

# Maapallon pulssi kiihtyy



Maapallo on nyt potilas, jonka syke ja kuume uhkaavat nousta hallitsemattomiin lukuihin. Hoitokeino on olemassa, jos vain otamme sen käyttöön.

## ■ Ilmastonmuutoksesta on kertynyt sen verran vankkaa näyttöä, että kipakimmaltakin ilmastoskeptikolta on katoamassa matto jalkojen alta. Pariisin ilmastosopimus antaa toivoa siitä, että voimme estää pahimman vaihtoehdon toteutumisen.

Jari Koponen

Maailman ilmatieteen järjestön WMO:n pääsihteeri **Petteri Taalas** on seurannut ilmastonmuutoksen etenemistä yli kolmen vuosikymmenen ajan.

Vuodenvaihteessa WMO:ssa aloittanut Taalas toimi aiemmin pitkään Suomen Ilmatieteen laitoksen pääjohtajana. Hänellä ei ole ilmastonmuutoksen todellisuudesta pienintäkään epäilyä.

”Tilanne on vakava”, Taalas sanoo yksikantaan.

Ilmaston muuttumisen aiheuttamat haittavaikutukset ovat jo näkyvissä, ja jatkossa niitä tullaan näkemään entistä enemmän.

”Näitä haittavaikutuksia ovat muun muassa merivesien lämpeneminen, helleaallot, trooppiset myrskyt ja maapallon sadejakautumassa tapahtuneet muutokset. Sadejakautuman muutosten takia joillakin alueilla lisääntyvät tulvat ja maanvyörymät, toisilla taas kuivuus ja metsä- ja maastopalot”, Taalas listaa.

Ilmastonmuutoksen vakavasti ottavien tahojen kannalta ”ikävä” puoli on se, että ilmiö ei alkuvaiheessaan ole vielä niin selvä, jotta kaikki tunnustaisivat ja tunnustaisivat sen.

Kouriintuntuvimpia muutokset ovat tätä nykyä arktisilla alueilla ja maapallon jäätiköillä, jotka ilmaston lämmitessä sulavat kiihtyvää vauhtia.

”Jäätiköt tuottavat makean veden useimpiin maailman suurimpiin jokiin, joista puolestaan ihmiset saavat juomavetensä, viljelykset kasteluvetensä ja teollisuus tuotantoaan varten tarvitsemansa veden”, Taalas muistuttaa.

”Maailmassa on alueita, kuten Peru, joissa joet ovat ainoa vesilähde.”

Makean veden varantoja uhkaa myös lämpenemisen aiheuttama meriveden nousu. Se suolaa rannikoiden läheisyydessä sijaitsevat vesiläh-

teet ja pienentää talousmaa-alueita.

Tämä ei tapahdu ensimmäistä kertaa. Siitä on epäsuoria todisteita esihistoriasta.

”Kun ilman hiilidioksidipitoisuus oli kolme kertaa nykyistä suurempi, meriveden pinta oli 50 metriä nykyistä korkeammalla.”

Taalas korostaa, että vaikka ilmastonmuutosta onnistuttaisiinkin hillitsemään, vie kymmeniä vuosia ennen kuin torjuntatoimet alkavat purra. Maailman väestön tarpeet on tyydytettävä myös tässä välivaiheessa, vaikka vesi- ja ruokavarannot samaan aikaan hupenevat.

### Tarkentuvat mallit

Ilmastonmuutoksen etenemistä voidaan ennakoida laskennallisten mallien avulla. Käytettävä malli on kuitenkin aina todennettava, jotta sen antamiin tuloksiin voitaisiin luottaa.

Kuinka ilmastonmuutosmallit on todennettu?

”Perustodennus tehdään laskeamalla ilmaston kehitystä esimerkiksi 150 vuotta taaksepäin ja vertaamalla

## Vie kymmeniä vuosia ennen kuin ilmastonmuutoksen torjuntatoimet alkavat purra.

laskettuja tuloksia todellisiin mitaustuloksiin. Mittaustuloksia on käytettävissä 1850-luvulta lähtien kohtalaisen kattavasta mittausverkostosta”, Taalas kertoo.

”Laskenta perustuu luonnonlakeihin eli kaikkeen siihen, mitä tiedämme ilmakehän kemiasta ja fysiikasta, merien käyttäytymisestä, biosfäärin vaikutuksesta ja auringon toiminnasta. Mallia ei siis soviteta mittaustuloksiin, vaan tulokset ovat mittaustuloksista riippumattomia.”

Maailmassa toimii kolmisenkym-

mentä tutkimusryhmää, jotka käyttävät toisistaan jonkin verran eroavia laskentamalleja. Ryhmien tulokset ovat yhdensuuntaisia.

Tuloksiin vaikuttaa se, miten tehokkaita supertietokoneita on käytettävissä. Tehokkaammilla koneilla saadaan tarkempia tuloksia.

Laskennallisissa malleissa on tiettyjä epävarmuustekijöitä. Niistä suurin on tähän asti ollut ilmassa olevien pienhiukkasten vaikutus, sillä hiukkasilla voi olla niin ilmakehää lämmittäviä kuin viilentäviäkin vaikutuksia.

Epävarmuustekijätkin pyritään malleissa ottamaan huomioon mahdollisimman hyvin.

”Suomessa tehty huippuluokan tutkimustyö on ollut tässä asiassa ratkaisevaa. Meillä on muun muassa havaittu, että pohjoiset metsät ovat huomattavia aerosolien lähteitä.”

### Arvoitukselliset meret

Suomen ja muiden arktisten alueiden lämpeneminen on nopeampaa ja voimakkaampaa kuin maapallon mui-

den alueiden. Tämä voi tuoda ilmaston muuttumiseen oman lisänsä.

Arktisen ikeroudan alla ja merien pohjissa on runsaasti klatraatteja eli metaanijääkasaumia, joiden sulamisen myötä ilmaan voisi vapautua suuria määriä metaania. Vaikka metaani pysyy ilmakehässä vain kymmenen vuotta, se on hiilidioksidia selvästi voimakkaampi kasvihuonekaasu.

Suomalaistutkijat ovat mitanneet metaanipitoisuuksia esimerkiksi Pal-

» » »

## Suomi lämpenee joka tapauksissa enemmän kuin maapallo keskimäärin.



laksella jo kymmenen vuotta. Kansainvälisellä mittausasemalla lähellä Pohjoisnapaa mittauksia on tehty kolmen vuoden ajan.

”Pitoisuudet ovat molemmissa paikoissa tasaisesti kohonneet, mutta vielä ei ole nähty minkäänlaista huolestuttavan äkillistä nousua”, Taalas kertoo.

Turvallisuuden tunteeseen ei kuitenkaan voida tuudittautua, sillä metaanista voi silti tulla yllättävä riskitekijä.

Toinen tärkeä ilmastomuutokseen vaikuttava tekijä pohjoisilla alueilla on etelämpää saapuneista laskeumista satava musta hiili, joka imee

auringon lämpöä ja sulattaa lumi- ja jääpeitteitä.

Sen, että ilmaston lämpeneminen ei ole edennyt tasaisesti, selittää merien kyky varastoida lämpöä. Valtameret alkoivat lämmentä voimakkaasti 1960-luvulla. Tähän mennessä tuotetusta lisälämmöstä meriin on sitoutunut yli 90 prosenttia.

Jossakin vaiheessa merien lämmönsitomiskyky kuitenkin saavuttaa kyllästymispisteensä. Sen jälkeen ilman lämpeneminen jatkuu entistä voimakkaampana.

Meret toimivat myös hiilinieluinä, sillä tuottamastamme hiilidioksidista noin neljännes sitoutuu meriin. Toisen neljänneksen imevät kasvit, ja loppuosa päättyy ilmaan.

Suuri kysymys on Taalaksen mukaan se, pysyväkö merien hiilensitomiskyky myös jatkossa nykyisellä

tasolla, vai heikentyykö se veden lämmetessä.

Keskeinen mittari, jonka avulla asiaa voidaan selvittää, on hiilen kiertokulkutase. Sen seuraamiseksi Eurooppaan on perustettu hiilen kiertokulun mittausjärjestelmä, jota johtaa Ilmatieteen laitos.

”Järjestelmällä tutkitaan hiilen kiertokulkua ilmassa, ekosysteemeissä ja merissä. Kun Pariisin ilmastosopimusta ryhdytään toteuttamaan, meidän täytyy pystyä mittauksin todentamaan, että jotakin todella tapahtuu”, Taalas sanoo.

Hiilidioksidin pysyminen merissä olisi ilmastomuutoksen torjunnan kannalta hyvä asia. Toisaalta hiilidioksidin tiedetään muuttavan meriveden kemiallista koostumusta tavalla, joka on vahingollista meren eliöille.

Vielä täysin avoin kysymys on se, väheneekö meren pieneliöiden hapentuotantokyky ilmastomuutoksen myötä.

Myönteinen vastaus olisi todella huono uutinen.

### Pariisista eteenpäin

Toivoa antaa Pariisissa joulukuussa 2015 solmittu kansainvälinen sopimus, jonka tavoitteena on ilmastomuutoksen pysäyttäminen.

Petteri Taalaksen mukaan sopimuksen aikaansaaminen on osoitus siitä, että tieteen viesti ilmastomuutoksesta on vihdoon hyväksytty valtion päämiesten parissa.

Ranskalaisia voi hänen mielestään onnitella taidokkaasti hoidetusta diplomatiasta, jonka ansiosta vuoden 2009 Kööpenhaminan ilmastokokouksen kaltaista pattitilannetta ei päässyt syntymään.

”Oli tärkeää, että valtioiden edustajilta kysyttiin, mitä heidän maansa on valmis tekemään. Samoin se, että mukana oli yrityssektori, joka pääomittaa ja hoitaa asiaan liittyviä käytännön toimia”, Taalas sanoo ja muistuttaa samalla, että Pariisin kokous loi silti vasta perustan jatkotoimille.

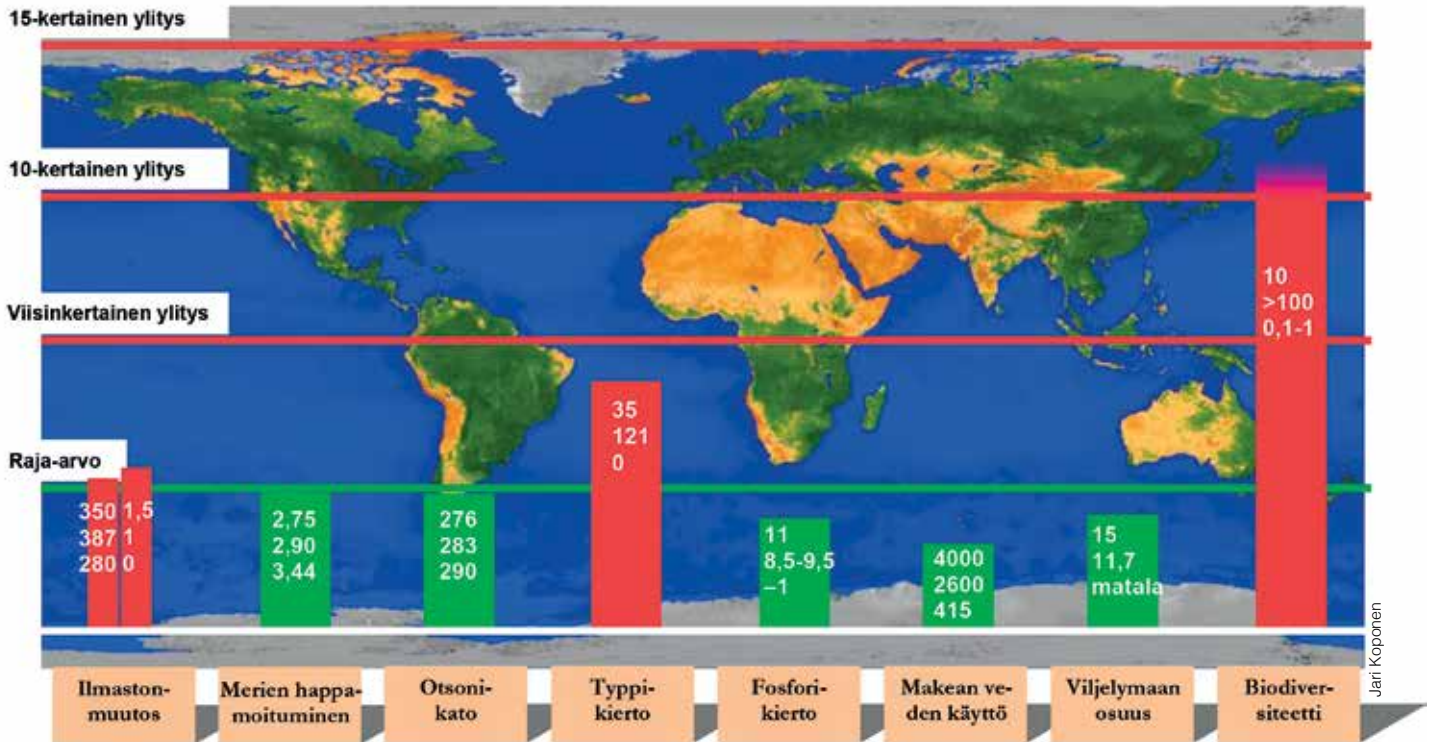
Kokouksen virallisesti esittämä päämäärä rajata ilmaston lämpeneminen 1,5 asteeseen esiteollista aikaa korkeammalle ei hänen mukaansa ole realistinen. Tavoite asetettiin, jotta saarivaltiot saataisiin mukaan sopimukseen.



**Maailman ilmatieteen ykkösmies Petteri Taalas pitää Pariisin ilmastosopimusta hyvänä lähtölaukauksena ilmastomuutoksen torjuntatoimille. ”Lämpötilan nousun pysäyttäminen kahden asteeseen olisi hieno saavutus.”**

Niina Kellokoski





Jari Koponen

Ilmastonmuutoksen lisäksi maapallolla on käynnissä monia muitakin muutoksia. Tutkimuskeskus Stockholm Resilience Centre on ehdottanut mittareita sellaisille käynnissä oleville prosesseille, joihin ihmisen toiminta vaikuttaa.

Prosesseille esitetään raja-arvoja, joissa pysymisen katsotaan ylläpitävän maapallon biofysikaalista tasapainoa. Kahdelle tärkeälle tekijälle, ilmakehän pienhiukkaspitoisuuksille ja ympäristön kemialliselle saastumiselle, ei vielä ole pystytty määrittelemään raja-arvoja.

**Kuvan pylväiden** luvut (ylhäältä alas) kertovat ehdotetun raja-arvon, nykyisen arvon ja esiteollisen ajan arvon.

**Ilmastonmuutoksen** mittareina ovat ilmakehän hiilidioksidin pitoisuus ppmv (vasen pylväs) ja nettoenergiavuo ilmakehän rajalla W/m<sup>2</sup> (oikea pylväs).

**Merien happamoitumista** mittaa pintavesien aragoniitin kes-

kimääräinen kyllästysaste. Aragoniitti on yksi kalsiumkarboniitin kidemuoto, joka hajoaa happamissa oloissa. Siten suurempi lukuarvo on parempi.

**Otsonikatoa** mitataan stratosfäärin otsonipitoisuudella Dobsonin yksiköissä. Suurempi lukuarvo on parempi.

**Typpikierron häiriötä** mitataan ihmisen ilmakehästä omaan käyttöönsä sitoman typen määrällä (miljoonaa tonnia/vuosi).

**Fosforikierron häiriö** mitataan meriin siirtyvän fosforin määränä (miljoonaa tonnia/vuosi).

Ihmiskunnan **makean veden kulutuksen** yksikkönä on kuutiokilometri/vuosi.

**Maankäytön yksikkönä** on jäätä vapaasta maa-alasta viljelyyn otetun maa-alan osuus prosentteina.

**Biodiversiteettiä** mitataan sillä, kuinka monta lajia kuolee sukupuuttoon miljoonaa lajia kohden.

## Tikittävä aikapommi

Väestönkasvu on asia, josta ilmastomuutoksen yhteydessä puhutaan harvoin. Kyseessä on kuitenkin tikittävä aikapommi.

Kuivuus ja kuumuus tulevat ajamaan liikkeelle ihmismääriä, joihin verrattuina nykyinen pakolaisaalto on pientä. Yksi kuivuvista alueista on Välimeren ympäristö, jossa tämän suuntainen kehitys on jo käynnistynyt.

Sadejakauman muutokset – jotka ovat jo havaittavissa – lisäävät

sateita korkeilla leveysasteilla, muun muassa Suomessa.

”Matalammilla leveysasteilla sademäärät taas vähenevät, ja juuri siellä sijaitsevat monet maapallon keskeisistä maatalousalueista. Näin menettävä ruoantuotanto on jollain tavoin kyettävä kompensoimaan”, Petteri Taalas sanoo.

Väestönkasvun rajoittamisesta on onnistuneita esimerkkejä, muun muassa Kiinassa. Intian ja Afrikan väestöräjhdys kuitenkin kumooa

Kiinan kasvun tasaantumisen monin verroin.

Lisääntyvälle ihmismäärälle tarvitaan entistä enemmän ruokaa. Sen tuottaminen on toki mahdollista oikein toimenpitein, esimerkiksi vähentämällä reippaasti naudanhän ja sianlihan tuotantoa.

Maatalaeläimille syötettävästä soijasta ja viljasta päätyy hyötykäyttöön vain kymmenen prosenttia. Jos saman soijan ja viljan söisivät ihmiset, hyöty olisi sata prosenttia.

# Pallon kohtalo riippuu pollasta

Ilmastonmuutoksen avainsana on **säteilypakote**. Sillä tarkoitetaan auringosta maapallolle saapuvan ja maapallolta pois heijastuvan säteilymäärän erotusta.

Jos maapallolle tulee säteilyn mukana enemmän energiaa kuin täältä säteilee pois, säteilypakote on positiivinen, ja maapallo lämpenee.

Auringonsäteilystä osa heijastuu takaisin avaruuteen, mutta osa imeytyy maapallon pintaan. Pinnan läh-

tyhdisteitä, maapallon keskilämpötila olisi  $-18$  astetta.

Eniten vaikuttava kasvihuonekaasu on hiilidioksidi, jonka pitoisuus ilmakehässä – ja samalla myös maapallon keskilämpötila – pysyi esiteollisena aikana varsin hyvin vakiona.

Teollisena aikana ihmiskunta on syytänyt ilmakehään sellaisia määriä hiilidioksidia, että lämpötase on kasvanut ja maapallo alkanut lämmetä.

Viime vuonna julkistettiin tulokset hankkeesta, jossa säteilypakotteen ja ilman hiilidioksidipitoisuuden yhteys mitattiin ensimmäisen kerran suoraan luonnosta. Projektissa tehtiin kymmenessä vuodessa yli

11 000 säteilypakotteen suoraa mittausta Yhdysvaltain Oklahomassa ja Alaskassa.

Tänä aikana säteilypakote nousi noin 0,2 wattia neliometriä kohti. Ilman hiilidioksidipitoisuus nousi 22 miljoonasosaa.

Kuten tupakkateollisuus aikoinaan pyrki kiistämään tupakanpolton ja keuhkosityövän välisen yhteyden, vastaavanlainen ilmastonmuutosta vähättelevä lobbausjärjestö yrittää kääntää tosiasiat pääläelleen.

Projektin tulokset ovat kuitenkin linjassa ilmastomallien antamien ennusteiden kanssa ja viimeinen naula ilmastoskeptikkojen arkkuun.

## Ei vippaskonsteja

Mitä tapahtuu, jos asialle ei tehdä mitään?

Lämpeneminen jatkuu kiihtyvänä, ja riskit alkavat laueta.

Tuhoisat sääilmiöt, kuivuus, makean veden ja ruoan puute ajavat

ensin miljoonia, sitten kymmeniä ja ennen pitkää satoja miljoonia ihmisiä liikkeelle.

Tien päässä ovat tartuntatauti-epidemioiden, kansallisten hallintojen romahdukset, yhteiskuntien hajoamiset, valtioiden väliset sodat ja lopulta eloonjäämistelit.

Jotta lämpenemisen vaikutukset

## Ilmastonmuutoksen pysäyttämiseen ei ole hätäjarrua.

olisivat vielä hallittavissa, maailman keskilämpötilan nousurajaksi on yleisesti esitetty 2–3 astetta.

Jo se merkitsee ilmastopakolaisia ja ilmastonmuutokseen sopeutumista. Mitä korkeammalle lämpötila nousee, sitä useampi mainituista seurauksista alkaa toteutua.

Ilmastonmuutokselle ei ole hätäjarrua. Kaikki esitetyt keinot ovat spekulatiivisia ja testaamattomia. Ne ovat myös liian hitaita tai vaikutuksiltaan arvaamattomia.

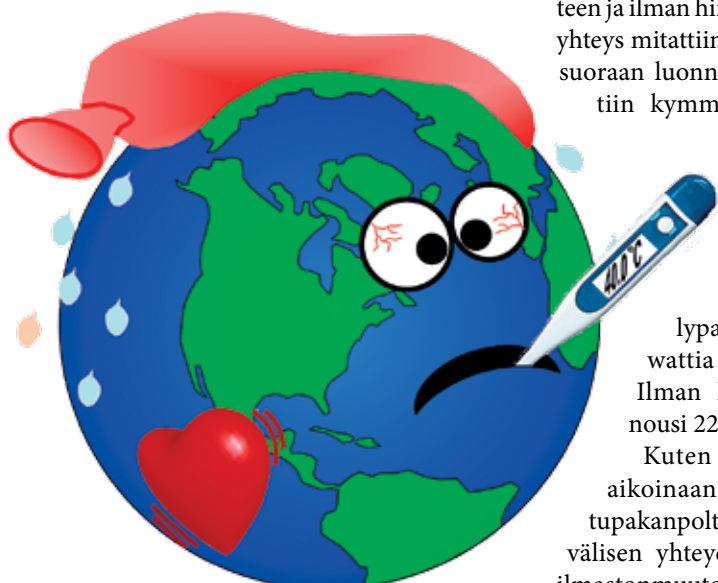
Ihmiskunnalla on vain yksi mahdollisuus: vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä mahdollisimman paljon mahdollisimman nopeasti.

Silti pitää muistaa, että parhaassakin tapauksessa lämpeneminen jatkuu vielä vuosikymmeniä. Jos lämpötila nousee liikaa, palautumisajat alkavat nopeasti pidentyä satoihin, tuhansiin ja kymmeniintuhansiin vuosiin.

Tulevien tapahtumien suuntaa ei määrää mikään ihmisestä riippumaton tekijä, vaan ainoastaan se, mitä ihmisten korvien välissä tapahtuu.

Mikäli nyt sahaamme poikki oksan, jolla istumme, ihmisen itselleen antama korskea lajinimi *Homo sapiens* on suuresti liioiteltu.

**Jari Koponen**



tämä säteily on aallonpituudeltaan saapunutta säteilyä pidempää. Siksi ilmakehän vesihöyry ja hiilidioksidi imevät sitä itseensä.

Periaate on sama kuin kasvihuoneessa. Lasin läpi tulleesta säteilystä osa muuttuu sisällä pitempiaaltoiseksi. Se ei pääse lasin läpi ulos vaan jää lämmittämään kasvihuoneen sisäpuolta. Tästä nimi kasvihuoneilmiö.

Kasvihuoneilmiön vuoksi maapallon keskilämpötila on pitkään ollut  $+15$  astetta. Jos ilmakehässä ei olisi pitempiaaltoista säteilyä imeviä

hieno saavutus, mutta todennäköisempi on hieman korkeampi lukema. Suomi lämpiää joka tapauksessa enemmän, kahden sijasta neljä astetta ja kolmen sijasta kuusi astetta. Meillä lämpeneminen keskittyy talvikauden.

Jos Pariisin päätökset toteutetaan ja päädytään vielä alempaan tasotavoitteeseen, ilmaston tilanne saadaan vakautettua 2060-luvulla.

”Pariisin kokous oli hyvä alku, mutta tekemistä on vielä paljon.” □

Kirjoittaja on kemisti ja vapaa toimittaja.