä olemassaolollemme välttämätön, sillä ilman sitä maa olisi niin kylmä, ettei tänne olisi päässyt kehittymään nykyisenkaltaista elämää. Ongelmana on, että ihmiskunta nopeasti voimistaa kasvihuoneilmiötä, jolloin maapallon ilmasto muuttuu.

Tärkein ihmiskunnan ilmakehään syytämä kasvihuonekaasu on hiilidioksidi, jonka pitoisuus on noussut teollistumista edeltävän ajan noin 280 ppm:stä yli 370 ppm:ään. Toisen merkittävän kasvihuonekaasun, metaanin, pitoisuus on jopa yli kaksinkertaistunut. Toisaalta rikkipitoisten polttoaineitten käytön seurauksena ilmakehään on muodostunut pieniä leijuvia hiukkasia, jotka vähentävät maan pinnalle pääsevän auringon säteilyn määrää ja siten jarruttavat lämpenemistä.

Nämä hiukkaset ovat kuitenkin hyvin lyhytikäisiä, sillä sateet huuhtovat niitä koko ajan pois ilmakehästä. Hiilidioksidipäästöt sen sijaan vaikuttavat ilmakehässä jopa satoja vuosia.

Tulevia ilmastonmuutoksia voidaan arvioida ilmastomallien avulla. Nämä mallit kuvaavat ilmastojärjestelmää tietokoneohjelman muotoon puettujen fysiikan lakien avulla. Ilmakehän lisäksi ilmastomalleissa on oma osamallinsa mm. valtamerille, jää- ja lumipeitteelle, maaperän lämpö- ja vesitaloudelle yms. Kun on saatu muodostettua arvio kasvihuonekaasujen tulevasta pitoisuuksista, voidaan mallien avulla laatia ennustuksia, miten maapallon ilmasto muuttuu.



Kuva 2: Kuuden eri ilmastomallin ennustama keskilämpötilojen ($^{\circ}\text{C}$; vasen) ja sademäärien (%; oikea) muutos Suomessa 1900-luvun loppuvuosikymmenistä alkaneen vuosisadan loppuun. Muutokset on annettu erikseen kullekin neljälle vuodenajalle (kevät = maaliskuu–toukokuu jne.).

Vaikka mallit sinänsä ovat puhdasta fysiikkaa, laskentakapasiteetin rajallisuuden vuoksi monet ilmiöt, esim. pilvien vuorovaikutus auringon säteilyn ja maan pinnan lähettämän lämpösäteilyn kanssa, joudutaan kuvaamaan varsin karkeakätisesti. Tämän johdosta ennustetut ilmaston muutoksetkin ovat eri malleissa erilaisia. Tätä havainnollistaa kuva 2, jossa on esitetty eri mallien ennustamia Suomen keskilämpötilojen ja sademäärien muutoksia eri vuodenaikoina tämän vuosisadan loppua lähestyttäessä. Talvella lämpötilat kohoavat mallista riippuen 5–9, kesälläkin 2–5 astetta. Ennustetut sademäärän muutokset poikkeavat malleissa toisistaan vieläkin enemmän. Ennusteet on laadittu olettaen, että kasvihuonekaasujen päästöt jatkavat nopeaa kasvuaan koko tämän vuosisadan ajan (ns. A2-SRES-skenaario).

KIRJALLISUUTTA

IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 881 pp.

Eronen, M., 1991: Jääkausien jäljillä. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. 271 s.

Kuusisto, E., ja J. Käyhkö, 2004: *Gloabalimuutos*. Kustannusosakeyhtiö Otava. 169 s.