

## Ilmastonmuutos ja ihmisen toimet

Ilmastositomuksen osapuolet eivät päässeet Haagin kokouksessa ratkaisuun yhdestäkään sopimuksen toimeenpanon kannalta keskeisestä asiasta. Lähes kymmenen vuotta ilmastositomuksen solmimisen jälkeen oli vielä mahdotonta löytää määritelmiä ja hiilivarastojen laskentatapoja, joille olisi yhtenevä tulkinta. Ilmastositomuksella olisi taloudellisia vaikutuksia sopijavaltioiden teollisuudelle, mutta sopimuksen merkitys maapallon ilmastolle olisi edelleen epävarma.

Maapallon ilmaston vaihtelun lähteenä on auringosta tuleva ja maasta heijastuva energiamäärä. Tuhansien vuosien aikajaksoissa muutokset maan kiertoradassa aurinkoon nähden aiheuttavat muutoksia auringon energian jakaantumisessa maapallon pinnalle. Auringon pinnalla on voimakkaita kaasupurkauksia, joiden energiamäärän vuoksi maapallolle saapuva auringon säteily vaihtelee myös lyhyellä aikavälillä. Auringon aktiivisuuden vaihtelua on pidetty syynä ns. pikkujääkauteen 1600-luvulla. Tulivuorten purkauksissa korkealle ilmakehään joutuva tuhka estää auringon säteilyn pääsyä maapallolle ja viilentää ilmakehän lämpötilaa.

Säteilyenergian määrä ja -tase muuttuvat päiväntasaajalta navoille mentäessä. Trooppiset alueet sitovat energiaa runsaasti ja pohjoiset alueet vähemmän, mikä pitää yllä maapallon merien ja ilmakehän virtauksia. Tuulet ja merivirrat kuljettavat lämpöä ja kosteutta ympäri maapalloa. Maanosien ilmastoihin vaikuttavia toistuvia ilmiöitä ovat merelliset El Niño- ja La Niña -ilmiöt ja ilmakehän paineen vaihtelut itäisen ja läntisen Tyynenmeren välillä. Ne muodostavat yhdessä ns. ENSO-ilmiön, joka vaikuttaa laajoille meri- ja manteralueille maapallolla. Pohjoisen pallonpuoliskon ilmastoon vaikuttaa voimakkaasti pohjoisatlantinen vaihtelu. Pohjois-Atlantilla syntyvät matalapaineet vaikuttavat Euroopan säähän ennen kaikkea talvella, jolloin voimakkaat matalapaineet tuovat lämpimiä ja kosteita ilmavirtauksia sekä leutoja ja sateisia talvia Pohjois-Eurooppaan.

Tutkimuslaitokset ja yliopistot ovat koonneet maapallon keskilämpötilaa kuvaavia aikasarjoja. Pitkän ajan sarjat perustuvat puiden vuosilustojen, jää- ja savi(koraali)kerrosten vaihtelun tulkintaan. Vanhimmat lämpötilan mittausarjat alkavat 1600-luvun lopulta Englannista. Mittaukset tulivat vertailtaviksi, kun 1700-luvun alussa tanskalainen tähtitieteilijä Rømer otti käyttöön kahden yleisen vertauspisteen välisen asteikon. Ruotsalainen tähtitieteilijä Anders Celcius esitti lämpötila-asteikon vuonna 1742. Lämpötilan mittaushavainnoista koostetut aikasarjat alkavat yleensä 1860-luvulta. Maapallon vuosikeskilämpötila on laskettu maan ilmalämpö-



tiloista ja merenpinnan lämpötiloista, joille on koostettu havainnot pituus- ja leveyspiirien suhteen viiden asteen välein. Maalämpötilat on koottu ilmatieteen laitosten mittausasemilta ja merenpinnan lämpötilat poijuhavaintoasemilta ja laivamittauksista. Maapallon vuosikeskilämpötilan sarjoissa on parin viimeisen vuosikymmenen ajalta havaittu nousevat trendit, joiden mukaan maapallon vuosikeskilämpötila lämpenisi 0,5–1,6 °C sadassa vuodessa. Satelliittien mittauslaitteistoilla on tehty maapallon lämpötilasta kahdenkymmenen vuoden aikasarja. Sen mukaan lämpeneminen on hitaampaa kuin säähavaintoasemien mittauksien tulokset osoittavat.

Koostetut aikasarjat ovat ainoaa saatavissa olevaa pitempiäaikaista tietoa maapallon lämpötilasta. Kuitenkin pitkä aikasarja sisältää monia virhelähteitä, joita ei jälkikäteen pystytä aineistosta poistamaan. Seurantatutkimukseen kelvollisten mittausarjojen tekeminen on vaativaa mittauksista tarkkuuden ja toistettavuuden suhteen. Maapallon vuosikeskilämpötiloja esittävien sarjojen vanhimpien mittausjaksojen havaintojen vertauskelpoisuus ja tarkkuus on väistämättä huono uudempiin mittauksiin verrattuna jo laitteistojen mittauksien tarkkuuden ja havaintopaikkojen määrän vuoksi. Lämpenemisen trendin pysyvyyttä ja merkitsevyyttä ei näistä sarjoista pystytä vielä tilastotieteellisesti osoittamaan.

Ilmastonmuutoksen määrittelyssä pyritään erottamaan ihmisen tuottamien kasvihuonekaasujen vaikutus luonnonvaihtelusta. Ilmakehän koostumuksen ja ominaisuuksien vaikutusta yritetään selvittää ilmasto- ja valtamerimallien avulla. Tehtävä on vaikea. Hiilen kierrossa maa-meri-ilmakehä-systeemissä on monia tuntemattomia ja vaikeasti arvioitavia tekijöitä. Meren ja ilmakehän vuorovaikutus tunnetaan huonosti ja valtamerien kyvystä sitoa hiiltä planktonituotannon kautta merien pohjaan on vielä vain epävarmaa tietoa. Merien pinta-ala on 70 prosenttia maapallon pinta-alasta.

Fossiilisten polttoaineiden käytön lisäksi biomassan palaminen vapauttaa ilmaan hiiltä. Vuosittaisten metsä- ja savannipalojen aiheuttamista hiilen päästöistä on hyvin erilaisia arvioita. Hallitusten välinen ilmastopaneeli (IPCC) arvioi palojen hiilipäästöjen olevan 40 prosentin suuruusluokkaa verrattuna teollisuusmaiden kokonaishiilipäästöihin. Yhdysvaltain avaruustutkimuslaitos NASA:n tutkimusryhmä arvioi palojen hiilipäästöt huomattavasti suuremmiksi. Metsä- ja savannipaloissa korkealle ilmakehään vapautuu myös muita kasvihuonekaasuja ja aerosoleja, jotka vaikuttavat maapallon lämpötilaan.

Maapallon ilmasto on monen fysikaalisen ja biologisen reaktioketjun vaikutuksen alainen. Tutkittua tietoa on useista osatekijöistä, mutta monta suurta kysymystä on vailla vastausta ja käsitys kokonaisvaikutuksesta on puutteellinen. Lisää tietoa yritetään saada myös uuden mittaustekniikan avulla. NASA on aloittanut kuluvaan vuoteen helmikuussa mittausanturein varustetulla satelliitilla (CERES, Clouds and the Earth's Radiant Energy System) maapallon energiataseen ja sääilmiöiden seurannan. Mittausjärjestelmän odotetaan antavan paljon uutta tietoa.

Tutkimuksen tehtävä on kyseenalaistaa yleisiä käsityksiä ja etsiä tieteellisesti pätevillä menetelmillä näyttöä hypoteesien tueksi. Missä vaiheessa tutkimus pystyy tuottamaan pätevää näyttöä ilmastonmuutoksen peruskysymyksiin? Neuvottelut hiilipäästöjen vähennyksistä ovat tällaisessa tilanteessa hyvin poliittinen kysymys. Siksi pienen kansakunnan, jonka metsien puuvarannot ovat lisääntyneet ja jonka hyvinvointi suuressa määrin perustuu metsien kestäväseen käyttöön, on syytä tarkasti valvoa etujaan.

*Eeva Korpilahti*