

Kasvihuone- ilmion voimistuminen lämmittää ilmasto

Ihmiskunnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen takia maapallon ilmasto on alkanut nopeasti lämmetä. Keskimäärin mallit ennustavat vuosikeskilämpötilan Suomessa nousevan tämän vuosisadan loppuun mennessä viitisen astetta.

Kimmo Ruosteenoja
Tutkija
Ilmatieteen laitos
kimmo.ruosteenoja@fmi.fi

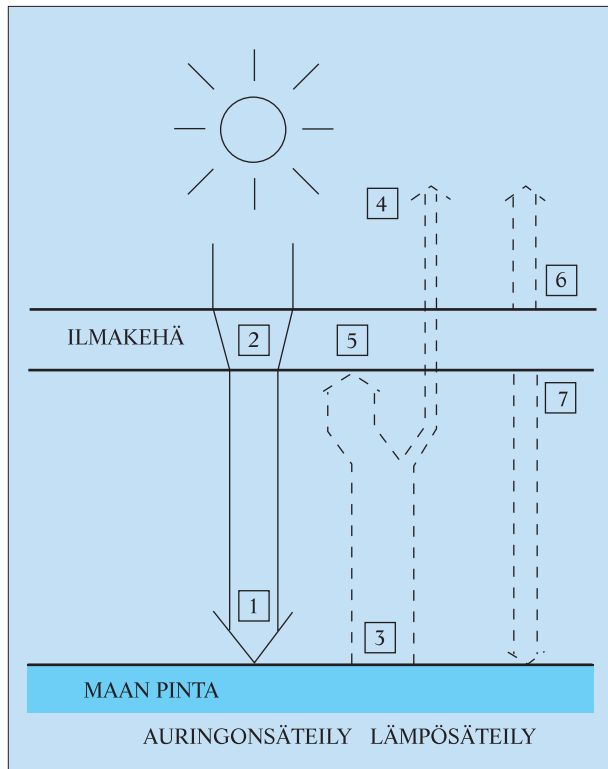
Maapallon ilmakehä läpäisee auringon säteilyä varsin hyvin. Noin puolet maapallolle saapuvasta säteilyenergiasta imeytyy mantereiden ja merien pintakerrokseen ja muuttuu tällöin lämmöksi (kuvio 1). Maapallon pinnan lähettämää, silmin näkymätöntä lämpösäteilyä ilmakehä taas läpäisee varsin huonosti: vain noin kymmenesosa tästä

säteilystä pääsee karkaamaan avaruuteen, ja 90 prosenttia siitä imeytyy ilmakehään. Vastaavasti myös ilmakehä lähettää lämpösäteilyä, josta osa päätyy lämmittämään maan pintaa.

Ilmakehä siis päästää auringon säteilyn suurelta osin lävitseen mutta on maan lähettämälle lämpösäteilylle lähes läpipääsemätön. Tätä ilmakehän omi-

Kuvio 1.

Yksinkertaistettu kaaviokuva auringonsäteilyn ja lämpösäteilyn kulusta maapallon ja ilmakehän muodostamassa järjestelmässä. Pääosa auringon säteilystä imeytyy maan pinnalle (1), pienempi osa myös ilmakehään (2). Maan pinnan lähettämästä lämpösäteilystä (3) vain hyvin pieni osa pääsee etenemään ilmakehän läpi avaruuteen (4), ja valtaosa imeytyy ilmakehään muuttuen takaisin lämpöenergiaksi (5). Myös ilmakehä lähettää lämpösäteilyä, josta osa päätyy avaruuteen (6), osa maan pinnalle (7).



naisuutta kutsutaan *kasvihuoneilmiöksi*. Yksinkertaistaen voidaan ajatella kasvihuoneilmiön tarkoittavan sitä, että ilmakehä toimii ikään kuin lämmön eristeenä maan pinnan ja kylmän avaruuden välillä. Tärkeimmät luonnollista kasvihuoneilmiötä aiheuttavat kaasut ovat vesihöyry ja hiilidioksidi.

Ilman kasvihuoneilmiön olemassaoloa maan pinnan keskimääräinen lämpötila olisi noin -18 astetta, kun todellisuudessa havaittu lämpötila on noin +15 astetta. Ilman kasvihuoneilmiötä ei ympärillämme kuhisevaa monimuotoista elämää siis olisi päässyt kehittymään.

Kohtuus hyvästä, liiallisuus pahasta – tämä pätee myös kasvihuoneilmiöön.

Jäljyn, maakaasun ja kivihiihen käytöstä. Jäljelle jäävä viidennes selittyy maan käytön muutoksilla, etupäässä trooppisten metsien hävittämisellä. Toisaalta lauhkeiden ja viileiden ilmastovyöhykkeiden metsät ovat samanaikaisesti kenneet sitomaan jonkin verran hiilidioksidiä.

Toiseksi tärkein ihmiskunnan tuottama kasvihuonekaasu on *metaani*, jota vapautuu mm. riisiviljelmiltä, märehitijöiden aienevaihduunnasta, vuotavista maaka-

¹ Tässä ppm = tilavuuden miljoonasosa.

Ihmiskunta on viime vuosikymmeninä päästännyt ilmakehään suuria määriä hiilidioksidiä ja muita kasvihuonekaasuja, ja näin ollen kasvihuoneilmiö on koko ajan nopeasti voimistumassa. Tämä kohottaa maapallon keskilämpötilaa, jolloin myös ilmavirtaus-ten ja sateiden jakauma muuttuu.

Kasvihuonekaasut

Tärkein ihmiskunnan ilmakehään lisäämä kasvihuonekaasu on *hiilidioksidi* (Houghton et al. 2001). Sen pitoisuus ilmakehässä oli 1700-luvulla ennen teollista vallankumousta noin 280 ppm, mutta tällä hetkellä se on jo lähes 380 ppm¹. Viime vuosikymmeninä arviolta 75–80 prosenttia hiilidioksidin lisäyksestä on ollut peräisin fossiilisten polttoaineiden kuten öljyn,

Hiilidioksidipäästöt ovat merkittävämpiä kuin kaikki muut kasvihuonepäästöt yhteensä.

suputkista ja eloperäisen jätteen hajo- tessa kaatopaikoilla hapettomissa olo- suhteissa. Metaanin pitoisuus on tällä hetkellä ilmakehässä yli kaksinkertainen verrattuna teollistumista edeltävään aikaan. Metaani hajoaa ilmakehässä auringonvalon vaikutuksesta suhteel- lisen nopeasti; yksittäisen metaanimole- kylylin elinikä on keskimäärin runsaat kymmenen vuotta.

Suuria määriä metaania on sitoutu- neena merien pohjalle ja jäätyneeseen maahan. On esitetty epäilyjä, että val- tamerien veden lämmitessä ja iki- roudan sulaessa osa tästä metaanista voisi vapautua ilmakehään, mikä no- peuttaisi ilmaston lämpenemistä huo- mattavasti. Pääosa sitoutuneesta me- taanista on kuitenkin niin syvällä, et- teivät ainakaan lähivuosisikymmenien il- mastonmuutokset pysty laittamaan sitä liikkeelle. Nykytiedon perusteella on vaikea sanoa, kuinka suuri uhka hau- tautuneesta metaanista voisi koitua tu- levina vuosisatoina.

Muista kasvihuonekaasuista mainit- takoon *typpioksiduuli*, jota syntyy mm. autojen katalyysaattoreissa sekä maata- loudessa liiallisen typpilannoituksen vaikutuksesta. Kasvihuonekaasuina toimivat myös monet klooria ja fluo- ria sisältävät kaasumaiset hiiliyhdisteet, esimerkiksi *freonit*.

Kasvihuoneilmiön voimistajana hii- lidioksidi on kuitenkin tärkeämpi kuin kaikki muut kaasut yhteensä, ja tule- vaisuudessa sen suhteellinen merki- tys näyttäisi yhä vain lisääntyvän. Tämä johtuu sekä suurista päästöistä että tä- män kaasun pitkäikäisyydestä. Tänä

päivänä ilmakehään päässeestä hiilidioksidil- lisästä arvioidaan ole- van jäljellä 150 vuoden päästä vielä yksi kolmas- osa.

Kasvihuonekaasujen lisäksi ihmiset ovat tuot- taneet ilmakehään pie- niä leijuvia hiukkasia.

Näitä hiukkasia syntyy varsinkin rik- kipitoisten polttoaineiden käytön seu- rauksena. Hiukkaset vähentävät maan pinnalle pääsevän auringon säteilyn

määrää ja jarruttavat siten lämpenemistä. Hiukkaset ovat kuitenkin hyvin lyhytikäisiä, sillä sateet huuhtovat niitä koko ajan pois ilmakehästä. Siksi hiukkasten määrä ei tulevaisuudessa enää hirmuisesti kasva, kun taas kasvihuonekaasuja kertyy ilmakehään koko ajan lisää.

Tulevien ilmastomuutosten arvioiminen

Tulevan ilmastomuutoksen rajuus riippuu ratkaisevasti siitä, kuinka korkeiksi hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen pitoisuudet kasvavat. Tämä taas määräytyy tulevista päästöistä, joiden suuruutta emme luonnollisesti voi tietää etukäteen. Sen tähden onkin laadittu joukko erilaisia tulevaisuuden päästöskenaarioita. Kussakin skenaariossa tehdään tiettyjä oletuksia tulevasta väestön ja talouden kehityksestä, energian tuotantotapojen muuttumisesta jne. Näiden skenaarioiden avulla arvioidaan, kuinka kasvihuonekaasujen päästöt kehittyvät. Päästötietojen perusteella voidaan edelleen laskea esimerkiksi hiilidioksidin tulevia pitoisuuksia, kun otetaan huomioon hiilen kierto ilmakehän, valtamerien, kasvipeitteen ja maaperän välillä.

Skenaariot on jaettu kahteen ryhmään (Houghton et al. 2001): kuluksyhteiskuntaskenaariot (A-skenaariot) ja kestäväan kehitykseen tähtäävät skenaariot (B-skenaariot).

A1FI-skenaario kuvaa tulevaisuuden maailmaa, jossa talouskasvu on kaikkialla hyvin nopeaa ja tulevankin energiantuotannon oletetaan perustuvan voittopuolisesti fossiilisten polttoaineiden käyttöön.

A2-skenaariossa teollisuus- ja kehitysmaiden tulo- ja kehityserot säilyvät suurina. Tällöin väestönkasvu jatkuu kehitysmaissa nopeana ja maa-

pallon väkiluku kasvaa räjähdysmäisesti. Koko maapalloa ajatellen taloudellinen kehitys on hitaampaa kuin A1FI-skenaariossa.

B1-skenaariossa teollisuus- ja kehitysmaiden erot tasaantuvat, mikä saa väestönkasvun talttumaan. Kestävä kehitys on arvossaan, ja ympäristölle ystävällisen teknologian kehittäminen ja käyttöönotto on nopeaa. Ongelmiin pyritään etsimään maailmanlaajuisia, koko ihmiskunnan kannalta oikeudenmukaisia ja ympäristölle edullisia ratkaisuja.

B2-skenaariossa pyritään myös ottamaan ympäristönäkökohdat huomioon päätöksenteossa. Nyt kuitenkin eri alueitten kehityserot säilyvät suurina ja väestönkasvu jatkuu, tosin ei yhtä nopeana kuin A2-skenaariossa.

Kuviossa 2 nähdään kutakin skenaariota vastaavat ilmakehän tulevat hiilidioksidipitoisuudet. B1-skenaariota

lukuun ottamatta pitoisuus on selvästi kasvussa vielä v. 2100. A1FI- ja A2-skenaarioissa pitoisuus on tuolloin noussut jo noin kolminkertaiseksi verrattuna teollista vallankumousta edeltäneeseen luonnolliseen tasoon.

Kun on saatu laadittua skenaariot eri kasvihuonekaasujen ja leijuvien hiukkasten tuleville pitoisuuksille, odotettavissa olevia ilmastomuutoksia 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 sekä maaperän lämpö- ja vesitaloudelle. Mallien toimintaperiaatteista on kerrottu tarkemmin esimerkiksi Kuusiston ym. (1996, 53–56) kirjassa.

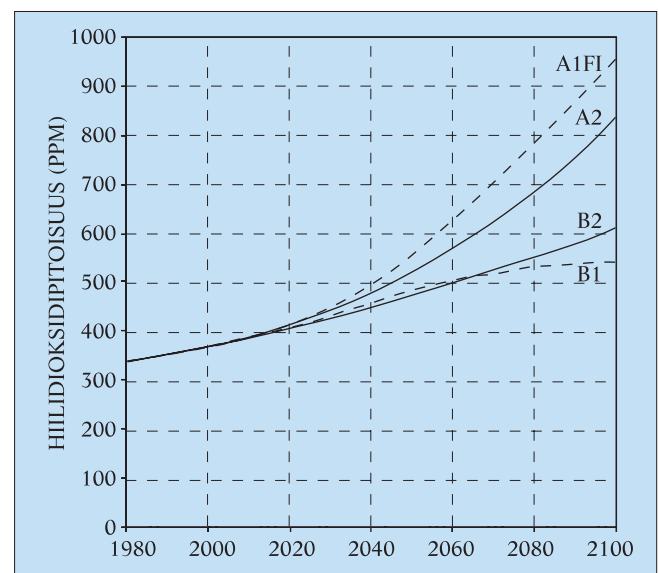
Vaikka ilmastomallit sinänsä ovat puhdasta fysiikkaa, laskentakapasiteetin rajallisuuden vuoksi monet ilmiöt joudutaan kuvaamaan varsin karkeakätisesti. Esimerkki tällaisesta eri malleissa eri tavoin käsitellystä ilmiöstä on pilvien vaikutus auringonsäteilyn kulkuun. Eroavaisuuksien vuoksi ennustetut ilmastomuutoksetkin poikkeavat eri malleissa toisistaan.

Maailmanlaajuiset ilmastomuutokset

Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (Houghton et al. 2001) arvioi maapallon keskilämpötilan nousevan vuoteen 2100 mennessä 1,4–5,8 asteella. Osittain arvion suuri hajonta johtuu kasvihuonekaasujen tulevien pitoisuuksien epävarmuudesta (kuvio 2). Lisäksi eri ilmastomallit tuottavat

On vaikea sanoa, milloin sään ääri-ilmiöt johtuvat ilmaston lämpenemisestä ja milloin ne ovat osa luonnollista vaihtelua.

Kuvio 2. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kehitys neljän ns. SRES-skenaarion mukaan.



Lähde: Houghton et al. (2001).



Kuva: Topi Ylä-Mononen/Kuvaatio.

erilaisia tuloksia, vaikka niitä ajettaessa käytettäisiin samojakin pitoisuus-skenaarioita. Lämpeneminen on voimakkainta korkeilla leveysasteilla talvisin. Merialueet lämpenevät yleensä vähemmän kuin mantereet, sillä veden haihtumiseen sitoutuva lämpöenergia ja meriveden suuri lämmönvarauskyky jarruttavat lämpenemistä.

Veden kiertokulku näyttäisi maapallossa keskimäärin hiukan kiihtyvän. Tämä ei olekaan yllätys, sillä lämmentynyt ilmakehä pystyy sisältämään nykyistä enemmän vesihöyryä. Sateet eivät kuitenkaan lisäännä kaikkialla, vaan varsinkin monilla subtrooppisilla alueilla vettä saataneen nykyistä vähemmän.

Myös monilla sellaisilla alueilla, joilla sademäärä pysyy suunnilleen ennallaan tai jopa hiukan kasvaa, kuivuuden aiheuttamat ongelmat saattavat lisääntyä. Ensinnäkin lämmentyneessä ilmassa vettä haihtuu enemmän, joten entisenlainen sademäärä ei riitä pitämään maaperää kosteana. Toiseksi monilla alueilla sateet näyttäisivät muuttuvan entistä oikullisemmiksi. Esteri vierailisi nykyistä harvemmin, mutta vastavasti sateen sattuessa vettä saataisiin kerralla vuolaammin kuin nykyisessä ilmastossa. Paradoksaalista kyllä näin

sekä tulvien että kuivuuskausien esiintyminen saattaisi yleistyä.

Myrskyjen liikkeiden muutoksista on nykyisen mallitiedon perusteella vaikea sanoa kovin paljoa. Hyvin ilmeistä on, että joillakin alueilla myrskyä tulevaisuudessa nykyistä useammin ja ankaremmin, kun taas toisaalla puhurit harvenisivat. Eri malleilla on kuitenkin hyvin erilainen käsitys siitä, ketkä tästä lotosta selviäisivät voittajina, keitä taas kohtaisi tappio.

Kaiken kaikkiaan erilaisten meteorologisten ääri-ilmiöitten esiintyminen vaihtelee tavattomasti vuodesta toiseen aivan luonnostaan. Siksi esimerkiksi tämän vuoden runsaiden trooppisten hirmumyrskyjen tai Suomen viimevuotisten kesätulvien ei voida osoittaa johtuvan ilmaston muuttumisesta. Poikkeukselliset ilmiöt, joita on esiintynyt vain muutamana kerran sinä aikana kun havainnot on tehty, sopivat huonosti tilastolliseen analyysiin. Toki tällaiset ääri-ilmiöt monessa tapauksessa antavat tuntumaa siitä, mitä tulevaisuus ehkä tuo tullessaan.

Eri mallien mukaan Suomen vuotuinen keskilämpötila nousisi vuoteen 2040 mennessä 2–3 astetta, ja nousu olisi talvella suurempaa kuin kesällä.

Useat mallit ennustavat Golf-virran jonkin verran heikkenevän lähimmän sadan vuoden aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että Pohjois-Atlantilla Islannin eteläpuoleisilla merialueilla lämpötila nousisi vain vähän, kun maailmanlaajuisen lämpenemisen ja lämpimän merivirran heikkenemisen vaikutukset suureksi osaksi kumoaisivat toisensa. Pohjois-Euroopassa kaikki mallit nostavat lämpötiloja selvästi, vaikka ennusteissa merivirran heikkeneminen onkin mukana – pikaista jääkautta ei ole odotettavissa. Tulevina vuosisatoina Golf-virran heikkeneminen saattaa jatkua, eikä pitkällä tähtäimellä virran täydellistä pysähtymistäkään voida sulkea pois laskuista.

Suomen tuleva ilmasto

Ilmatieteen laitoksella on laadittu arvioita siitä, miten Suomen ilmasto muuttuu tämän vuosisadan aikana (Jylhä ym. 2004, Ruosteenoja ym. 2005). Arvioiden pohjana on käytetty kuuden eri ilmastomallin antamia tuloksia. Sopusoinnussa mallien erotuskyvyn kanssa muutokset esitetään tässä koko Suomen yli lasketuina keskiarvoina.

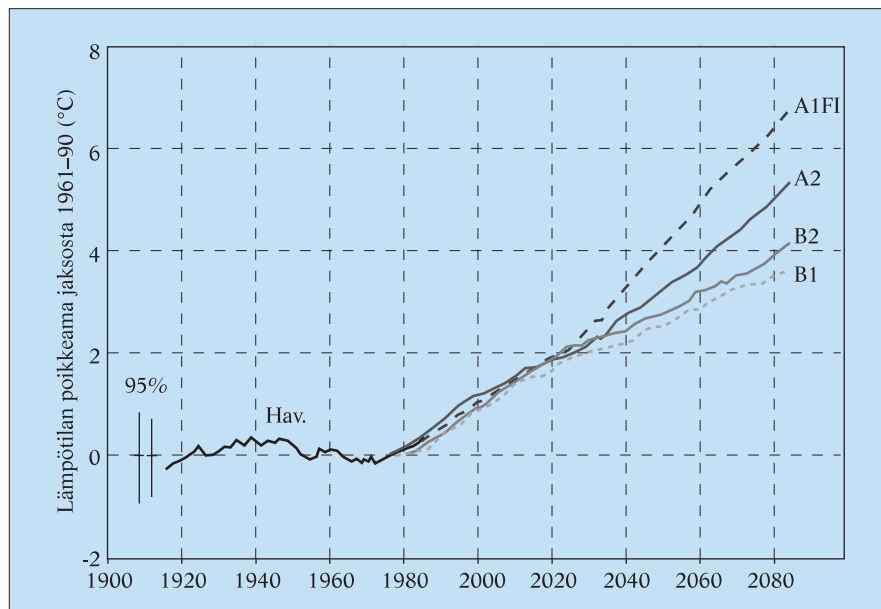
Eri mallien ennusteiden keskiarvoa tarkasteltaessa vuotuinen keskilämpötila näyttää nousevan vuoteen 2040 mennessä 2–3 astetta (kuvio 3). Tässä vaiheessa eri skenaariot antavat vielä hyvin samanlaisia tuloksia. Vuosisadan loppupuolella skenaariot sen sijaan poikkeavat toisistaan jo selvästi.

Optimistisimman päästöskenaarion mukaan lämpeneminen jäisi vajaaseen neljään asteeseen, pessimistisimmän mukaan vuosikeskilämpötila nousisi yli kuusi astetta.

Lämpeneminen ei jakaudu tasaisesti eri vuodenaajoille. A2-skenaarion toteutuessa eri mallien keskiarvona saatu ”paras arvio” lämpötilan nousulle olisi

Kuvio 3.

Suomen vuotuisen keskilämpötilan vaihtelu v. 1915–2085 verrattuna ilmastollisen normaalijakson 1961–1990 keskiarvoon. Ennen 1990-lukua käyrä esittää havaittuja lämpötiloja, siitä eteenpäin kuuden eri ilmastomallin antamien ennusteiden keskiarvoa. Lämpötila-arviot on esitetty erikseen kuvion 2 neljälle ilmastomuutoskenaariolle. Aikasarjat on tasoitettu käyttäen 30 vuoden liukuvaa keskiarvoa.



Lähde: Jylhä ym. (2004).

talvella noin 7 astetta, kesällä vajaa neljä astetta (kuva 4). B1-skenaariossa lämpötilan nousu olisi kolmanneksen verran vähäisempää.

Ennustetut lämpötilojen muutokset eri malleissa poikkeavat kuitenkin aika paljon toisistaan. Tämän havainnollistamiseksi kuvioon 4 on piirretty parhaan arvion ympärille epävarmuushaarakat. Epävarmuushaarakat on tulkittava niin, että käytettyjen kuuden ilmastomallin perusteella lämpeneminen sattuu 90 prosentin todennäköisyydellä janan sisäpuolelle; esimerkiksi A2-skenaariota toteutuessa on noin viiden prosentin todennäköisyys, että lämpeneminen heinäkuussa jää alle kahden asteen, vastaavasti yli 5,3 asteen lämpenemisen todennäköisyys on samaiset viisi prosenttia.

Sademäärien arvioidaan jonkin verran lisääntyvän (kuvio 5), mutta kesällä muutokset olisivat varsin pieniä. Eri mallien antamat sademäärän ennusteet poikkeavat toisistaan enem-

män kuin lämpötilaennusteet. Epävarmuushaarakat alapäässä sademäärät eivät juurikaan muutu, kun taas haarakat yläpäässä voi talvisin sataa jopa puolitoistakertaisesti nykyiseen verrattuna.

Ilmaston lämmetessä lumi tulee maahan entistä myöhemmin ja sulaa keväällä varhemmin. Keskitalven aikaankin lunta olisi entistä vähemmän, Etelä-Suomessa vuosisadan lopulla ehkä vain kolmasosa nykyisestä määrästä. Vaikka lunta välillä sateleekin, satanut lumi yleensä sulaa pian pois. Talvi olisi siis samankaltainen kuin tätä nykyä Keski-Euroopan pohjoisosissa.

Vaikka sademäärät eivät kesäisin keskimäärin juuri muutu, rankimmat saateet näyttävät voimistuvan. Toisaalta maaperä olisi Etelä-Suomessa 20–30 prosenttia nykyistä kuivempi, koska entistä lämpimämmässä ilmastossa vesi haihtuu nopeammin. Tämä luku arvo perustuu tosin vain neljän ilmastomallin tuloksiin.

Ilmastonmuutosten vaikutuksia

Maapallon ilmaston lämmetessä myös valtamerien vesi lämpenee, ja lämpölaajenemisesta johtuen meriveden tilavuus kasvaa. Valtamerien pintaa nostaa myös jäätiköiden sulassa vapautuva vesi. Valtamerien pinnan nousu on hyvin hidasta tapahtuma. Lämpenemisen ulottuminen valtamerien syvänteisiin vie aikaa satoja, jopa tuhansia vuosia. Näin ollen merenpinnan nousu jää lähimmän sadan vuoden aikana ilmeisesti muutama kymmenen senttiin.

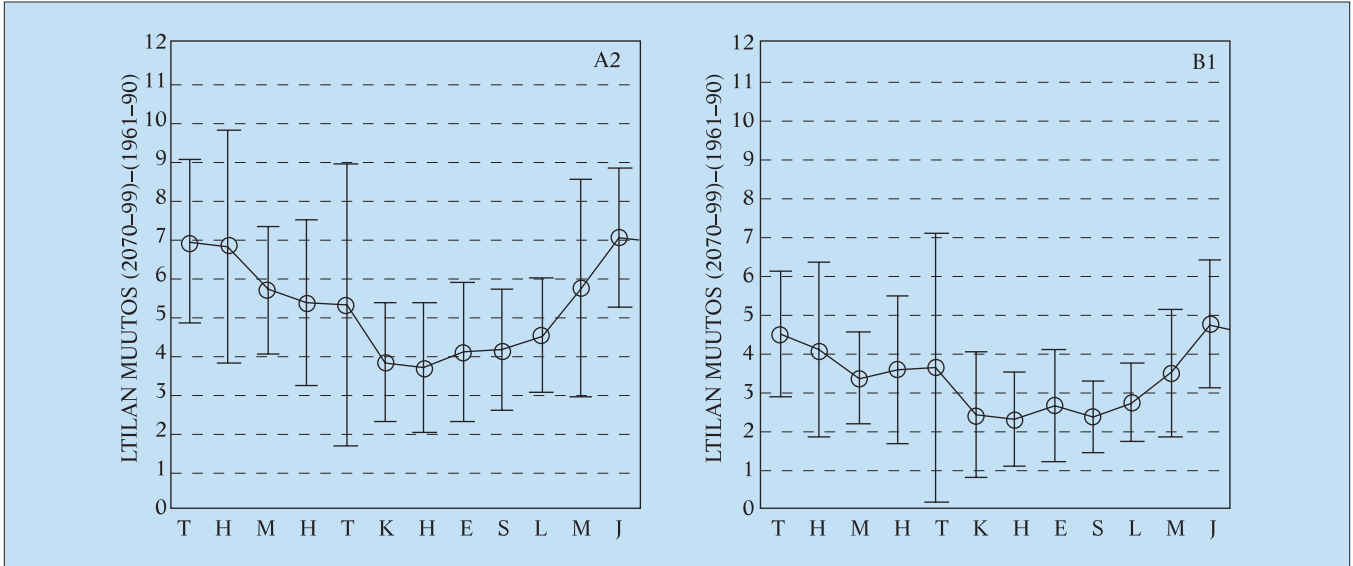
Grönlantia peittävän mannerjäätikön sulaminen vie villeimmissäkin arvioissa aikaa ainakin tuhat vuotta. Etelämantereella lämpötilat ovat niin alhaisia, ettei odotettavissa oleva ilmaston lämpeneminen riitä käynnistämään mannerjäätikön sulamista. Päin vastoin lumisateiden lisääntyminen saattaa liottaa jäätikköä jonkin verran. Etelämantereen länsiosan jäätikkö tosin sijaitsee hyvin alavan maan päällä. On pidetty mahdollisena, että merenpinnan noustessa tarpeeksi siitä saattaa joskus tulevina vuosisatoina lohjeta jäävuoria nykyistä runsaammin; tämä nopeuttaisi meren pinnan nousua edelleen. Tulevan tutkimuksen selvittämiseksi jää, kuinka suuri tämä vaara on.

Ikävämpi puoli asiassa on, että keran käynnistyttyään meren pinnan nousulla on taipumus jatkua tavattoman kauan, vaikka ilmasto ei enää lämpiäisikään lisää. Esimerkiksi mallikokeissa, joissa kasvihuonekaasujen pitoisuudet oli saatu vakiinnutettua 2100-luvun alkupuolella, meren pinta nousi vuoteen 3000 mennessä 2–10 metriä, eikä nousu vielä tuolloinkaan osoittanut mitään pysähtymisen merkkejä (Houghton et al. 2001, 676–677). Tällainen merenpinnan nousu peittäisi alleen valtavia alueita, mm. tiheästi asutuilla alavilla rannikkoalueilla Kiinassa, Bangladeshissä ja Egyptissä.

Suomen tilannetta helpottaa maan kohoaminen jääkauden jäljiltä. Perämeren rannikolla maa kohoaa lähes metrin vuosisadassa, eikä meren tulvimisesta ole pelkoa, vaikka hurjim-

Kuvio 4.

Keskilämpötilojen muutos Suomessa vuoden eri kuukausina siirryttäessä 1900-luvun loppuvuosikymmenistä alkaneen vuosisadan loppuun. Käyrä esittää kuuden eri ilmastomallin ennustamien muutosten keskiarvoa, pystypalkit muutoksen 90 prosentin todennäköisyysväliä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on annettu A2- ja oikeanpuoleisessa B1-skenaariota vastaavat muutokset. Kaikki luvut ovat koko Suomen alueen yli laskettuja keskiarvoja. (Toukokuussa yksi malleista antaa selvästi muista poikkeavia tuloksia, siitä muita kuukausia suurempi epävarmuusarvio.)



matkin skenaariot toteutuisivat. Suomenlahdella maa kohoaa sadassa vuodessa 20–40 cm (Koivula 2003).

Luonto kärsii nopeasta ilmastomuutoksesta. Monien kasvi- ja eläinlajien

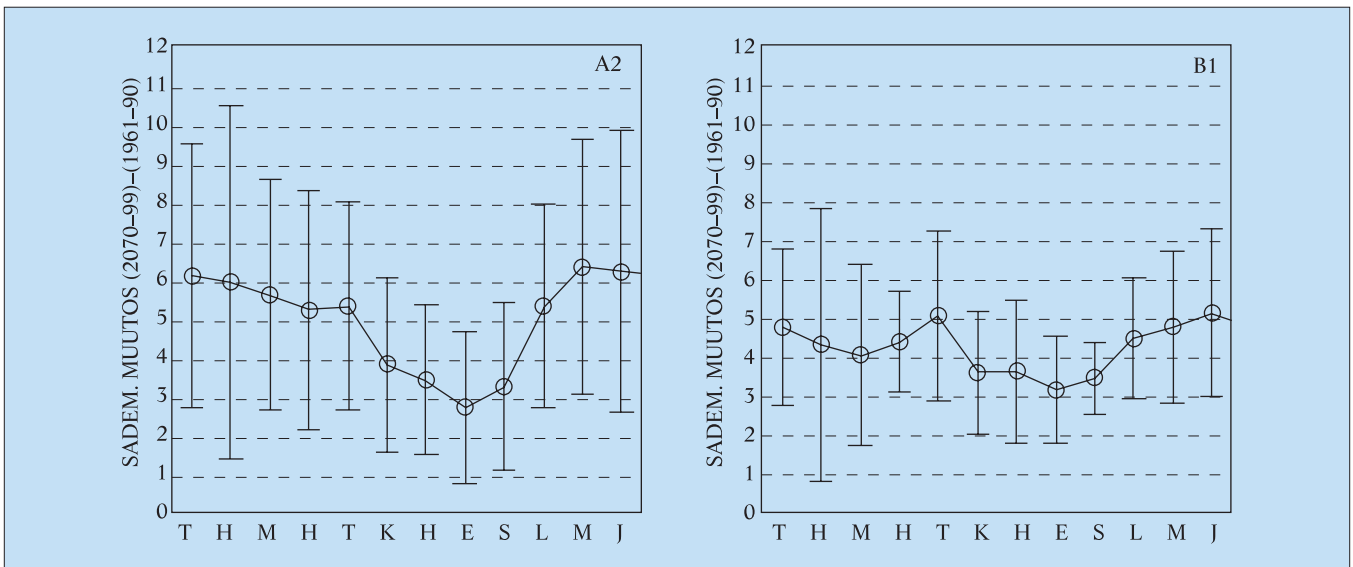
on vaikea löytää itselleen uutta suotuisaa elinympäristöä. Vaikka tällainen elinympäristö olisikin jossain kaukana olemassa, ei sinne siirtyminen välttämättä onnistu, sen verran pieninä pirs-

taleina luonnontilaiset alueet suuressa osassa maapalloa ovat.

Ilmaston muutos vaikeuttaa elintarviketuotantoa suuressa osassa kehitysmaita. Siellä lämpöä on liiankin

Kuvio 5.

Sademäärän prosentuaalinen muutos Suomessa 1900-luvun loppuvuosikymmenistä alkaneen vuosisadan loppuun (ks. kuvion 4 selitystekstiä).



kanssa jo nykyään, ja sadeolojen muuttuminen äärevämmiksi voi lisätä toisaalla kuivuuden, toisaalla tulvien vaaraa, joillakin alueilla jopa molempia. Viileämmillä ilmastovyöhykkeillä sijaitsevien teollisuusmaiden maatalous sen sijaan hyötyy, kun kasvukaudet lämpenevät ja lisääntynyt hiilidioksidi kiihdyttää kasvien elintoi- mintoja. Kylmien alueiden maat hyötyvät myös lämmitysenergian säästymisestä.

Suuri ilmastonmuutoksen tuoma uhka on massiivinen ympäristöpakolaisuus. Monissa jo nykyisin köyhissä ja liikkakansoitetuissa maissa saattaa vuosisatamme jälkipuoliskolla olla satoja miljoonia ihmisiä, jotka ilmaston muuttumisen takia ovat menettäneet elinkeinonsa, rannikkoalueilla jopa kotinsakin. Nämä ihmiset saattavat hyvinkin syyllistää kovasta kohtalostaan ilmaston pilanneita teollisuusmaita. Ilmastonmuutoksesta helpommalla selvinneet Suomen kaltaiset maat tuskin edes teoriassa pystyisivät ottamaan vastaan näin suuria väestömääriä.

Johtopäätöksiä

Vuosisadan lopussa Suomen ilmasto on varsin erilainen kuin tällä hetkellä. Vuoden keskilämpötilan ennustetaan nousevan 4–6 astetta, ja tulevat talvet olisivat nykyistä sateisempia ja lumettomampia. Kesäisin kuivuus vaivaisi keskimäärin nykyistä useammin, mutta ajoittain ongelmana olisivat myös entistä voimakkaammat rankkasateet.

Lähivuosikymmeninä lämpenemisen etenee vääjäämättä, paljon siksi, että aiemat kasvihuonekaasujen päästöt näkyvät lämpötiloissa muutaman kymmenen vuoden viipeellä. Toisaalta päästöihin puuttamalla voidaan vaikuttaa huomattavasti siihen, miten nopeana ilmastonmuutos jatkuu vuosisatamme jälkipuoliskolla. Kuvion 3 käyriä ajas-

Suomen kaltaiset maat näyttäisivät selviävän ilmastonmuutoksesta paremmin kuin monet kehitysmaat.



Kuva: Niklas Sjöblom/Kuvaario.

sa eteenpäin jatkamalla nähdään myös, että A1FI- ja A2-skenaarioissa nopea lämpeneminen näyttäisi jatkuvan vielä vuoden 2100 jälkeenkin, kun taas varsinkin B1-skenaarioissa lämpötilan nousu vähitellen taittuisi.

Eri mallien antamat kvantitatiiviset arviot ilmaston muuttumisen voimakkuudesta poikkeavat vielä valitettavan paljon toisistaan. Korostettakoon, että kuvioiden 4 ja 5 epävarmuusarviot perustuvat *tällä hetkellä* käytössä oleviin ilmastomalleihin. Mallien kehittyessä epävarmuushaarukka toivottavasti vähitellen kapeenee.

Ahtaasti Suomen kannalta ilmaston lämpenemisellä näyttää olevan sekä myönteisiä että kielteisiä vaikutuksia. Kasvukaudet pitenevät ja lämmitysenergiaa säästyy, toisaalta alkuperäinen luonto kärsii, eivätkä pimeät lumettomat talvet liene eduksi kansamme henkisel- lityn hyvinvoinnille. Vielä huolestuttavampaa kuitenkin on, että ilmastonmuutoksen mukanaan tuoma katkeruus ja valta-

vat väestönsiirtopaineet luovat hedelmällisen alustan sodille ja terrorismille. Näistä konflikteista mekään tuskin pystymme pysymään sivussa. ■

KIRJALLISUUS

Houghton, J.T. et al. (eds.) (2001), *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Jylhä, K. & Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. (2004), *Climate Change Projections for Finland During the 21st Century*, Boreal Environment Research, 9(2), 127–152. <http://www.borenav.net/BER/ber92.htm>

Koivula, H. (2003), Maankohoamisen tutkimusta satelliittipaikannuksen avulla, XXI Geofysiikan päivät, Oulu, 22.–25.5.2003, 57–61.

Kuusisto, E. & Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (1996), *Ilmastonmuutos ja Suomi*, Helsinki: Yliopistopaino.

Ruosteenoja, K. & Jylhä, K. & Tuomenvirta, H. (2005), *Climate Scenarios for FINADAPT Studies of Climate Change Adaptation*. Käsikirjoitusvaiheessa oleva raportti.