

**IPCC:n
KOLMAS ARVIOINTIRAPORTTI**

ILMASTONMUUTOS 2001

**Työryhmä I
TIETEELLINEN PERUSTA**

Yhteenvedo päätöksentekijöille

Perustuu luonnokseen, jonka ovat kirjoittaneet:

Daniel L. Albritton, Myles R. Allen, Alfons R. M. Baede, John A. Church, Ulrich Cubasch, Dai Xiaosu, Ding Yihui, Dieter H. Ehhalt, Christopher K. Folland, Filippo Giorgi, Jonathan M. Gregory, David J. Griggs, Jim M. Haywood, Bruce Hewitson, John T. Houghton, Joanna I. House, Michael Hulme, Ivar Isaksen, Victor J. Jaramillo, Achuthan Jayaraman, Catherine A. Johnson, Fortunat Joos, Sylvie Jous-saume, Thomas Karl, David J. Karoly, Haroon S. Kheshgi, Corrine Le Quéré, Kathy Maskell, Luis J. Mata, Bryant J. McAvaney, Mack McFarland, Linda O. Mearns, Gerald A. Meehl, L. Gylvan Meira-Filho, Valentin P. Meleshko, John F. B. Mitchell, Berrien Moore, Richard K. Mugara, Maria Noguer, Buruhani S. Nyenzi, Michael Oppenheimer, Joyce E. Penner, Steven Pollonais, Michael Prather, I. Colin Prentice, Venkatchala Ramaswamy, Armando Ramirez-Rojas, Sarah C. B. Raper, M. Jim Salinger, Robert J. Scholes, Susan Solomon, Thomas F. Stocker, John M. R. Stone, Ronald J. Stouffer, Kevin E. Trenberth, Ming-Xing Wang, Robert T. Watson, Kok S. Yap, John Zillman

with contributions from many authors and reviewers.

Hyväksytty IPCC:n ensimmäisen työryhmän kahdeksannessa kokouksessa
Shanghaissa, Kiinassa 17–20.1.2001

Suomentanut: Raino Heino/Ilmatieteen laitos

Työryhmän raportti kokonaisuudessaan ilmestyy myöhemmin. Englanninkielinen yhteenvedo päätöksentekijöille sisältää monia viittauksia pääraportin eri kohtiin, mutta suomen-noksesta viittaukset on jätetty pois. Kaikki taulukot ja kuvat on sijoitettu suomennoksen loppuun.

Englanninkielisen yhteenvedon verkko-osoite: www.ipcc.ch

26.3.2001

YHTEENVETO PÄÄTÖKSENTEKIJÖILLE

IPCC:n uusimman raportin ilmastotiedettä käsittelevä osa pohjautuu aiempiin raportteihin (1990, 1996), ja kokoaa ilmastomuutoksen¹ uudet tutkimustulokset viimeisimmältä viideltä vuodelta. Sadat tiedemiehet² useista maista ovat osallistuneet sen valmistamiseen ja tarkastamiseen.

Tämä päätöksentekijöille suunnattu yhteenveto, jonka IPCC-työhön osallistuneet hallitukset hyväksyivät Shanghaissa tammikuussa 2001³, kuvaa tämänhetkistä tietoa ilmastosta ja esittää arvioita tulevista ilmastomuutoksista epävarmuuksineen. (Tarkempia yksityiskohtia on täydellisessä raportissa, jonka eri kohtiin on viitattu yhteenveto-osan englanninkielisen version liitteessä).

Entistä useammat havainnot antavat kokonaiskuvan maapallon lämpenemisestä ja muista ilmastomuutoksista.

Uudet tutkimustulokset nykyilmastosta ja paleoklimatologiasta, havaintoaineistojen paremmat analyysit, täsmällisemmät laadunvarmistusmenetelmät, ja eri havaintoaineistojen vertailut ovat huomattavasti parantaneet tietämystä ilmastomuutoksesta IPCC:n edellisen arviointiraportin (SAR⁴) julkistamisen jälkeen.

Maapallon pintalämpötila on noussut 1900-luvulla noin 0.6 asteella.

- Maapallon keskimääräinen pintalämpötila (maanpinnan läheisten ilmakerrosten ja meren pinnan lämpötila) on noussut vuoden 1861 jälkeen. Nousu on ollut 1900-luvun kuluessa $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ^{5 6} (kuva 1a). Tämä arvo on noin 0.15°C suurempi kuin IPCC:n edellisessä arviointiraportissa (SAR) vuoteen 1994 saakka. Se johtuu suhteellisen korkeista lämpötiloista vuosina 1995-2000 ja havaintojen käsittelymenetelmien parantumisesta. Luvut sisältävät erilaisia korjauksia, mm. kaupunkien kasvusta johtuva häiriötekijä on poistettu. Havaintosarja osoittaa suurta vaihtelevuutta, ja esimerkiksi suurin osa 1900-luvun lämpenemisestä tapahtui kahtena jaksona, 1910-1945 ja 1976-2000.

¹ *Ilmastomuutos* viittaa IPCC:n käytössä mihin tahansa ilmaston muuttumiseen ajan myötä joko luonnollisten vaihteluiden tai ihmisen toiminnan seurauksena. Tämä viittaustapa poikkeaa YK:n ilmastosopimuksesta, jossa *ilmastonmuutoksella* tarkoitetaan ilmakehän koostumusta muuttavan ihmisen toiminnan aiheuttamaa suoraa tai epäsuoraa muutosta.

² Tällä raportilla on ollut 122 pääkirjoittajaa ja 516 avustavaa kirjoittajaa. Raportin on lisäksi käynyt läpi 337 ulkopuolista asiantuntijaa ja 21 tarkastajaa.

³ IPCC-työssä mukana olleen 99 valtion edustajat osallistuivat IPCC:n työryhmä I:n kahdeksanteen kokoukseen Shanghaissa 17-20 tammikuuta 2001.

⁴ IPCC:n toisen arviointiraportin (IPCC Second Assessment Report) yhteenveto-osaan viitataan tekstissä lyhenteellä SAR.

⁵ Lämpötilan trendiluvut on yleensä pyöristetty lähimpään 0.05°C :een aikayksikköä kohti. Ko. aikayksiköt riippuvat useissa tapauksissa havaintojen saatavuudesta.

⁶ Tilastollisen merkitsevyyden rajana pidetään yleensä 5 %:a (95 % luotettavuustaso).

- On *todennäköistä*⁷, että 1990-luku oli maailmanlaajuisesti lämpimin vuosikymmen ja vuosi 1998 lämpimin yksittäinen vuosi vuodesta 1861, josta alkaen meteorologisin mittalaittein suoritettuja havaintoja on ollut käytettävissä (kuva 1a).
- Epäsuorien ilmastoindikaattoreiden (ns. proksidata) uudet analyysit osoittavat, että 1900-luvun lämpötilan nousu pohjoisella pallonpuoliskolla on *todennäköisesti* ollut suurin viimeisten 1000 vuoden aikana. On myös *todennäköistä*, että 1990-luku oli pohjoisella pallonpuoliskolla koko vuosituhannen lämpimin vuosikymmen ja vuosi 1998 lämpimin yksittäinen vuosi (kuva 1b). Havaintoaineistojen puutteista johtuen yli 1000 vuoden takaiset ilmasto-olot tunnetaan huonommin, samoin kuin eteläisen pallonpuoliskon ilmasto-olot kokonaisuudessaan ennen vuotta 1861.
- Vuosien 1950 ja 1993 välillä yön minimilämpötilat maa-alueilla ovat keskimäärin nousseet noin 0.2° vuosikymmentä kohti. Tämä on noin kaksi kertaa suurempaa kuin päivän maksimilämpötilojen nousu (0.1°C/vuosikymmen). Tästä johtuen vuoden pakkaseton aika on pidentynyt monilla korkeilla ja keskileveysasteilla. Samana aikana meren pintalämpötilojen nousu on ollut noin puolet keskimääräisestä maa-alueiden pintalämpötilojen noususta.

Neljän viimeisimmän vuosikymmenen aikana lämpötila on noussut ilmakehän alimmassa 8 km kerroksessa.

- 1950-luvun jälkipuolelta, josta lähtien on ollut riittävästi sääpallohavaintoja, maapallon keskilämpötila on noussut ilmakehän alimmassa 8 km kerroksessa ja maanpinnalla samalla nopeudella (0.1°C/vuosikymmen).
- Vuodesta 1979 lähtien on ollut käytettävissä satelliittihavaintoja. Sekä satelliitti- että sääpallohavainnot osoittavat maapallon alimman 8 km ilmakehän keskilämpötilan nousseen $+0.05 \pm 0.10^\circ\text{C}$ vuosikymmentä kohti, kun taas pintalämpötilat ovat nousseet $+0.15 \pm 0.10^\circ\text{C}$ vuosikymmentä kohti. Tämä lämpenemisen nopeuden ero on tilastollisesti merkitsevä, ja syntyy pääosin trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla.
- Ilmakehän alimpaan 8 km kerrokseen ja maanpintaan vaikuttavat eri tekijät kuten esim. stratosfäärin otsonikerroksen ohentuminen, ilmakehän aerosolit ja El Niño-ilmiö. Fysikaalisesti on näin ollen oletettavissa, että lyhyenä aikana (esim. 20 vuotta) lämpötilan trendeissä on eroja. Lisäksi havaintojen käsittelyn alueelliset erot voivat myös selittää joitakin eroja, mutta näitä asioita ei ole vielä täysin kyetty selvittämään.

Lumipeite ja jään laajuus ovat pienentyneet.

- Satelliittihavainnot osoittavat, että lumipeite on *todennäköisesti* vähentynyt 1960-luvun jälkeen. Pintahavainnot puolestaan osoittavat, että järvien ja jokien jääpeitteen vuotuinen kesto-aika on korkeilla ja keskileveysasteilla lyhentynyt *todennäköisesti* noin kahdella viikolla 1900-luvun kuluessa.
- Vuoristojäätiköt ovat 1900-luvun kuluessa vetäytyneet laajoilla alueilla napa-alueen ulkopuolella.
- Pohjoisen pallonpuoliskon merijään peittämä alue on pienentynyt 1950-lukuun verrattuna keväisin ja kesäisin noin 10-15 %. On *todennäköistä*, että pohjoisen napa-

⁷ Tässä yhteenveto-osassa käytetään seuraavia sanoja osoittamaan luotettavuusarvioita (tekstissä kursivilla): *käytännöllisesti katsoen varma* (suurempi kuin 99%:n mahdollisuus että tulos on oikea), *hyvin todennäköinen* (90-99%), *todennäköinen* (66-90%), *keskimääräinen todennäköisyys* (33-66%), *epätodennäköinen* (10-33%), *hyvin epätodennäköinen* (1-10%), *poikkeuksellisen epätodennäköinen* (alle 1%).

alueen merijään paksuus on viime vuosikymmeninä vähentynyt myöhäiskesän ja alkusyksyn aikana, kun taas talven aikana muutos on ollut vähäisempää.

Maapallon keskimääräinen merenpinnan taso on noussut ja valtamerien lämpösisältö kasvanut.

- Maapallon merenpinnan taso on noussut keskimäärin 0.1 - 0.2 metrillä 1900-luvulla.
- Valtamerien lämpösisältö on maailmanlaajuisesti kasvanut vähän 1950-luvun lopulta, josta lähtien on käytettävissä riittävästi havaintoja syvemmmältä meristä.

Muutoksia on havaittu myös muissa tärkeissä ilmastotekijöissä.

- On *erittäin todennäköistä*, että sademäärä on 1900-luvun kuluessa lisääntynyt 0.5 - 1 % vuosikymmentä kohti suurimmassa osassa pohjoisen pallonpuoliskon korkeita ja keskileveysasteita. On *todennäköistä*, että sademäärä on lisääntynyt 0.2 - 0.3 % vuosikymmentä kohti trooppisilla (10°N - 10°S) maa-alueilla. Trooppiin alueiden sademäärien lisääntymistä ei ole kuitenkaan tapahtunut viime vuosikymmeninä. On myös *todennäköistä*, että sademäärä on 1900-luvun kuluessa vähentynyt suuressa osassa pohjoisen pallonpuoliskon subtrooppisia (10°N - 30°N) maa-alueita noin 0.3 % vuosikymmentä kohti. Päinvastoin kuin pohjoisella pallonpuoliskolla vastaavia sademäärän systemaattisia muutoksia ei ole havaittu eteläisellä pallonpuoliskolla. Merillä havaintoja ei ole riittävästi sateen trendien arvioimiseksi.
- On *todennäköistä*, että pohjoisen pallonpuoliskon korkeilla ja keskileveysasteilla on tapahtunut 1900-luvun kuluessa 2-4 % lisäys voimakkaiden sateiden esiintymisessä. Tämä voi johtua useista syistä, esim. muutoksista ilmakehän kosteudessa sekä ukkosaktiivisuuden ja suuren mittakaavan myrskyjen muutoksista.
- On *todennäköistä*, että korkeilla ja keskileveysasteilla on 1900-luvun kuluessa tapahtunut pilvisyyden lisääntymistä 2%:lla. Useimmilla alueilla tämä trendi sopii hyvin yhteen lämpötilan vuorokausivaihtelun havaitun pienenemisen kanssa.
- On *erittäin todennäköistä*, että hyvin alhaisten lämpötilojen esiintyminen on vähentynyt vuodesta 1950 lähtien, kun taas hyvin korkeiden lämpötilojen lisääntyminen ei ole niin selvää.
- El Niño – eteläinen värähtely (ENSO) –ilmiö vaikuttaa pysyvästi alueellisiin sademäärän ja lämpötilan vaihteluihin suuressa osassa troppiikka, subtropiikka ja osissa keskileveysasteiden alueita. Sen lämpimät jaksot ovat olleet 1970-luvulta lähtien lukuisampia, pysyvämpiä ja voimakkaampia verrattuna edellisiin 100 vuoteen.
- 1900-luvun kuluessa (1900-1995) maapallon maa-alueiden pahat kuivuus- tai tulvatilanteet ovat jonkin verran lisääntyneet. Näihin tapahtumiin vaikuttavat monilla alueilla vuosikymmenien aikaskaalassa tapahtuva ilmastollisten olojen vaihtelevaisuus kuten esim. ENSO:n lämpimämpien jaksojen yleistyminen.
- Eräillä alueilla kuten esim. osissa Aasiaa ja Afrikkaa kuivuudet ovat viime vuosikymmeninä yleistyneet ja voimistuneet.

Eräät tärkeät ilmastotekijät eivät ole muuttuneet.

- Eräillä maapallon alueilla (lähinnä eteläisen pallonpuoliskon merialueet ja eräät osat Etelämannerta) ei ole viime vuosikymmeninä havaittu lämpenemistä.
- Etelämantereen merijään laajuudessa ei ole havaittu merkittäviä muutoksia vuodesta 1978, josta lähtien on ollut käytettävissä luotettavia satelliittimittauksia.
- Trooppisten ja trooppiin ulkopuolisten myrskyjen voimakkuus ja yleisyys vaihtelevat vuosikymmenien aikajaksoissa, mutta mitään merkittäviä trendejä ei ole havaittu

1900-luvun kuluessa. Myrskyjen aktiivisuutta koskevat ristiriitaiset analyysit vaikeuttavat lopullisten johtopäätösten tekoa, erityisesti tropiikin ulkopuolisilla alueilla.

- Tornadojen sekä ukkos- ja raemyrskyjen määrissä ei ole havaittu systemaattisia muutoksia niillä alueilla, joista tutkimustietoa on käytettävissä.

Ihmisen toiminnasta peräisin olevien kasvihuonekaasujen ja aerosolien päästöt muuttavat edelleen ilmakehää tavalla, jonka odotetaan vaikuttavan ilmastoon.

Ilmaston muutokset johtuvat sekä ilmastosysteemin sisäisestä vaihtelevaisuudesta että ulkoisista tekijöistä (luonnolliset ja ihmisen aiheuttamat). Ulkoisten tekijöiden vaikutusta voidaan laajasti ottaen arvioida säteilypakote-käsitteen⁸ avulla. Positiivinen säteilypakote (kuten esim. kasvihuonekaasujen lisääntyvät pitoisuudet) lämmittää maapallon pintaa. Negatiivinen säteilypakote (kuten esim. tiettyntyyppisten aerosolien eli mikro-koopin pienten partikkelien lisääntyminen) puolestaan viilentää pintaa. Luonnolliset tekijät (kuten esim. Auringon säteilyn vaihtelu ja tulivuorien toiminta) voivat myös vaikuttaa säteilypakotteeseen. Kaikkien näiden vaikuttavien tekijöiden ajan kuluessa tapahtuvien muutosten tuntemus (vrt. kuva 2) on tarpeen, jotta voimme ymmärtää ilmaston menneitä muutoksia ja pystyä arvioimaan muutoksia tulevaisuudessa. Kuva 3 osoittaa tämänhetkistä säteilypakotetta, joka johtuu ilmakehän koostumuksen muutoksista ja muista tekijöistä.

Ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuudet ja niiden säteilypakote ovat jatkaneet nousuaan ihmistoiminnan seurauksena.

- Ilmakehän hiilidioksidin (CO₂) pitoisuus on noussut 31 % vuodesta 1750. Nykyistä CO₂-pitoisuutta ei ole ylitetty viimeksi kuluneen 420000 vuoden aikana ja *todennäköisesti* ei edes viimeksi kuluneen 20 miljoonan vuoden aikana. Nykyinen nousunopeus on ennen kokematon ainakin viimeisimmän 20000 vuoden kuluessa.
- Noin 75 % ihmiskunnan CO₂-päästöistä viimeksi kuluneina 20 vuotena on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Muu osa on pääosin peräisin maankäytön muutoksista, erityisesti metsien raivauksesta.
- Nykyisellään valtameret ja maa-alueet pystyvät yhteensä sitomaan noin puolet ihmiskunnan CO₂-päästöistä. Maa-alueilla CO₂:n sitoutuminen on 1990-luvulla *erittäin todennäköisesti* ylittänyt metsien raivauksesta johtuvan CO₂:n vapautumisen.
- Ilmakehän CO₂-pitoisuuden nousuvauhti on viime vuosikymmeninä ollut 1.5 ppm⁹ eli 0.4 % vuodessa. 1990-luvulla vuotuinen lisääntyminen on vaihdellut välillä 0.9 ppm (0.2 %) ja 2.8 ppm (0.8 %). Suuri osa tästä vaihtelevaisuudesta johtuu ilmaston vaihtelevuuden (esim. El Niño-vaiheet) vaikutuksesta CO₂:n sitoutumiseen ja vapautumiseen maa- ja merialueilla.
- Metaanin (CH₄) pitoisuus ilmakehässä on lisääntynyt 1060 ppb (151 %) vuodesta 1970 ja lisääntyminen jatkuu. Nykyistä CH₄-pitoisuutta ei ole myöskään ylitetty viimeisimpien 420000 vuoden aikana. CH₄-pitoisuuksien kasvu on hidastunut ja tullut 1990-luvulla vaihtelevammaksi 1980-lukuun verrattuna. Hieman yli puolet nykyisistä metaanipäästöistä on ihmisen aiheuttamaa (esim. fossiilisten polttoainei-

⁸ Kaasujen lämmitysvaiikutusta voidaan kuvata sen muutoksen avulla, jonka niiden pitoisuuksien kasvu aiheuttaa maapallon energiataseessa vähentäessään avaruuteen suuntautuvaa säteilyä. Tästä taseen muutoksesta käytetään nimitystä säteilypakote. Se ilmaistaan yleensä tehona pinta-alayksikköä kohti (Wm⁻²).

⁹ ppm (miljoonasosa tilavuudesta) tai ppb (miljardisosa tilavuudesta) osoittavat kasvihuonekaasujen molekyylien määrää kuivan ilman molekyylien kokonaismäärästä. Esim. 300 ppm tarkoittaa 300 kasvihuonekaasun molekyyliä kuivan ilman miljoonaa molekyyliä kohti.

den käyttö, karjatalous, riisin viljely ja kaatopaikat). Hiilimonoksidin (CO) päästöjen on viime aikoina myös todettu aiheuttaneen CH₄-pitoisuuksien kasvua.

- Dityppioksidin (N₂O) pitoisuus ilmakehässä on kasvanut 46 ppb (17 %) vuodesta 1750, ja nousu jatkuu edelleen. Nykyistä N₂O-pitoisuutta ei ole ylitetty ainakaan menneinä tuhansina vuosina. Noin puolet nykyisistä N₂O-päästöistä on ihmisen aiheuttamaa (esim. maanviljelysmaat, karjanruoka, kemian teollisuus).
- Useiden halogeeniyhdisteiden (samalla sekä otsonikerrosta tuhoavia että kasvihuonekaasuja, esim. CFCl₃ ja CF₂Cl₂) pitoisuudet ilmakehässä ovat joko kasvaneet entistä hitaammin tai jopa kääntyneet laskuun vuodesta 1995. Tämä on ollut seurauksena Montrealin sopimuksesta ja sen liitännäissopimuksista. Ko. kaasuja korvaavat aineet (esim. CHF₂Cl ja CF₃CH₂F) sekä eräät muut synteettiset komponentit (esim. PFC ja SF₆) ovat myös kasvihuonekaasuja, ja niiden pitoisuudet ovat nykyään nousussa.
- Ilmakehään hyvin sekoittuneiden kasvihuonekaasujen aiheuttama säteilypakotteen lisäys vuodesta 1950 vuoteen 2000 on arviolta 2.43 Wm⁻², josta CO₂:n osuus on 1.46 Wm⁻², CH₄:n osuus 0.48 Wm⁻², N₂O:n osuus 0.15 Wm⁻² ja halogeeniyhdisteiden osuus 0.34 Wm⁻² (vrt. [kuvaa 3](#), missä on esitetty myös epävarmuudet).
- Stratosfäärin otsonin (O₃) vuosina 1979-2000 tapahtuneen vähenemisen on arvioitu aiheuttaneen negatiivisen säteilypakotteen (-0.15 Wm⁻²). Jos oletetaan, että halogeeniyhdisteiden nykyisiä rajoituksia noudatettaisiin täydellisesti, niin niiden positiivinen pakote vähenee, kuten myös stratosfäärin otsonin vähenemisen aiheuttama negatiivinen pakote ilmakehän otsonikerroksen elpymässä vuoteen 2100 mennessä.
- Troposfäärin otsonin kokonaismäärän on arvioitu lisääntyneen 36 % vuodesta 1750 johtuen pääasiassa eräistä ihmistoiminnasta peräisin olevista epäpuhtauksien päästöistä, jotka puolestaan synnyttävät otsonia. Tämä vastaa 0.35 Wm⁻² positiivista säteilypakotetta. Otsonin aiheuttama säteilypakote vaihtelee huomattavasti alueittain ja reagoi nopeammin päästöihin kuin pitkäikäiset kasvihuonekaasut (kuten CO₂).

Ihmisen toiminnasta syntyvät aerosolit ovat lyhytikäisiä ja niillä on enimmäkseen negatiivinen säteilypakote.

- Ihmisen toiminnasta peräisin olevien aerosolien lähteitä ovat fossiiliset polttoaineet ja biomassan poltto. Nämä lähteet vaikuttavat myös ilman epäpuhtauksiin ja happamiin laskeumiin.
- IPCC:n toisen arviointiraportin jälkeen on saavutettu merkittävää edistystä erityyppisten aerosolien säteilyominaisuuksien ymmärtämisessä. Suoran säteilypakotteen on arvioitu olevan -0.4 Wm⁻² sulfaateille, -0.2 Wm⁻² biomassan poltosta peräisin oleville aerosoleille, -0.1 Wm⁻² fossiilisten polttoaineiden orgaaniselle hiellelle ja +0.2 Wm⁻² fossiilisten polttoaineiden nokiaerosoleille. Kasvihuonekaasuihin verrattuna aerosolien suoraa vaikutusta ja sen muutoksia on paljon epävarmempi arvioida. Aerosolit vaihtelevat huomattavasti myös alueittain ja reagoivat nopeasti päästöissä tapahtuviin muutoksiin.
- Suoran säteilypakotteen lisäksi aerosoleilla on epäsuora säteilypakote pilvien muodostumisen kautta. Nykyään on yhä enemmän todistusaineistoa tämän tekijän negatiivisuudesta, vaikkakin sen suuruus on edelleen epävarma.

Luonnollisilla tekijöillä on ollut vähän osuutta säteilypakotteeseen viimeksi kuluneen sadan vuoden aikana.

- Auringon säteilyn muutoksista johtuvan säteilypakotteen on vuodesta 1750 lähtien arvioitu olleen noin +0.3 Wm⁻², josta suurin osa on 1900-luvun alkupuoliskolta. 1970-luvun lopulta lähtien satelliittimittaukset ovat osoittaneet vähäistä 11-vuotisen

aurionpilkkujakson mukaista heilahtelua. Auringon aiheuttaman säteilypakotteen on esitetty muuttuneen, mutta sekä teoreettisen tiedon että havaintojen puute estää pitemmälle menevät johtopäätökset.

- Tulivuorten purkauksista stratosfääriin joutuvat aerosolit aiheuttavat negatiivisen säteilypakotteen, joka kestää yleensä muutamia vuosia. Useita suuria tulivuorten purkauksia sattui vuosina 1880-1920 ja 1960-1991.
- Kahdesta pääasiallisesta luonnollisesta säteilypakotteen aiheuttajasta (Auringon säteily ja vulkaaniset aerosolit) johtuvan yhdistetyn säteilypakotteen on arvioitu olleen negatiivisen viimeisten 20-30 vuoden aikana.

Luottamus mallien kykyyn ilmentää tulevia ilmaston muutoksia on kasvanut.

Monimutkaisia fysikaalisia ilmastomalleja tarvitaan tuottamaan yksityiskohtaisia arvioita ilmastollisista palautemekanismeista ja muutosten alueellisesta jakautumisesta. Tällaisilla malleilla ei kuitenkaan vielä voida simuloida ilmaston kaikkia piirteitä. Esimerkiksi maanpinnan ja troposfääriin välisiä lämpötilan eroja vuodesta 1979 ei voida täysin selittää mallien avulla. Epävarmuutta on myös pilvisyyden arvioinnissa ja sen kytkemisessä säteilyyn ja aerosoleihin. Luottamus mallien kykyyn tuottaa käyttökelpoisia ilmastomuutosten ajallisia ja alueellisia projektioita on joka tapauksessa parantunut.

- Ilmastollisten prosessien ymmärtäminen (ml. vesihöyry, merijään dynamiikka ja valtameren lämmönkuljetus), ja niiden kytkeminen ilmastomalleihin on parantunut.
- Eräät viimeaikaiset malliajot ovat tuottaneet tyydyttäviä nykyisten ilmasto-olojen simulaatioita ilman ei-fysikaalisia lämpö- ja vesihöyryvirtausten korjauksia, joita on käytetty aiemmissa malleissa.
- Mallisimulaatiot, jotka sisältävät arviot luonnollisista ja ihmistoiminnan aiheuttamista pakotteista, pystyvät aikaansaamaan havaitut laaja-alaiset muutokset maanpinnan lämpötiloissa 1900-luvun kuluessa (kuva 4). Malleissa ei ehkä ole otettu riittävästi huomioon kaikkia prosesseja ja pakotteita. Joka tapauksessa laajamittaista yhteensopivuutta mallien ja havaintojen välillä voidaan käyttää hyväksi kun arvioidaan riippumattomasti lämpenemisen voimakkuutta tulevana vuosikymmeninä tiettyjen päästöskenaarioiden tapauksissa.
- Ilmastomallien kyky simuloida ENSO-ilmiön, monsuunien ja Pohjoisen Atlantin värähtelyn (NAO) eräitä piirteitä sekä menneen ilmaston jaksoja on parantunut.

Uusi ja entistä vahvempi todistusaineisto osoittaa pääosan havaitusta lämpenemisestä viimeisten 50 vuoden aikana johtuvan ihmisen toimista.

IPCC:n toisessa arviointiraportissa (SAR) todettiin, että käytettävissä olevan tiedon pohjalta ihmisen vaikutus maapallon ilmastoon oli havaittavissa. Raportissa todettiin myös, että ihmistoiminnasta johtuva ilmastovaikutus oli jo erottumassa ilmaston luonnollisen vaihtelevaisuuden "kohinasta". Tämän jälkeen on tapahtunut edistystä epävarmuuden vähentämisessä, ja erityisesti ulkoisten ilmastotekijöiden vaikutusten erottamisessa ja niiden suuruuden määrittämisessä. Vaikka kaikkia edellisessä arviointiraportissa esitettyjä epävarmuustekijöitä ei ole vielä ratkaistu, niin uusi tieto ja asioiden parempi ymmärtäminen tukevat uusien johtopäätösten tekoa.

- Käytettävissä on pidempiä ja entistä paremmin käsiteltyjä lämpötilasarjoja sekä uusia mallituloksia ilmaston vaihtelevaisuudesta. Nykyisten malliajojen perusteella on *hyvin epätodennäköistä*, että viimeisten 100 vuoden aikana tapahtunut lämpeneminen johtuisi vain luonnollisesta ilmaston vaihtelevaisuudesta. Viimeisten 1000 vuoden lämpötilojen konstruointi (kuva 1b) osoittaa lisäksi, että lämpeneminen on ollut epätavallisen suurta eikä *todennäköisesti* kokonaan luonnollista.
- Käytettävissä on uusia arvioita ilmaston muutoksen luonnollisista ja ihmisen aiheuttamista tekijöistä, ja käytössä on lisäksi uusia tutkintamenetelmiä. Nämä tuovat kiistatta esille todistusaineistoa ihmisen aiheuttamasta muutoksesta viimeisimpien 35-50 vuoden aikana.
- Luonnolliset tekijät (Auringon säteily ja tulivuoritoiminta) eivät mallilaskelmissa yksin selitä 1900-luvun jälkipuoliskon lämpenemistä (vrt. kuva 4a), mutta niiden voidaan katsoa merkittävästi vaikuttaneen 1900-luvun alkupuolen muutoksiin.
- Ihmistoiminnasta johtuva lämpeneminen viimeisten 50 vuoden aikana voidaan erottaa, vaikkakin aerosolien ja luonnollisten tekijöiden (Auringon säteily ja tulivuoritoiminta) kohdalla on joitakin epäselvyyksiä. Aerosolien aiheuttama pakote on kaikista epävarmuuksista huolimatta negatiivinen ko. jaksolla, eikä se näin ollen voi selittää lämpenemistä. Luonnollisten tekijöiden aiheuttaman pakotteen on myös arvioitu olleen ko. jaksolla negatiivisen, eikä sekään *todennäköisesti* selitä lämpenemistä.
- Useimmat tutkimukset osoittavat, että viimeisten 50 vuoden aikana lisääntyneistä kasvihuonekaasujen pitoisuuksista johtuva lämpenemisen suuruus ja nopeus on verrattavissa vähintäänkin havaittuun lämpenemiseen.
- Mallilaskelmien ja havaintojen paras yhteensopivuus viimeisten 140 vuoden aikana saadaan yhdistämällä ihmisestä johtuvat ja luonnolliset pakotetekijät (kuva 4c). Nämä tulokset osoittavat, että ko. pakotteet selittävät havaitut muutokset riittäväällä tavalla, mutta eivät kuitenkaan sulje pois sitä mahdollisuutta, että muillakin tekijöillä olisi osuutta.

Uuden todistusaineiston valossa, ja ottaen huomioon mahdolliset epävarmuustekijät, suurin osa viimeisten 50 vuoden aikana tapahtuneesta lämpenemisestä johtuu *todennäköisesti* lisääntyvistä kasvihuonekaasujen pitoisuuksista ilmakehässä.

On edelleen *hyvin todennäköistä*, että 1900-luvun lämpimyys on vaikuttanut merkittävästi havaittuun merenpinnan nousuun meriveden lämpölaajenemisen ja jäätiköiden sulamisen myötä. Nykyisten epävarmuuksien vallitessa sekä mallit että havainnot eivät kuitenkaan pysty osoittamaan merenpinnan nousun merkittävää kiihtymistä 1900-luvun kuluessa.

Ihmistoiminnasta johtuva ilmakehän koostumuksen muutos jatkuu 21. vuosisadan kuluessa.

Malleja on käytetty arvioimaan tulevia kasvihuonekaasujen pitoisuuksia ja aerosolien määriä ilmakehässä, ja niiden pohjalta tulevaisuuden ilmastoja. Tämän työn pohjana ovat olleet IPCC:n uudet skenaariot (Special Report on Emission Scenarios, SRES, vrt. kuva 5). Ko. skenaariot kehitettiin edellisen IPCC:n arviointiraportin (SAR) pohjana olleista skenaarioista (IS92), joita on myös esitetty vertailun vuoksi.

Kasvihuonekaasut

- Fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvat CO₂-päästöt vaikuttavat *käytännöllisesti katsoen varmasti* ilmakehän CO₂-pitoisuuksien trendeihin 21.vuosisadalla.
- Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden noustessa meri ja maa sitovat yhä pienenevän osan ihmiskunnan CO₂-päästöistä. Meren ja maan ilmastopalautteen nettoefekti aiheuttaa mallien mukaan tulevien CO₂-pitoisuuksien voimakkaampaa kasvua, koska sekä meren että maan CO₂:n sitomiskyky vähenee.
- Hiilen kiertomallit ennakoivat ilmakehän CO₂-pitoisuuksien kasvua IPCC-skenaarioiden (SRES) mukaisesti vuoteen 2100 mennessä 540 – 970 ppm:ään (90-250 % vuoden 1750 esiteollisen ajan pitoisuuden 280 ppm yläpuolella), vrt. [kuva 5b](#). Nämä laskelmat sisältävät sekä meren että maan palautteet. Lähinnä maanpäällisen biosfäärin palautteista johtuva epävarmuus aiheuttaa lisäksi noin -10 - +30 % vaihtelun kunkin skenaarion kohdalla. Kokonaisvaihteluväli on 490 – 1260 ppm (75-350 % vuoden 1750 pitoisuuden yläpuolella).
- Maankäytön muutokset voivat vaikuttaa ilmakehän CO₂-pitoisuuteen. Jos kaikki vuosisadan kuluessa maankäytön seurauksena ilmakehään vapautunut hiili saataisiin sidotuksi maa-biosfääriin vuosisadan kuluessa (esim. metsittämällä), CO₂-pitoisuus ilmakehässä vähenisi (teoriassa) 40-70 ppm:llä.
- Muiden kasvihuonekaasujen pitoisuudet vuoteen 2100 mennessä vaihtelevat mallilaskelmien mukaan huomattavasti kaikissa SRES-skenaarioissa. CH₄-pitoisuus muuttuisi välillä -190 – +1970 ppb (nykypitoisuus 1760 ppb), N₂O-pitoisuus välillä +38 – +144 ppb (nykypitoisuus 316 ppb), troposfäärin kokonaisotsonin pitoisuus välillä -12 – +62 %, ja myös HFC:n, PFC:n ja SF₆:n pitoisuudet vaihtelisivat laajoissa rajoissa vuoteen 2000 verrattuna. Joissakin skenaarioissa troposfäärin otsonista tulisi yhtä keskeinen tekijä kuin metaanista, ja se uhkaisi suuressa osassa pohjoista pallonpuoliskoa jo saavutettuja ilmanlaadun tavoitteita.
- Kasvihuonekaasujen ja niihin vaikuttavien muiden kaasujen päästövähennykset olisivat välttämättömiä, jotta säteilypakote saataisiin vakautetuksi. Tärkeimmän ihmisperäisen kasvihuonekaasun CO₂:n osalta hiilenkiertomallit osoittavat, että ilmakehän CO₂-pitoisuuden vakauttaminen 450, 600 tai 1000 ppm:n tasolle edellyttäisi ihmiskunnan CO₂-päästöjen pudottamista maailmanlaajuisesti alle vuoden 1990 tason muutamassa vuosikymmenessä (450 ppm), noin sadassa vuodessa (600 ppm) tai noin 200 vuodessa (1000 ppm). Tämän jälkeen päästöjen pitäisi edelleen laskea taasisesti. CO₂-päästöjen tulisi lopulta vähentyä pieneen osaan nykyisistä päästöistä.

Aerosolit

- SRES-skenaariot sisältävät mahdollisuuden ihmistoiminnasta johtuvien aerosolien (esim. sulfaattiaerosolit ([kuva 5c](#)), biomassa-aerosolit, mustat ja orgaaniset hiiliaerosolit) lisääntymiseen tai vähentymiseen riippuen fossiilisten polttoaineiden käytön määrästä ja saastepäästöjen rajoituspolitiikasta. Luonnollisten aerosolien (esim. merisuola, pöly sekä päästöt, jotka johtavat sulfaatti- tai hiiliaerosolien muodostumiseen) arvioidaan myös lisääntyvän ilmaston muutoksen seurauksena.

Säteilypakote 21.vuosisadalla

- SRES-skenaarioiden mukaisesti (suhteessa vuoteen 2000) kasvihuonekaasuista johtuva globaalinen säteilypakotteen keskiarvo jatkaa kasvamistaan 21.vuosisadalla siten, että CO₂:n osuuden arvioidaan kasvavan hieman yli puolesta noin 75 %:iin. Suorasta ja epäsuorasta aerosolipakotteesta johtuvan muutoksen arvioidaan olevan suuruudeltaan hiilidioksidista aiheutuvaa pakotetta pienemmän.

Maapallon keskilämpötilan arvioidaan kohoavan ja merenpinnan nousevan IPCC:n SRES-skenaarioiden perusteella.

Tulevaisuuden ilmaston arvioimiseksi ilmastomallit ottavat huomioon sekä menneet että tulevat kasvihuonekaasujen pitoisuudet ja aerosolien määrät. Näin ollen ne sisältävät tähänastiset lämpenemisarviot sekä tapahtuneisiin päästöihin pohjautuvat tulevaisuuden arviot.

Lämpötila

- Maapallon keskilämpötilan arvioidaan nousevan 1.4 – 5.8°C (kuva 5d) vuodesta 1990 vuoteen 2100. Tämä lämpenemismääri pohjautuu kaikkiin 35 SRES-skenaarioon ja joukkoon ilmastomalleja^{10 11}.
- Lämpenemisen on arvioitu olevan suurempaa kuin SAR-arvio, joka oli 1.0 – 3.5°C pohjautuen kuuteen IS92-skenaarioon. Korkeammat arviot ja suurempi vaihteluväli johtuvat pääasiassa alhaisemmista rikkidioksidin päästöistä uusissa SRES-skenaarioissa verrattuna IS92-skenaarioon.
- Lämpenemisen nopeus on arvioitu paljon suuremmaksi kuin havaittu muutos 1900-luvulla, ja paleoklimatologisten havaintojen mukaan se on *todennäköisesti* ennen kokematon ainakin viimeksi kuluneina 10000 vuotena.
- Vuoteen 2100 mennessä pintalämpötilan vaihteluväli eri ilmastomallien tuloksissa on tietyn skenaarion tapauksessa samaa luokkaa kuin yhden malliajon tulokset eri SRES-skenaarioilla.
- Muutaman vuosikymmenen aikaskaalassa lämpenemisen nykyistä nopeutta voidaan käyttää arvioidun vasteen pakottamiseksi tiettyyn päästöskenaarioon huolimatta ilmaston herkkyyden epävarmuudesta. Tämä lähestymistapa tuottaa tulokseksi sen, että ihmistoiminnasta johtuva lämpeneminen on *todennäköisesti* välillä 0.1 – 0.2°C vuosikymmentä kohti seuraavien vuosikymmenien ajan IS92a-skenaarion mukaan, mikä vastaa kuvan 5d yksinkertaisen mallin tuloksia.
- Viimeisimpien globaalisten mallisimulaatioiden pohjalta näyttää *hyvin todennäköisesti*, että lähes kaikki maa-alueet tulevat lämpenemään koko maapallon keskiarvoa nopeammin, ja erityisesti korkeiden leveysasteiden pohjoiset maa-alueet talvella. Erityisesti on huomioitava Pohjois-Amerikan pohjoisten osien sekä Pohjois- ja Keski-Aasian lämpeneminen, joka kaikkien mallien mukaan ylittää keskimääräisen lämpenemisen ainakin 40%:lla. Sitä vastoin lämpeneminen olisi keskimääräistä vähäisempää Aasian etelä- ja kaakkoisosissa kesällä sekä Etelä-Amerikassa talvella.
- Pintalämpötilan viimeaikaiset trendit muistuttavat useiden mallien laskelmien mukaan El Niño-ilmiöön liittyviä trendejä trooppisella Tyynellämerellä siten, että itäinen osa valtameren lämpenee enemmän kuin läntinen osa, ja sademäärissä tapahtuu siirtymistä itään.

¹⁰ Monimutkaiset fysikaaliset ilmastomallit ovat pääasiallisin keino arvioida tulevaisuuden ilmaston muutoksia. Jotta voitaisiin tutkia kaikkia annettuja skenaarioita, niin niitä täydennetään yksinkertaisilla ilmastomalleilla, jotka saavat aikaan saman vasteen lämpötilassa ja meren pinnan korkeudessa kuin monimutkaiset mallitkin. Yksinkertaisten mallien ilmastollinen herkkyys ja valtameren lämmönsiirto kalibroidaan kaikilla (yht. 7) monimutkaisilla malleilla. Yksinkertaisissa malleissa käytetty ilmastollinen herkkyys vaihtelee välillä 1.7 – 4.2°C, mikä vastaa yleisesti hyväksyttyä vaihteluväliä 1.5 – 4.5°C.

¹¹ Tämä vaihteluväli ei sisällä mallien säteilypakotteesta johtuvia epävarmuuksia (esim. aerosolipakote). Pieni hiilikierron palaute on sisällytetty niihin.

Sademäärä

- Ilmastomallien simuloinnit useiden erilaisten skenaarioiden pohjalta osoittavat ilmakehän keskimääräisen vesihöyrysisällön ja maapallon sademäärien lisääntymistä 21. vuosisadalla. Vuosisadan puoliväliin mennessä on *todennäköistä*, että talven sademäärä tulee lisääntymään pohjoisen pallonpuoliskon korkeilla ja keskileveysasteilla sekä Etelämantereella. Matalien leveysasteiden maa-alueilla on odotettavissa sekä alueellista sademäärän lisääntymistä että vähenemistä. Sademäärän vaihtelu vuodesta toiseen kasvaa *todennäköisesti* useimmilla niillä alueilla, joille on arvioitu lisääntyviä sademääriä.

Ääri-ilmiöt

Taulukossa 1 on esitetty sää- ja ilmastoääriarvojen luotettavuusarviot sekä 1900-luvun jälkipuoliskolta (vasen sarake) että 21.vuosisadan arvioidusta tilanteesta (oikea sarake). Tämä arvio pohjautuu havaintoihin ja mallitutkimuksiin sekä tulevaisuuden skenaarioihin ja asiantuntijoiden arvioihin.

- Nykytietämys on riittämätöntä arvioimaan viimeaikaisia trendejä eräille muille ääri-ilmiöille, joilla saattaisi olla tärkeitä vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan. Ilmastomalleilta puolestaan puuttuu alueellinen erotuskyky arvioiden suorittamiseksi. Hyvin pienen mittakaavan ilmiöitä kuten esim. ukkoset, tornadot, raesateet ja salamointi, ei ole simuloitu ilmastomalleissa.

El Niño

- El Niño-ilmiön esiintymisen, voimakkuuden, ja alueellisen jakautumisen tulevien muutosten arviointia trooppisella Tyynellämerellä vaikeuttaa se, kuinka hyvin El Niño-ilmiötä pystytään simuloimaan monimutkaisilla malleilla. Nykyiset arviot osoittavat tuskin mitään muutosta, tai pientä lisääntymistä El Niño-tapahtumien voimakkuudelle seuraavien 100 vuoden aikana.
- Vaikka El Niño-ilmiön voimakkuus ei muuttuisi paljoakaan, maapallon lämpeneminen johtaa *todennäköisesti* kuivuuden ja voimakkaiden sateiden äärestymiseen, mikä lisää El Niño-tapahtumiin liittyvää kuivuus- ja tulvariskiä useilla eri alueilla.

Monsuunit

- On *todennäköistä*, että lisääntyviin kasvihuonekaasuihin liittyvä lämpeneminen tulee lisäämään Aasian kesämonsuunisateiden vaihtelevaisuutta. Muutokset monsuunin keskimääräisessä kestossa ja voimakkuudessa riippuvat päästöskenaarioiden yksityiskohdista. Tulevaisuuden arvioiden luotettavuutta rajoittaa myös ilmastomallien rajoitettu kyky simuloida monsuunien vuodenaikavaihtelun yksityiskohtia.

Valtamerten termohaliininen kierto

- Useimmat mallit osoittavat lämpötila- ja suolaisuuseroja tasapainottavien valtamerten ns. termohaliinisten virtausten heikkenemistä, mikä johtaa vähenevään lämmön kuljetukseen pohjoisen pallonpuoliskon korkeille leveysasteille. Malleissa, joissa ko. virtaus heikkenee, tapahtuu kuitenkin vielä lämpenemistä Euroopassa johtuen lisääntyvistä kasvihuonekaasujen määristä. Nykyiset ilmastomallilaskelmat eivät ennakoi näiden virtausten loppumista vuoteen 2100 mennessä. Sen jälkeen virtaus

saattaa lakata kokonaan, ja mahdollisesti pysyvästi molemmilla pallonpuoliskoilla, jos säteilypakotteen muutos on tarpeeksi suuri ja kestää tarpeeksi pitkään.

Lumi ja jää

- Pohjoisen pallonpuoliskon lumipeitteen ja merijään laajuuden arvioidaan vähenevän edelleen.
- Vuoristo- ja mannerjäätiköiden vetäytymisen arvioidaan jatkuvan laajamittaisena 21. vuosisadan kuluessa.
- Etelämantereen jäätikkö *todennäköisesti* kasvaisi lisääntyneistä sademääristä johtuen, kun taas Grönlannin jäätikkö *todennäköisesti* pienenisi sulavesivirtaamien ylittäessä lisääntyvät sademäärät.
- Etelämantereen länsiosan jäätikön pysyvyydestä on oltu huolestuneita. Tämän pohjaan lepäävän jäätikön irtoaminen johtaisi huomattavaan merenpinnan nousuun. Irtoamista pidetään kuitenkin *hyvin epätodennäköisenä* 21. vuosisadan kuluessa, vaikkakin sen dynamiikan ymmärtäminen on vielä riittämätöntä, varsinkin pitemmälle ulottuvissa tulevaisuuden arvioinneissa.

Meren pinta

- Maapallon keskimääräisen merenpinnan on vuosien 1990 ja 2100 välillä arvioitu nousevan 0.09 – 0.88 metrillä kaikki SRES-skenaariot huomioonottaen. Tämä johtuu pääasiassa lämpölaajenemisesta sekä vuoristo- ja napajäätiköiden sulamisesta ([kuva 5e](#)). Edellisessä IPCC-raportissa (SAR) vastaavat luvut olivat 0.13 – 0.94 pohjautuen IS92-skenaarioihin. Vaikka kolmannen arviointiraportin lämpötila-arviot ovat edellistä raporttia (SAR) korkeammat, merenpinnan nousuarviot ovat hieman alemmat. Tämä johtuu pääasiassa parantuneista malleista, joissa vuoristo- ja napajäätiköiden vaikutus merenpinnan nousuun on vähäisempi.

Ihmisen aiheuttama ilmastonmuutos kestää useita vuosisatoja.

- Pitkäikäisten kasvihuonekaasujen (CO₂, N₂O, PFC, SF₆) päästöillä on pitkään kestävä vaikutus ilmakehän koostumukseen, säteilypakotteeseen ja ilmastoon. Niinpä esimerkiksi CO₂-päästöjen jälkeen kestää satoja vuosia siihen, kun enää neljäsosa ko. päästöjen lisäämästä CO₂-pitoisuudesta on vielä jäljellä ilmakehässä.
- Kun kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat vakautuneet, maapallon keskimääräinen pintalämpötila nousisi vain muutaman kymmenesosa-asteen vuosisadassa. Ilman vakautumista nousu olisi useita asteita. Mitä alhaisemmalle tasolle pitoisuudet saataisiin vakautetuiksi, sitä pienempi olisi lämpötilan kokonaisuusmuutos.
- Maapallon keskimääräisen pintalämpötilan kohoamisen ja lämpölaajenemisesta johtuvan merenpinnan nousun arvioidaan jatkuvan satoja vuosia senkin jälkeen kun kasvihuonekaasujen pitoisuudet (vieläpä nykytasolla) ovat vakautuneet. Tämä johtuu pitkistä aikaviiveistä valtameren syvien kerrosten mukautumisessa ilmaston muutokseen.
- Jäätiköiden reagointi ilmaston muutokseen ja merenpinnan nousuun kestää tuhansia vuosia ilmaston vakautumisen jälkeen. Ilmastomallit osoittavat, että Grönlannin paikallinen lämpeneminen on *todennäköisesti* 1-3 kertaa suurempaa kuin keskimäärin koko maapallolla. Jäätikkömallit puolestaan osoittavat, että vuosituhansia kestävä 3°C paikallinen lämpeneminen johtaisi ilmeisesti Grönlannin jäätikön täydelliseen sulamiseen, mistä puolestaan seuraisi noin 7 metrin merenpinnan nousu. Jos paikal-

linen lämpeneminen olisi 5.5°C ja kestäisi 1000 vuotta, se aiheuttaisi *todennäköisesti* Grönlannin osittaisen sulamisen johdosta noin 3 metrin merenpinnan nousun.

- Nykyiset jään dynamiikkaa koskevat mallit antavat tulokseksi, että Etelämantereen länsiosan sulaminen aiheuttaisi jopa 3 metrin meren pinnan nousun seuraavan 1000 vuoden kuluessa, mutta tulokset riippuvat voimakkaasti mallien olettamuksista koskien ilmastoskenaarioita, jään dynamiikkaa ja muita tekijöitä.

Lisätoimia tarvitaan parantamaan informaation ja ymmärtämisen puutteita.

Lisätutkimukset ovat tarpeen, jotta parannettaisiin ilmaston muutoksen seurantaan, vähennettäisiin epävarmuuksia ja kehitettäisiin ilmaston tulevien muutosten arviointeja. Erityisesti on tarvetta systemaattisista ja jatkuvista havainnoista, mallintamisesta ja prosessien tutkimuksesta. Vakavana huolena on havaintoverkostojen rappeutuminen. Seuraavassa on lueteltu keskeisimpiä toiminnan kohteita.

Systemaattiset havainnot ja paleoklimatologiset tutkimukset:

- Pysäyttää monissa paikoissa maailmaa tapahtuva havaintoverkoston rappeutuminen.
- Ylläpitää ja laajentaa ilmastotutkimuksen havaintoperustaa hankkimalla tarkkoja, pitkäaikaisia ja yhtenäisiä havaintoja (ml. integroitu maailmanlaajuinen havaintojärjestelmä).
- Tehostaa menneiden ilmastojaksojen konstruointia.
- Parantaa kasvihuonekaasujen ja aerosolien havaintojen alueellista jakaumaa.

Mallinnus ja prosessitutkimukset:

- Parantaa säteilypakotteeseen liittyvien mekanismien ja tekijöiden tuntemusta.
- Ymmärtää ja luonnehtia ilmastosysteemin ratkaisemattomia prosesseja ja palautteita (fysikaalisia ja biokemiallisia).
- Parantaa menetelmiä, joilla määritetään ilmastoprojektioihin liittyviä epävarmuuksia ml. pitkän aikavälin ilmastosimulaatiot monimutkaisilla malleilla.
- Parantaa globaalisten ja alueellisten ilmastomallien integroitua hierarkiaa keskittymällä ilmaston vaihtelevaisuuden, alueellisten ilmastomuutosten ja ääri-ilmiöiden simuloointeihin.
- Linkittää entistä tehokkaammin fysikaaliset ilmastomallit ja biokemialliset systeemit, ja parantaa ihmistoiminnasta johtuvien tekijöiden kytkentää niihin.

Kansainvälisen yhteistyön ja koordinoinnin vahvistaminen on tarpeen, jotta tieteellisiä, laskennallisia ja havaintoihin liittyviä voimavaroja käytettäisiin entistä paremmin. Tämän tulisi myös edesauttaa vapaata havaintotiedon vaihtoa. Havainto- ja tutkimuskapasiteetin lisäämiseen on erityistä tarvetta kehitysmaissa. IPCC-arviointien keskeisten tavoitteiden mukaisesti on välttämätöntä jatkaa tutkimuksen edistysaskelten esittämistä päätöksentekoa edesauttavalla tavalla.

TAULUKKO 1. Havaittujen ja tulevien sää- ja ilmastoääriarvojen luotettavuusarvioita (a)

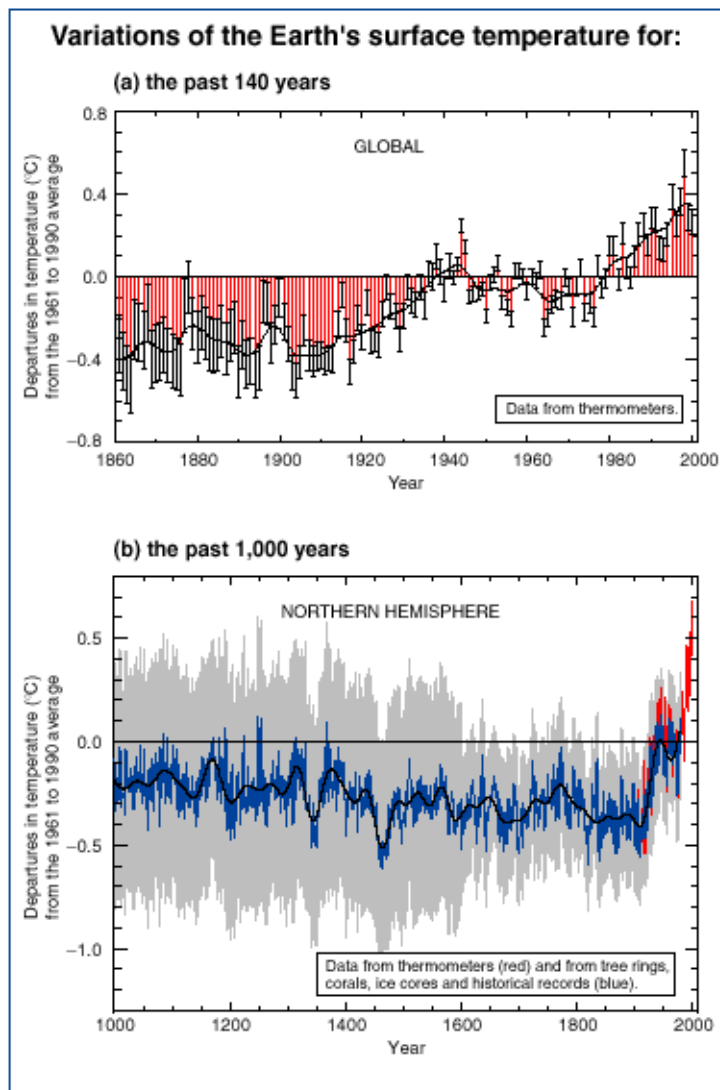
Havaittujen muutosten luotettavuusarviot (1900-luvun jälkipuoli)	Ääriarvot	Mallitettujen muutosten luotettavuusarviot (21. vuosisadan aikana)
<i>Todennäköistä</i>	Korkeammat maksimilämpötilat ja hellepäivien lisääntyminen lähes kaikilla maa-alueilla	<i>Hyvin todennäköistä</i>
<i>Hyvin todennäköistä</i>	Korkeammat minimilämpötilat, vähemmän kylmiä ja pakkaspäiviä lähes kaikilla maa-alueilla	<i>Hyvin todennäköistä</i>
<i>Hyvin todennäköistä</i>	Lämpötilan vuorokausivaihtelun pientyminen useimmilla maa-alueilla	<i>Hyvin todennäköistä</i>
<i>Todennäköistä monilla alueilla</i>	Lämpöindeksin ¹² kasvu maa-alueilla	<i>Hyvin todennäköistä useimmilla alueilla</i>
<i>Todennäköistä maa-alueilla pohjoisen pallonpuoliskon korkeilla ja keski-leveysasteilla</i>	Voimakkaammat sadetapahtumat (b)	<i>Hyvin todennäköistä useimmilla alueilla</i>
<i>Todennäköistä vain harvoilla alueilla</i>	Lisääntyvä mantereiden kuivuminen kesällä ja siihen liittyvä kuivuusriski	<i>Todennäköistä useimmilla keskileveysasteiden sisä-maa-alueilla (muilta alueilta tieto epävarmaa)</i>
Ei muutoksia (muutamissa käytössä olevissa tutkimuksissa)	Trooppisten pyörremyrskyjen tuulen huippunopeuksien (c) kasvu	<i>Todennäköistä joillakin alueilla</i>
Riittämättömät havainnot arvion tekemiseen	Trooppisten pyörremyrskyjen keskimääräisten ja rankkasateiden lisääntyminen	<i>Todennäköistä joillakin alueilla</i>

a) Lähempiä tietoja taustaraportissa

b) Muut alueet: riittämätön havaintoaineisto tai ristiriitaiset analyysit

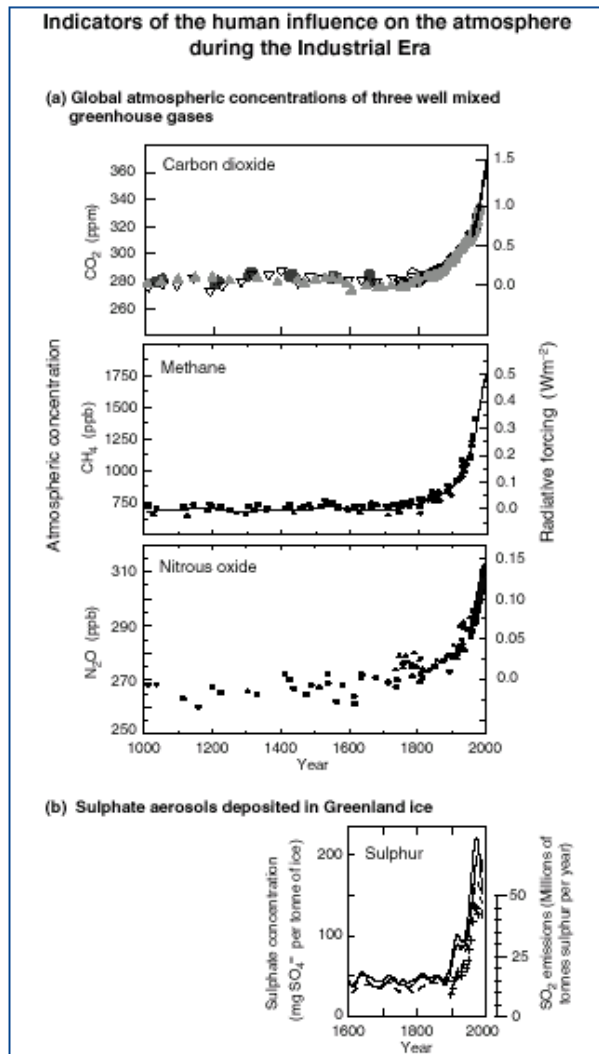
c) Menneet ja tulevat muutokset pyörremyrskyjen sijainnissa ja lukuisuudessa epävarmoja

¹² Lämpöindeksi: Lämpötilan ja kosteuden yhdistelmä, joka kuvaa olosuhteiden vaikutuksia ihmisen fysiologiseen viihtyvyyteen.



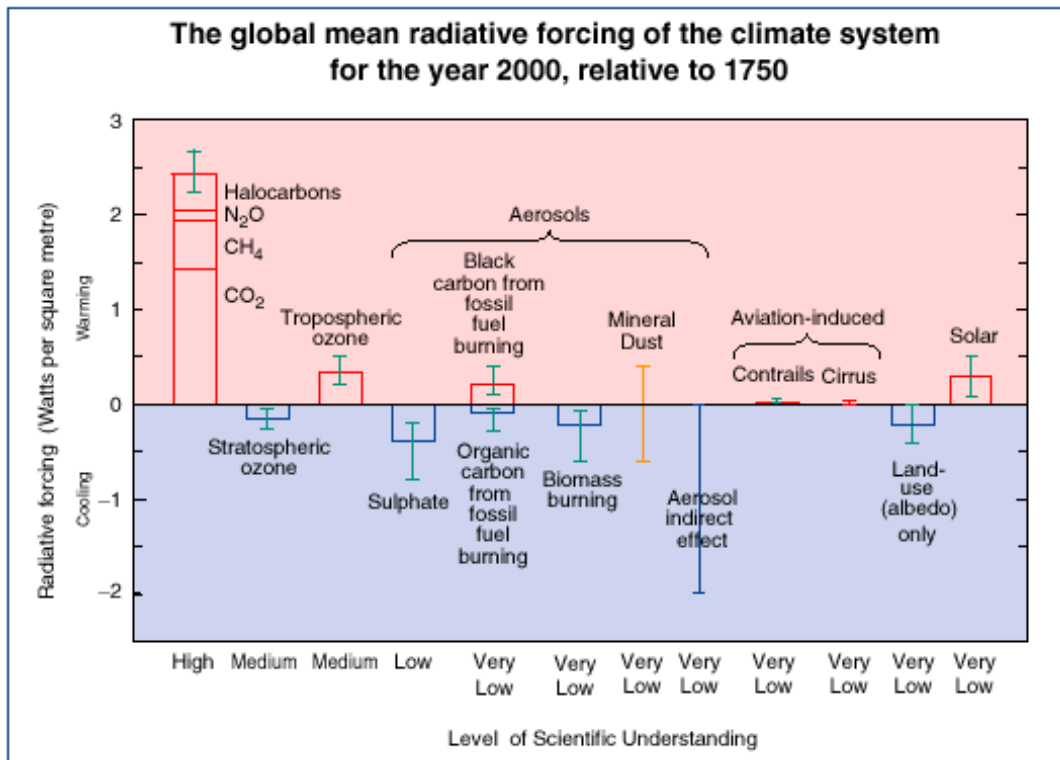
Kuva 1. Maapallon pintalämpötilan vaihtelut viimeisten 140 ja 1000 vuoden kuluessa (poikkeamina kauden 1961-1990 keskiarvosta).

- (a) Maapallon pintalämpötila on esitetty vuosittain (punaiset pylväät) ja vuosikymmenittäin (musta viiva = tasoitettu vuotuinen käyrä, joka suodattaa noin 10 vuotta lyhyemmät vaihtelut). Vuosihavainnoissa on epävarmuuksia (ohut musta jana edustaa 95%:n luotettavuusväliä), mikä johtuu puuttuvista havainnoista, satunnaisista laitevirheistä ja luotettavuuksista sekä merihavaintojen ja kaupunkisarjojen korjauksista. Viimeisten 100 ja myös 140 vuoden aikana paras arvio maapallon lämpötilan nousulle on $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$.
- (b) Pohjoisen pallonpuoliskon vuotuisen pintalämpötilan vaihtelu viimeisten 1000 vuoden aikana (vuodesta toiseen tapahtuvaa vaihtelua osoittaa sininen käyrä ja 50 vuoden keskiarvoa musta käyrä) pohjautuen ns. proksidataan (tarkempi luettelo kuvassa), joka on kalibroitu lämpömittarein suoritettuihin havaintoihin. 95%:n luotettavuusväli on osoitettu harmaalla alueella. Epävarmuus kasvaa ajassa taaksepäin siirryttäessä, ja se on paljon suurempi kuin lämpömittareilla suoritetuissa havainnoissa. Tämä johtuu pääosin mittarihavaintoja huomattavasti harvemmistä proksihavainnoista. On kuitenkin selvää, että 1900-luvun aikana tapahtunut lämpeneminen on paljon nopeampaa ja suurempaa kuin aiempina 900 vuotena. On myös *todennäköistä*, että 1990-luku on ollut vuosituhannen lämpimin vuosikymmen ja vuosi 1998 lämpimin yksittäinen vuosi.



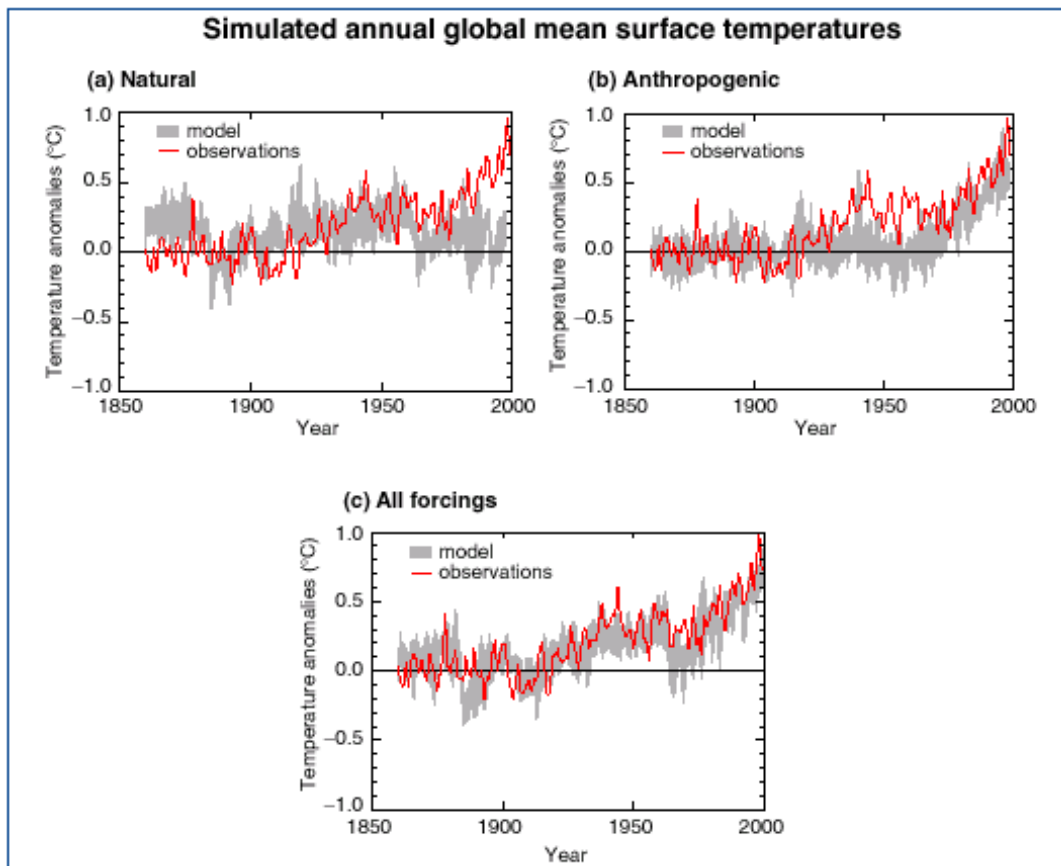
Kuva 2. Ilmakehän koostumuksen muutokset pitkän ajan kuluessa ovat yhteydessä ihmisen aiheuttamiin päästöihin.

- (a) Ilmakehän hiilidioksidin (CO_2), metaanin (CH_4) ja dityppioksidin (N_2O) pitoisuuksien muutokset ilmakehässä viimeksi kuluneen 1000 vuoden aikana. Jäätiköiden jääkairaus- ja lumijäähavaintoja useista Etelämantereen ja Grönlannin havaintopisteistä (erilaiset symbolit) on täydennetty suorilla ilmakehähavainnoilla muutamien viime vuosikymmenien ajalta (yhtenäinen käyrä CO_2 -kuvassa, kun taas CH_4 -kuvan yhtenäinen käyrä on globaali CH_4 -käyrä viime vuosikymmeniltä). Kunkin kaasun arvioitu ilmastollinen säteilypakote on osoitettu oikeanpuoleisilla asteikoilla (Wm^{-2}). Koska näiden kaasujen elinaika ilmakehässä on vähintäänkin vuosikymmen, ne ovat hyvin sekoittuneita, ja niiden pitoisuudet heijastavat päästöjä eri puolilta maailmaa olevista lähteistä. Kaikki kolme havaintosarjaa osoittavat selvää ja kasvavaa muutosta ihmiskunnan päästöissä teollisen aikakauden aikana.
- (b) Ilmakehän sulfaattipitoisuus, joka osoittaa teollisten päästöjen vaikutusta ja merkitsee negatiivisen säteilytaseen muutoksia. Kuva esittää sulfaattipitoisuuden muutoksia Grönlannin jääkairauksissa (yhtenäinen viiva, josta tulivuorten purkausten vaikutus on poistettu). Nämä havainnot osoittavat sulfaattiaerosolien laskeumaa ko. paikassa, mutta kuvaavat samalla rikkidioksidin (SO_2) päästöjä pohjoisen pallonpuoliskon keskileveysasteiden alueella. Vaikkakin käyrä on alueellisempi kuin vastaavat kasvihuonekaasujen käyrät (a), se osoittaa voimakkaita ihmisen aiheuttamia SO_2 -päästöjä teollisen aikakauden kuluessa. Plus-merkit ovat alueellisesti arvioituja SO_2 -päästöjä (oikeanpuoleinen asteikko).



Kuva 3. Monet ulkoiset pakotetekijät vaikuttavat ilmaston muutokseen.

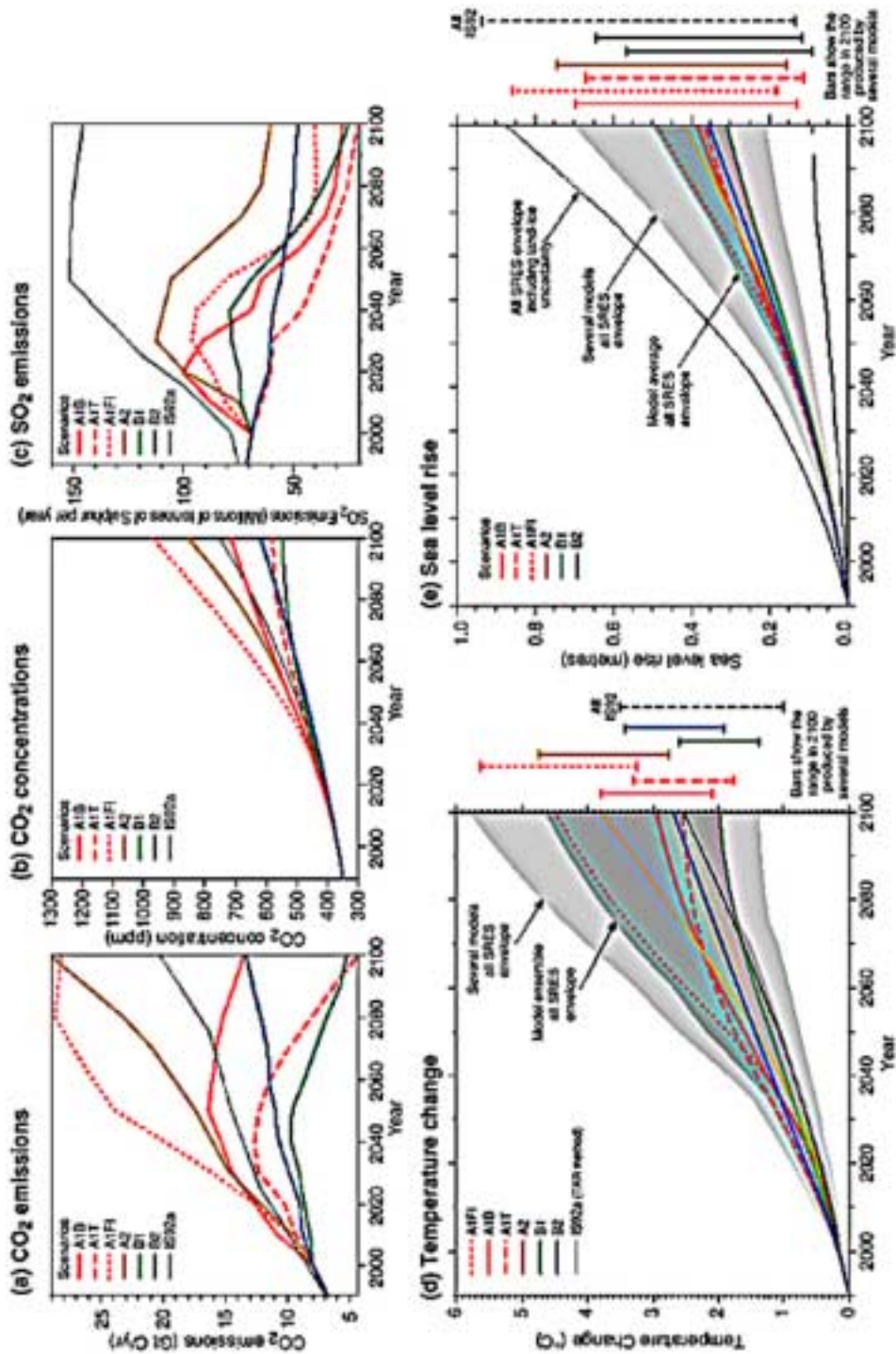
Säteilypakote koostuu muutoksista ilmakehän koostumuksessa, maankäytön seurauksena syntyvistä muutoksista maanpinnan heijastusominaisuuksissa, ja vaihteluista Auringon säteilyssä. Auringonsäteilyn vaihteluita lukuun ottamatta ihmisen toimilla on vaikutusta näihin tekijöihin. Pylväät osoittavat pakotteiden suuruuksia (Wm^{-2}) osan aiheuttaessa lämpenemistä ja osan viilenemistä. Tulivuorten purkauksista seuraa yleensä muutamia vuosia kestävä negatiivinen pakote, jota kuvassa ei ole esitetty ilmiön satunnaisuuden vuoksi. Aerosolien epäsuora vaikutus tarkoittaa niiden kytkentää pilvipisaroiden suuruuteen ja määrään. Aerosolien epäsuora negatiivista vaikutusta pilvien elinikään ei sen sijaan ole esitetty. Lentoliikenteen vaikutukset kasvihuonekaasuihin on sisällytetty yksittäisiin pylväisiin. Pylväissä olevat pystyjanat osoittavat eri arvioita, ja ne pohjautuvat ko. pakotteiden julkaistuihin arvoihin ja fysikaalisiin perustietoihin. Jotkut pakotteista tunnetaan epävarmemmin kuin toiset. Vertikaalinen jana yksistään kuvaa pakotetta, jolle parasta arvioita ei voida antaa suuresta epävarmuudesta johtuen. Tieteellisen tiedon taso vaihtelee kuvan mukaisesti suuresti. Jotkut säteilypakotteen tekijöistä ovat globaaleja (kuten CO₂), ja kuvastavat häiriötä globaaliin lämpötaseeseen. Toiset ovat luonteeltaan alueellisia (kuten aerosolit). Tämän ja eräiden muidenkin syiden takia yksinkertainen summa positiivisista ja negatiivisista pylväistä ei kuvaisi nettovaikutusta koko ilmastosysteemiin. Tämän arviointiraportin erilaiset simulaatiot (esim. [kuva 5](#)) osoittavat, että häiriötekijöiden nettovaikutuksena maapallon ilmasto on lämmennyt vuodesta 1750.



Kuva 4. Maanpallon lämpötilavaihteluiden simulointi ja tulosten vertaaminen mitattuihin muutoksiin antaa kuvan keskeisimmistä muutosten syistä.

Ilmastomalleja voidaan käyttää simuloimaan lämpötilan muutoksia, jotka aiheutuvat luonnollisista tekijöistä ja ihmistoiminnasta. Kuvan (a) osoittama laskelma pohjautuu yksinomaan luonnollisiin pakotteisiin (Auringon säteily ja tulivuoritoiminta). Kuvassa (b) on käytetty ainoastaan ihmisestä johtuvia palautetekijöitä (kasvihuonekaasut ja sulfaattiaerosolit), kun taas kuvassa (c) on käytetty sekä luonnollisia että ihmisestä johtuvia tekijöitä. Kuva (b) antaa melko hyvän selityksen suurimmalle osalle muutoksia 1900-luvun kuluessa, mutta paras yhteensopivuus saadaan kuvassa (c), kun myös luonnolliset tekijät otetaan huomioon. Nämä tulokset osoittavat, että käytetyt pakotetekijät selittävät havaitun muutoksen riittävän hyvin, mutta eivät sulje pois sitä mahdollisuutta että muitakin pakotteita saattaa olla olemassa. Kuvien mallitulokset ovat peräisin tietyn ilmastomallin neljästä ajosta. Samantapaisia tuloksia kuin kuvassa (b) on saatu myös muilla malleilla, joissa on käytetty ihmistoimista johtuvia pakotetekijöitä.

The global climate of the 21st century



Kuva 5. Maapallon ilmasto 21. vuosisadalla tulee riippumaan sekä luonnollisista muutoksista että ihmistoimista. Ilmastomallit analysoivat, miten ilmastosuureet (kuten esim. maapallon keskimääräinen pintalämpötilan muutos tai merenpinnan nousu) reagoivat erilaisiin kasvihuonekaasujen päästöihin ja muihin ihmisestä aiheutuviin tekijöihin. Kuva (a) osoittaa CO₂-päästöt kuudessa eri SRES-skenaariossa (vrt. liite) ja myös edellisessä arviointiraportissa käytetyssä IS92a-skenaariossa. Kuva (b) osoittaa vastaavat CO₂-pitoisuudet ja kuva (c) ihmisestä johtuvat SO₂-päästöt. Muista kaasuista ja aerosoleista johtuvat päästöt on sisällytetty malleihin, vaikkakaan niitä ei ole erikseen esitetty kuvissa. Kuvat (d) ja (e) osoittavat arvioituja lämpötilan ja meren pinnan vasteita. Kuvien käyrästöt "Several model all SRES envelope" osoittavat useamman mallin tuloksia käyttäen erilaisia mallien ilmastollisia herkkyyksiä. Käyrät "Model average all SRES envelope" viittaavat 35 mallin SRES-skenaarioihin. On huomattava, että lämpeneminen ja meren pinnan nousu näistä päästöistä johtuen kasvaisi pitkälle vuoden 2100 jälkeenkin. Kuvissa ei ole otettu huomioon epävarmuutta, joka liittyy Etelämantereen länsiosan jäätikön muutoksiin, eivätkä ne ota myöskään huomioon ei-sulfaattiaerosolien ja kasvihuonekaasujen ennakoitujen pitoisuuksien epävarmuuksia.

LIITE: Päästöskenaariot IPCC:n päästöskenaarioiden erikoisraportissa (SRES)

A1-skenaarioperhe kuvaa tulevaisuuden maailmaa, jossa talouskasvu on hyvin nopeaa, maapallon väestö saavuttaa maksiminsa vuosisadan puolessa välissä ja pienenee sen jälkeen, ja jossa uusien ja tehokkaampien teknologioiden käyttöönotto on nopeaa. Merkittävimmät taustalla olevat teemat ovat alueiden välisten erojen kaventuminen, osaamisen lisääminen sekä lisääntyvät kulttuuriin ja yhteiskuntaan liittyvät vuorovaikutukset, sekä tämän ohella merkittävä alueellisten tuloerojen pieneneminen ihmistä kohti. *A1*-skenaarioperhe jakautuu kolmeen ryhmään, jotka kuvaavat teknologisen muutoksen vaihtoehtoisia suuntia energijärjestelmässä. Nämä kolme *A1*-ryhmää eroavat teknologisilta painotuksiltaan: fossiili-intensiivinen (*A1FI*), ei-fossiiliset energialähteet (*A1T*) tai kaikkien energialähteiden tasapaino (*A1B*) (jossa tasapaino tarkoittaa sitä, ettei järjestelmä ole liikaa riippuvainen yhdestä energialähteestä ja että kaikkien energiantuotanto ja -käyttöteknologioiden kehitysnopeus on samanlainen).

A2-skenaarioperhe kuvaa hyvin heterogeenista maailmaa. Taustalla olevat teemat ovat omavaraisuus ja paikallisen identiteetin säilyttäminen. Väestönkasvuun liittyvät piirteet eri alueiden välillä lähestyvät toisiaan erittäin hitaasti, mikä johtaa jatkuvaan väestönkasvuun. Taloudellinen kehitys on pääasiassa alueellisesti suuntautunut ja talouskasvu henkilöä kohden sekä teknologinen muutos ovat jakaantuneempia ja hitaampia kuin muissa skenaarioperheissä.

B1-skenaarioperhe kuvaa yhtenevää maailmaa, jossa on samat väestöoletukset kuin *A1*-skenaarioperheessä, mutta jossa taloudelliset rakenteet muuttuvat nopeasti kohti palvelu- ja informaatiotaloutta, jonka seurauksena materiaali-intensiteetti pienenee sekä puhaita ja resursseja säästäviä teknologioita otetaan käyttöön. Skenaarioissa painotetaan globaaleja ratkaisuja, jotka tähtäävät taloudelliseen, yhteiskunnalliseen ja ympäristöön liittyvään kestävyys sisältäen parantuneen oikeudenmukaisuuden, mutta ilman uusia ilmastotoimenpiteitä.

B2-skenaarioperhe kuvaa maailmaa, jossa painopiste on paikallisilla ratkaisuilla, jotka tähtäävät taloudelliseen, yhteiskunnalliseen ja ympäristöön liittyvään kestävyys. Tässä maailmassa väestö kasvaa jatkuvasti, mutta hitaammin kuin *A2*:ssa, taloudellinen kehitys on kohtuullisella tasolla, ja teknologinen muutos on hitaampaa ja vaihtelevampaa kuin *B1*- ja *A1*-skenaarioperheissä. Vaikka skenaariossa suuntaudutaan ympäristönsuojeluun ja yhteiskunnalliseen oikeudenmukaisuuteen, se painottuu paikalliselle ja alueelliselle tasolle.

Jokaisesta kuudesta skenaarioryhmästä (*A1B*, *A1FI*, *A1T*, *A2*, *B1* ja *B2*) valittiin havainnollinen skenaario. Kaikkia näitä voidaan pitää yhtä lailla järkevinä tapauksina.

SRES-skenaariot eivät sisällä muita ilmastotoimenpiteitä, mikä tarkoittaa, että sellaisia skenaarioita ei ole otettu huomioon, jotka suoraan olettavat YK:n ilmastopimuksen ja Kioton pöytäkirjan päästötavoitteiden toimeenpanon.