

HALLITUSTENVÄLINEN ILMASTONMUUTOSPANEELI (IPCC)

ILMASTONMUUTOS V. 2007: LUONNONTIETEELLINEN PERUSTA

YHTEENVETO PÄÄTÖKSENTEKIJÖILLE

**Ensimmäisen työryhmän osuus Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin neljännessä
arviontiraportissa**

Tämän päätöksentekijöille tarkoitetun yhteenvedon alkuperäinen englanninkielinen teksti on virallisesti hyväksytty IPCC:n 1. työryhmän 10. istunnossa Pariisissa v. 2007 helmikuussa.

Kirjoittajat:

Richard Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan Gregory, Gabriele Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

Avustavat kirjoittajat:

Julie Arblaster, Guy Brasseur, Jens Hesselbjerg Christensen, Kenneth Denman, David W. Fahey, Piers Forster, Eystein Jansen, Philip D. Jones, Reto Knutti, Hervé Le Treut, Peter Lemke, Gerald Meehl, Philip Mote, David Randall, Dáithí A. Stone, Kevin E. Trenberth, Jürgen Willebrand, Francis Zwiers

Suomenkielisen tekstin on laatinut tutkija Kimmo Ruosteenoja (Ilmatieteen laitos). Englanninkielinen yhteenvedo saatavissa IPCC:n verkkosivulta (<http://www.ipcc.ch>). Tälle verkkosivulle ilmestyvät myös täydelliset raportit.

ESIPUHE

Suomennettaessa tavoitteena on ollut toisaalta (i) saada alkuperäisen tekstin sanoma välittymään mahdollisimman muuttumattomana ja toisaalta (ii) tuottaa ymmärrettävää, lukukelpoista ja tyyliiltään siedettävää suomea. Käännettäessä kukin pallurateksti tms. tekstikappale on käsitelty yhtenä kokonaisuutena, ja ko. kohdan viesti on pyritty saamaan vastaavaan kohtaan suomennoksessa. Sen sijaan englannin kielen lauserakenteita ei ole yritettykään seurata, koska se estäisi järkevän suomenkielisen rakenteen synnyn. Esimerkiksi pitkiä englanninkielisiä lauseita on tarvittaessa pilkottu ja asioitten esitysjärjestystä yksittäisen kohdan sisällä on saatettu muuttaa. Tieteellisiä erityiskäsitteitä on pyritty käyttämään säästeliäästi, ja sen sijaan suosimaan yleiskielisempiä ilmaisuja. Muutamissa yksittäisissä kohdissa maallikolle hämäräksi jäävää esitystä on selvennetty pienin lisäyksin ja tarkennuksin.

Tämä suomenkielinen teksti on muodollisesti epävirallinen. Esimerkiksi virallisissa kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa on syytä käyttää pohjana alkuperäistä tekstiä. Suomenkielinen teksti on nimenomaan tarkoitettu sellaisille ihmisille, joita kiinnostaa raportin **asisasisältö**: tiedotusvälineitten edustajille, poliitikoille, virkamiehille, talouselämän palveluksessa oleville, yksittäisille kansalaisille, jne.

Suomennoksen tarkistamiseen ja paranteluun ovat osallistuneet seuraavat henkilöt: Raino Heino, Jouni Räisänen, Kirsti Jylhä, Heikki Tuomenvirta, Jari Haapala ja Veli-Matti Kerminen. Kuvien editoinnissa ovat avustaneet Jaakko Forsius ja Terhikki Manninen. Heille suuret kiitokset.

19.4.2007

Kimmo Ruosteenoja

1 Johdanto

Tässä 1. työryhmän laatimassa IPCC:n (2007) neljännen arviointiraportin osuudessa kerrotaan, missä suhteissa ymmärrämme ilmastomuutosta paremmin nykyisin kuin edellistä eli kolmatta arviointiraporttia laadittaessa. Raportissa käsitellään mm. ilmastoa muuttavia¹ pakotetekijöitä, sekä luonnollisia että ihmiskunnan toimiin liittyviä. Lisäksi kerrotaan havaituista ilmaston muutoksista ja arvioidaan eri pakotetekijöitten osuutta muutosten aiheuttajina. Lopuksi esitetään arvioita siitä, miten ilmasto muuttuu tulevaisuudessa. Työ pohjautuu edellisiin arviointiraportteihin ja viimeisten kuuden vuoden aikana saatuihin uusiin tutkimustuloksiin. Edellisen arviointiraportin julkaisemisen jälkeen on saatu käyttöön uutta entistä kattavampaa havaintotietoa, ja havaintojen analysointimenetelmät ovat kehittyneet. Lisäksi nykyisin monia ilmastoon vaikuttavia tekijöitä ymmärretään ja osataan simuloida mallien avulla aiempaa paremmin. Erilaisia muutoksiin liittyviä epävarmuustekijöitä on myös tutkittu laajemmin.

Kunkin kohdan lopussa on aaltosulkeissa merkitty ne varsinaisen raportin luvut ja kappaleet, joihin esittävät tulokset perustuvat.

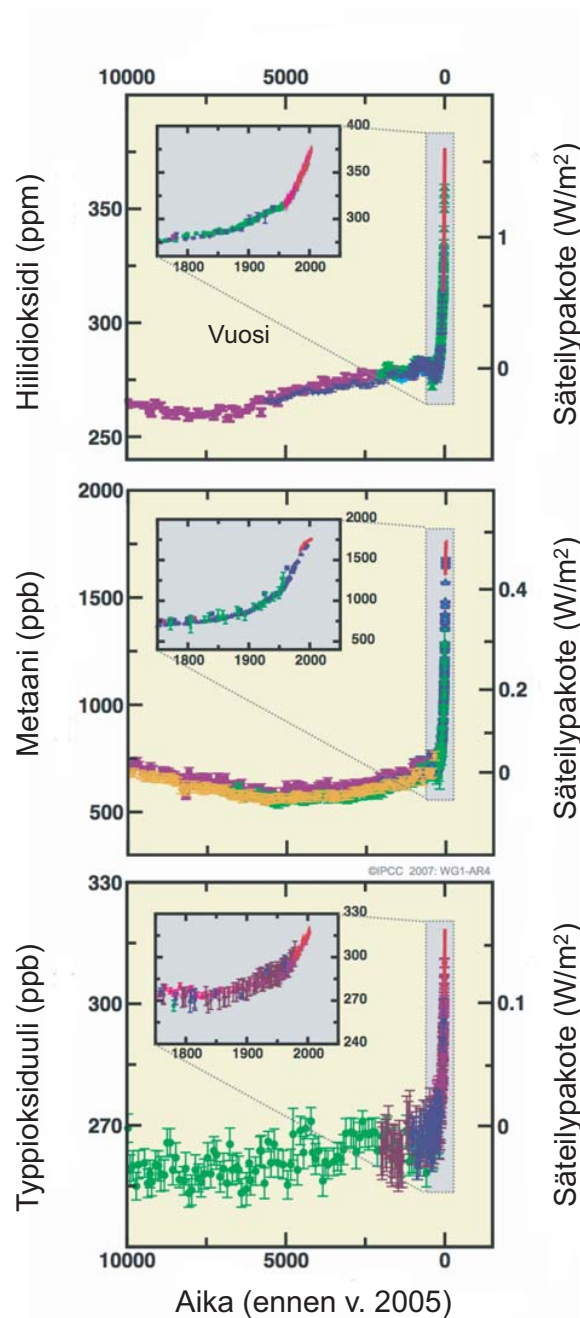
2 Ilmastoa muuttavat luonnolliset ja ihmiskunnan toiminnasta aiheutuvat pakotetekijät

Ilmakehän kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksien, auringon säteilyn ja maan pinnan ominaisuuksien muutokset vaikuttavat ilmastojärjestelmän lämpötasapainoon. Nämä muutokset voidaan ilmaista säteilypakotteen² avulla. Näin on mahdollista verrata yhteismitallisesti erilaisia luonnollisia ja ihmisten toimiin liittyviä ilmastoa lämmittäviä tai jäädyttäviä pakotetekijöitä. Edellisen arviointiraportin laatimisen jälkeen eri pakotetekijöitten suuruutta on opittu arvioimaan entistä paremmin, kiitos uuden havaintoihin ja ilmaston mallitukseen perustuvan tutkimustiedon.

Ihmiskunnan toimet² ovat huomattavasti lisänneet hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄) ja typpioksiduulin (N₂O) pitoisuuksia ilmakehässä. Tämänhetkiset pitoisuudet ovat paljon suurempia kuin ennen vuotta 1750 eli teollistumista edeltävinä aikoina, jolloin pitoisuudet pysyivät jäätikkökairausnäytteitten perusteella lähes vakioina useita tuhansia vuosia (kuva 1). Hiilidioksidin lisääntyminen johtuu pääosin fossiilisten polttoaineitten käytöstä ja maankäytön muutoksista (mm. metsien hävittämisestä), kun taas metaani ja typpioksiduuli ovat peräisin lähinnä maatalouden päästöistä. {2.3, 6.4, 7.3}

¹Ilmastomuutos tarkoittaa IPCC:n kielenkäytössä mitä tahansa ilmaston ajallista muuttumista, sekä luonnollisista tekijöistä johtuvaa että ihmiskunnan aiheuttamaa. Tämä käytäntö poikkeaa YK:n ilmastosopimusten määritelmästä; siellä "ilmastonmuutoksella" tarkoitetaan vain sellaisia muutoksia, jotka johtuvat suoraan tai epäsuorasti ihmiskunnan toimista, esim. ilmakehän koostumuksen muuttamisesta.

²Säteilypakote ilmaisee, miten jokin tietty pakotetekijä muuttaa maan ja ilmakehän muodostaman järjestelmän säteilytasetta, ts. maapallolle saapuvan tai sieltä poistuvan säteilyenergian määrää. Säteilypakotteen suuruus kertoo, kuinka tärkeä ilmastomuutoksen aiheuttaja kyseinen pakoteilmiö on. Positiivinen säteilypakote pyrkii lämmittämään ilmastoa, negatiivinen jäädyttämään. Tässä raportissa säteilypakotteet on laskettu vertaamalla v. 2005 vallinnutta tilannetta olosuhteisiin ennen teollistumisen aikaa v. 1750. Säteilypakotteen yksikkö on wattia neliometriä kohti (W/m²). Tarkempi määritelmä on esitetty varsinaisen raportin sanasto-osassa sekä raportin kappaleessa 2.2.



Kuva 1. Hiilidioksidin (yläkuva), metaanin (keskimmäinen kuva) ja typpioksiduulin (alakuva) pitoisuuksien vaihtelu ilmakehässä viimeksi kuluneiden kymmenentuhannen vuoden aikana (isot kuvat) sekä vuodesta 1750 nykypäivään (pienet kuvat). Arvot perustuvat jäätikkökairausten tuloksiin (eri tutkimuksien antamat tulokset on esitetty erivärisin merkein) sekä suoraan ilmakehästä tehtyihin mittauksiin (punaiset käyrät). Kunkin kaasun pitoisuuden kasvua vastaava säteilypakote on esitetty isojen kuvien oikean reunan asteikolla. {Kuva 6.4}

- Hiilidioksidi on ihmiskunnan tuottamista kasvihuonekaasuista tärkein (kuva 2). Ennen teollistumisen aikaa ilmakehän hiilidioksidipitoisuus³ oli n. 280 ppm, vuonna 2005 jo 379 ppm. Nykyinen hiilidioksidipitoisuus on huomattavasti korkeampi kuin kertaakaan vähintään 650000 vuoteen. Mannerjäätiköiden sisälle jääneitä ilmakehän ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden on tänä aikana todettu luonnostaan vaihdelleen 180 ja 300 ppm:n välillä. Viimeksi kuluneen kymmenen vuoden aikana hiilidioksidipitoisuus on kasvanut nopeammin kuin koskaan: vuosina 1995–2005 kasvu oli keskimäärin 1.9 ppm vuodessa, koko suorien mittausjakson aikana v. 1960–2005 keskimäärin 1.4 ppm vuodessa. Hiilidioksidipitoisuuden kasvunopeus tosin vaihtelee aika paljon vuodesta toiseen. {2.3, 7.3}
- Valtaosa ilmakehään päässeestä hiilidioksidista on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Toisen pienempi mutta kuitenkin merkittävä lähde on maankäytön muuttuminen. Fossiilista polttoaineista peräisin olevat vuotuiset hiilidioksidipäästöt⁴ olivat 1990-luvulla hiileksi muutettuina keskimäärin 6.4 Gt (gigatonnia) [epävarmuusväli 6.0–6.8 Gt]⁵, vuosina 2000–2005 jo 7.2 Gt [6.9–7.5 Gt] (vuosille 2004 ja 2005 käytettävissä vain alustavat arviot). Maankäytön muutoksista arvioidaan 1990-luvulla vapautuneen 1.6 Gt [0.5–2.7 Gt] hiiltä vuodessa, mutta tämä arvio on varsin epätarkka. {7.3}
- Ilmakehän metaanipitoisuus on noussut teollistumista edeltävän ajan n. 715 ppb:n tasolta 1990-luvulle tultaessa jo 1732 ppb:hen. Vuonna 2005 pitoisuus oli 1774 ppb. Näin ollen ilmakehän nykyinen metaanipitoisuus on aivan eri tasolla kuin pitoisuus luonnostaan. Jäätikkökairaustietojen mukaan metaanin pitoisuus on viimeksi kuluneen 650000 vuoden aikana vaihdellut 320 ja 790 ppb:n välillä. Metaanipitoisuuden kasvu on hidastunut 1990-luvun alun jälkeen, mikä on sopusoinnussa sen kanssa, että metaanin kokonaispäästöt (luonnollisten päästöjen ja ihmisten aiheuttamien päästöjen yhteismäärä) ovat tänä aikana pysyneet lähes muuttumattomina. On hyvin todennäköistä⁶, että metaanipitoisuuden kasvu parin viime vuosisadan aikana on ihmiskunnan aikaansaamaa. Pääosin metaanipäästöt ovat peräisin maataloudesta ja fossiilisten polttoaineiden käytöstä, mutta eri päästölähteiden osuuksia ei ole kyetty määrittämään kovin tarkasti. {2.3, 7.4}
- Typpioksiduulin pitoisuus ilmakehässä on kasvanut esiteollisen ajan 270 ppb:stä 319 ppb:hen vuonna 2005. Kasvunopeus on ollut vuoden 1980 jälkeen suunnilleen vakio. Ihmiskunnan toimet, erityisesti maatalouden harjoittaminen, tuottavat runsaan kolmasosan kaikista typpioksiduulin päästöistä. {2.3, 7.4}

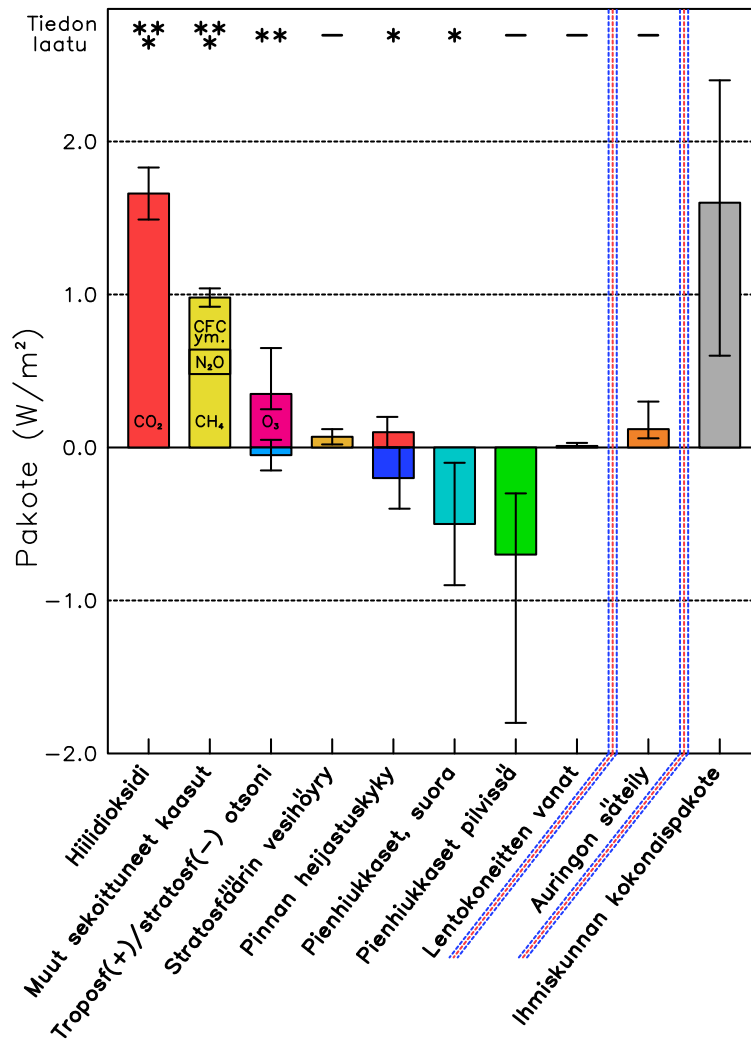
Ihmiskunnan toiminnasta aiheutuvat ilmastoja lämmittävät ja jäädyttävät pakotetekijät tunnetaan nyt paremmin kuin edellistä arviointiraporttia työstettäessä. Tiedeyhteisö luottaa nyt hyvin vahvas-

³ppm = tilavuuden miljoonasosa, ppb = tilavuuden miljardiosa. Nämä yksiköt kertovat samalla kasvihuonekaasun molekylärisen osuuden. Esimerkiksi hiilidioksidin pitoisuuden ollessa 300 ppm jokaista miljoonaa ilmakehän ilmakehän hiilidioksidimolekyyliä kohti ilmassa on 300 hiilidioksidimolekyyliä.

⁴Fossiilisiin hiilidioksidipäästöihin on laskettu mukaan fossiilisten polttoaineiden tuotannosta, kuljetuksista ja käytöstä sekä sementin valmistuksesta johtuvat päästöt. Päästöjä laskettaessa yksi tonni hiiltä vastaa 3.67 tonnia hiilidioksidia.

⁵Ellei ole toisin mainittu, tässä yhteenveto-osassa esitetyt epävarmuusvaikutukset ovat yleensä 90% todennäköisyysvälejä. Näin ollen oikea arvo voi jäädä 5% todennäköisyydellä hakasuluissa esitetyn haarukan alapuolella, samoin 5% todennäköisyydellä sen yläpuolella. Todennäköisyysvälin ohella kullekin tulokselle on pyritty antamaan paras arvio. Joskus tuloksen todennäköisyysjakauma on epäsymmetrinen, jolloin paras arvio ei ole välin keskikohdalla. Huomattakoon, että edellisessä arviointiraportissa käytettiin useissa kohdissa 95% epävarmuusvälejä.

⁶Tässä päätöksentekijöille tarkoitettussa yhteenvedossa esitetyt todennäköisyysarviot on tulkittava seuraavasti: käytännössä varma, todennäköisyys > 99%; erittäin todennäköinen, > 95%; hyvin todennäköinen, > 90%; todennäköinen, > 66%; todennäköisyys yli puolet, > 50%; epätodennäköinen, < 33%; hyvin epätodennäköinen, < 10%; erittäin epätodennäköinen, < 5% (Lisätietoja raportin teknillisen yhteenvedon laatikkotekstissä 1.1).



Kuva 2. Säteilypakotetta aiheuttavat tekijät (pylväät vasemmalta oikealle): (1) hiilidioksidin lisääntyminen, (2) muitten hyvin sekoittuneitten kasvihuonekaasujen (metaani, typpioksiduuli, halogenisoidut hiilivedyt ym.) lisääntyminen, (3) otsonin lisääntyminen troposfäärissä (lämmittävä) ja vähentyminen stratosfäärissä (jäähdyttävä), (4) metaanin hajotessa muodostunut stratosfäärin vesihöyry, (5) maan pinnan heijastuskyvyn muutokset (vaikutuksia molempiin suuntiin), (6) pienhiukkasten (aerosolihiukkasten) suora vaikutus, (7) pienhiukkasten epäsuora vaikutus (toimiminen pilvipisaroitten tiivistymisytiminä), (8) lentokoneitten tiivistymisvanat ja (9) auringonsäteilyn muutokset. Pylvään korkeus kertoo parhaan arvion säteilypakotteen suuruudelle, kunkin pylvään päässä oleva jana tämän arvion epävarmuusvälin. Kuvan yläreunassa on kerrottu tähtien lukumäärän avulla arvion tieteellinen hyvyys: kolme tähteä – ilmiö tunnetaan hyvin, ..., ei tähtiä – tunnetaan varsin huonosti. Säteilypakotteet on saatu vertaamalla v. 2005 tilannetta oloihin ennen teollista vallankumousta v. 1750. Viimeinen pylväs kuvaa ihmiskunnan aiheuttamien muutosten (pylväät 1–8) yhteisvaikutusta; tätä yhteisvaikutusta ei saada suoraviivaisesti eri pakotetekijöitä yhteenlaskemalla, sillä laskennassa on otettava huomioon eräiden pakotteiden epävarmuusvälien epäsymmetrisyys. Kuvasta on jätetty pois joitakin kovin huonosti tunnettuja pakotetekijöitä. Esimerkiksi tulivuorenpurkausten aiheuttama pakote vaihtelee ajan suhteen hyvin voimakkaasti. Lentokoneitten tiivistymisjuoviin liittyvä pakote ei sisällä lentoliikenteen mahdollista vaikutusta pilvisyyteen. (Englanninkielisen päätöksentekijäyhteenvedon vastaavassa kuvassa on hiukan enemmän tietoa, mm. pakotetekijöitten suuruudet numeroarvoina.) {2.9, Kuva 2.20}

ti⁷ siihen, että koko maapalloa tarkasteltaessa ja kaikki tekijät huomioiden ihmiskunta lämmittää maapalloa. Ihmisten aiheuttama kokonaissäteilypakote on $+1.6 \text{ W/m}^2$ [epävarmuusväli $0.6 - 2.4 \text{ W/m}^2$] (kuva 2). {2.3, 6.5, 2.9}

- Hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin lisääntyminen on aiheuttanut yhteenlaskettuna $+2.30 \text{ W/m}^2$ [epävarmuusväli $2.07 - 2.53 \text{ W/m}^2$] lämmittävän pakotteen. On hyvin todennäköistä, että näin nopeaa säteilypakotteen kasvua ei maapallolla ole koettu ainakaan kymmeneen tuhanteen vuoteen (kuvat 1 ja 2). Hiilidioksidin aiheuttama säteilypakote on kasvanut vuodesta 1995 vuoteen 2005 noin 20 prosenttia, eli nopeammin kuin kertaakaan viimeksi kuluneiden 200 vuoden aikana. {2.3, 6.4}
- Ihmiskunnan tuottamat ilmakehässä leijuvat aerosoli- eli pienhiukkaset (tärkeimpinä sulfaatit, orgaaniset hiiliyhdisteet, noki (=musta hiili), nitraatit ja pöly) pyrkivät jäädyttämään maapalloa. Kaikkien pienhiukkasten yhteenlaskettu suora säteilypakote on -0.5 W/m^2 [epävarmuusväli $-0.9 - -0.1 \text{ W/m}^2$] ja hiukkasista aiheutuva epäsuora, pilvien heijastuskyvyn lisääntymiseen liittyvä pakote -0.7 W/m^2 [$-1.8 - -0.3 \text{ W/m}^2$]. Hiukkasten aiheuttama pakote tunnetaan aiempaa paremmin, mikä johtuu mm. uusista maan pinnalta, tekokuista ja suoraan ilmakehästä tehdyistä mittauksista sekä mallituksen kehittymisestä. Näistä edistysaskeleista huolimatta hiukkaset ovat kokonaissäteilypakotetta laskettaessa suurin yksittäinen epävarmuustekijä. Edellä mainitun lisäksi pienhiukkaset vaikuttavat pilvien elinikään ja sateen esiintymiseen. {2.4, 2.9, 7.5}
- Monet muutkin ihmiskunnan toimet synnyttävät lämmittävää tai jäädyttävää säteilypakotetta. Troposfäärin otsonipitoisuus on lisääntynyt otsonin muodostumista edistävien kaasujen (typen oksidit, hähkäkaasu ja hiilivedyt) päästöistä johtuen; säteilypakote on $+0.35 \text{ W/m}^2$ [epävarmuusväli $+0.25 - +0.65 \text{ W/m}^2$]. Halogenisoitujen hiilivetyjen⁸ lisääntyminen on aiheuttanut $+0.34 \text{ W/m}^2$ [epävarmuusväli $+0.31 - +0.37 \text{ W/m}^2$] säteilypakotteen. Maankäytön muutoksista (metsien raivaaminen, aavikoituminen...) johtuva maan pinnan heijastuskyvyn lisääntyminen vaikuttaa jäädyttävästi (pakote -0.2 W/m^2 [$-0.4 - 0.0 \text{ W/m}^2$]), lumipintojen nokeentumisesta aiheutuva heijastuskyvyn aleneminen taas lämmittävästi (pakote $+0.1 \text{ W/m}^2$ [$0.0 - +0.2 \text{ W/m}^2$]). Muitten kuvassa 2 esitettyjen ihmisistä aiheutuvien pakotetekijöitten suuruus on korkeintaan $\pm 0.1 \text{ W/m}^2$. {2.3, 2.5, 7.2}
- Auringon säteilyn muutoksista on v. 1750 jälkeen koitunut $+0.12 \text{ W/m}^2$ [epävarmuusväli $+0.06 - +0.30 \text{ W/m}^2$] säteilypakote. Tälle säteilypakotteelle saatu uusi lukuarvo on vain alle puolet edellisessä arviointiraportissa esitetyistä arviosta. {2.7}

⁷Tässä yhteenvedossa käytetään seuraavia luottamustasoja ilmaisemaan asiantuntijoiden käsitystä tieteellisen väittämän oikeellisuudesta: hyvin vahva luottamus – oikein vähintään 9:ssä tapauksessa 10:stä; vahva luottamus – oikein noin 8:ssä tapauksessa 10:stä. (Selitetty tarkemmin teknillisen yhteenvedon laatikkotekstissä 1.1)

⁸Halogenisoitujen hiilivetyjen aiheuttamaa säteilypakotetta on arvioitu tarkemmin IPCC:n (2005) erikoisraportissa “Special Report on Safeguarding the Ozone Layer And the Global Climate System”.

3 Viimeaikainen ilmastonmuutos havaintojen valossa

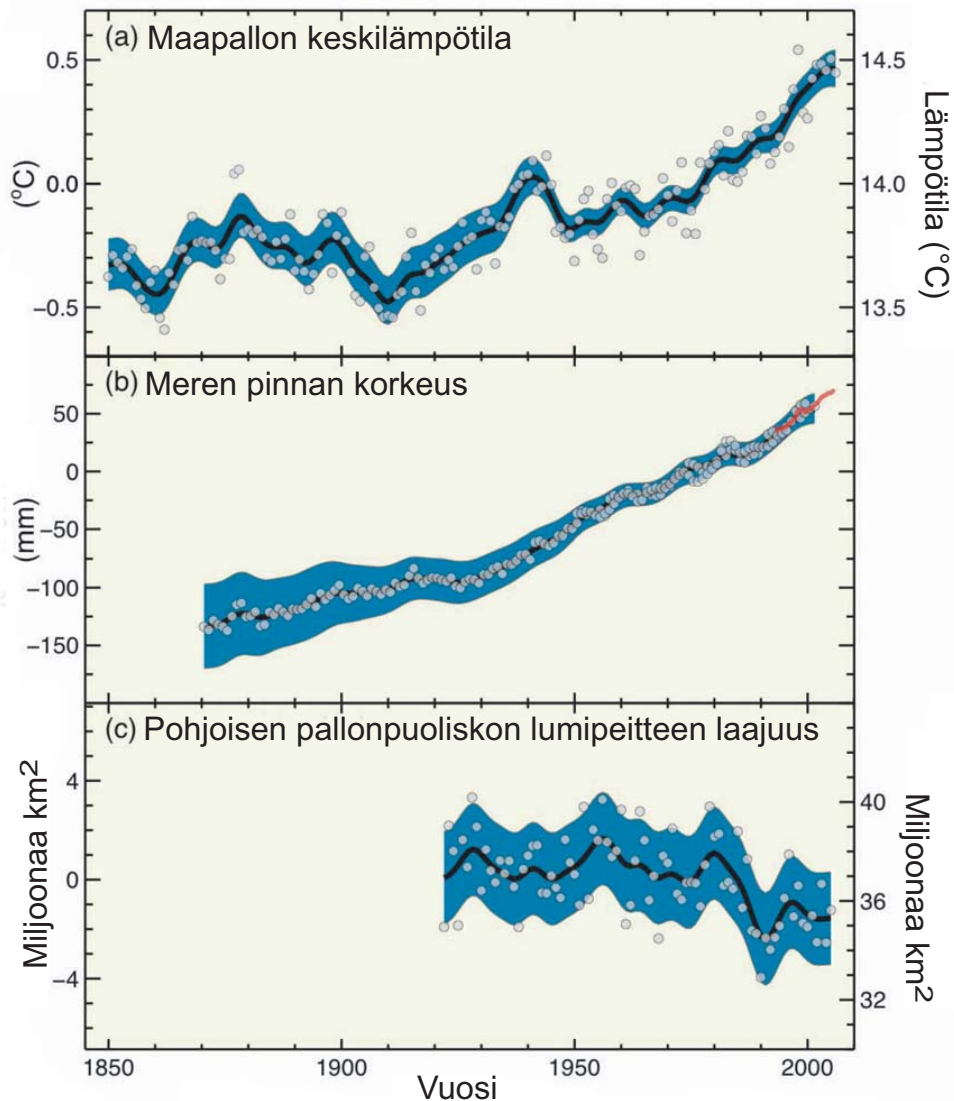
IPCC:n 3. arviointiraportin ilmestymisen jälkeen on opittu entistä paremmin ymmärtämään ilmaston ajallisia muutoksia eri puolilla maapalloa. Havaintoaineiston laatu on kohentunut ja havaintoajaksarjat ovat pidentyneet, havaintojen maantieteellinen kattavuus on parantunut, havaintoihin liittyviä epävarmuustekijöitä ymmärretään paremmin ja mittaustekniikka on monipuolistunut. Lumipeitteestä ja vuoristojäätiköistä on saatu entistä kattavampia havaintoja 1960-luvun jälkeiseltä ajalta, samoin merenpinnan korkeudesta ja napajäätiköistä viime vuosikymmeneltä lähtien. Monilla alueilla havaintoaineisto ei kuitenkaan ole vielä riittävän kattavaa.

Maapallon ilmaston lämpeneminen on kiistaton tosiasia. Koko maapallon keskimääräinen ilman ja meriveden lämpötila on noussut, jää- ja lumipeite on sulanut laajoilla alueilla ja valtamerien pinta on noussut (kuva 3). {3.2, 4.2, 5.5}

- Ajalta, jolta lämpömittareilla tehtyjä havaintoja on saatavilla (vuodesta 1850), koko maapallon mittassa⁹ kahdestatoista kaikkein lämpimimmistä vuodesta yksitoista on sattunut viimeksi kuluneiden 12 vuoden aikana (v. 1995–2006). Vuosina 1906–2005 lämpötilan keskimääräinen nousutrendi on ollut 0.74°C [epävarmuusväli 0.56 – 0.92 °C] sadassa vuodessa, kun edellisessä arviointiraportissa julkaistu vastaava jakson 1901–2000 trendi oli 0.6°C [epävarmuusväli 0.4 – 0.8 °C]. Viimeksi kuluneiden 50 vuoden aikana lämpötilan nousunopeus on ollut satavuotiseen trendiin verrattuna lähes kaksinkertainen, 0.13°C [epävarmuusväli 0.10 – 0.16 °C] kymmenessä vuodessa. Jaksosta 1850–1899 jaksoon 2001–2005 maapallon keskilämpötila on noussut 0.76°C [epävarmuusväli 0.57 – 0.95 °C]. Kaupunkien lämpösaareilmiö on vaikuttanut paikallisiin lämpötiloihin, mutta ilmiön vaikutus edellä esitettyihin maapallon keskilämpötilan laskettuihin trendeihin on mitättömän pieni (vähemmän kuin 0.006°C vuosikymmenessä maa-alueilla, merillä ilmiö ei vaikuta lainkaan). {3.2}
- Säähavaintopallojen ja tekokuitten avulla tehtyjen mittausten perusteella ala- ja keskitroposfäärin lämpötilan nousu näyttäisi nyt olevan linjassa pintalämpötilan nousun kanssa, kun otetaan huomioon erityyppisiin mittauksiin liittyvät epävarmuustekijät. Vielä edellisen arviointiraportin tulosten perusteella pinnan ja troposfäärin lämpenemisarviot näyttivät olevan ristiriidassa, mutta nyt tämä ongelma on siis pitkälti ratkennut. {3.2, 3.4}
- Ilmakehän sisältämän vesihöyryn määrä on kasvanut ainakin 1980-luvulta lähtien, niin maa- ja merialueilla kuin ylempänä troposfäärissäkin. Havaittu muutos vastaa suunnilleen sitä, kuinka paljon enemmän lämmenneen ilmakehän voidaan laskelmien perusteella olettaa kykenevän pitämään sisällään vesihöyryä. {3.4}
- Vuoden 1961 jälkeen tehdyt havainnot osoittavat, että valtameret ovat keskimäärin lämmenneet aina 3000 m syvyyteen asti. Yli 80% ilmastojärjestelmän lisääntyneestä lämpöenergian määrästä on varastoitunut meriin. Meriveden lämpölaajeneminen lisää meriveden tilavuutta, mikä on osaltaan vaikuttanut meren pinnan nousuun (taulukko 1). {5.2, 5.5}
- Vuoristojäätiköt ovat keskimäärin pienentyneet ja lumipeitteen laajuus supistunut molemmilla pallonpuoliskoilla. Jään sulaessa vapautunut vesi (Grönlannin ja Etelämantereen jäätiköt eivät sisälly

⁹Maapallon keskilämpötilaa laskettaessa maa-alueilla on käytetty maanpinnan läheisen ilman lämpötilaa, merillä veden pintalämpötilaa.

Poikkeama vuosien 1961–1990 keskiarvosta



Kuva 3. (a) Maapallon keskilämpötilan, (b) valtamerien pinnan korkeuden (mustalla vedenkorkeuden mitausasemien tiedoista ja punaisella tekokuuhavainnoista) ja (c) pohjoisen pallonpuoliskon maaliskuun–huhtikuun lumipeitteen laajuuden havaitut muutokset 1800-luvun puolivälin jälkeen. Kaikki muutokset on ilmaistu suhteessa kauden 1961–1990 keskiarvoon. Tasoitetut käyrät kuvaavat vuosikymmenten välistä vaihtelua, vaaleat ympyrät yksittäisten vuosien arvoja. Sinisellä varjostettu alue kertoo kunkin aikasarjan arvioidun epävarmuusvälin. {FAQ 3.1; kuvat 1, 4.2 ja 5.13}

Taulukko 1. Havaittu merenpinnan korkeuden kohoaminen (mm/vuosi) vuosina 1961–2003 ja 1993–2003 sekä eri tekijöitten vaikutus merenpinnan nousuun. Ennen vuotta 1993 havaitut merenpinnan korkeuden muutokset perustuvat vedenkorkeuden mittausasemien tietoihin, v. 1993 jälkeen tekokuista käsin tehtyihin korkeusmittauksiin. {5.5, taulukko 5.3}

Pinnan nousua aiheuttava tekijä	1961–2003	1993–2003
Meriveden lämpölaajeneminen	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Pienten jäätikköjen sulaminen	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Grönlannin jäätikkö	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Etelämantereen jäätikkö	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Eri tekijöitten yhteisvaikutus	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Havaittu merenpinnan nousu	1.8 ± 0.5	3.1 ± 0.7
Erotus (havaittu-tekijöitten summa)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

taulukon tämän rivin lukuihin) on ollut yksi merenpinnan nousua aiheuttava tekijä (taulukko 1). {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}

- Edellisen arviointiraportin laatimisen jälkeen saadut uuden havainnot osoittavat, että Grönlannin ja Etelämantereen jäätiköitten massa on vuosina 1993–2003 hyvin todennäköisesti vähentynyt, mikä on vaikuttanut meren pintaa nostavasti (taulukko 1). Jään virtaus on nopeutunut joidenkin Grönlannin ja Etelämantereen sisäosista rannikolle jäätä siirtävien jäätikkövirtojen suualueilla, jolloin jäätä siirtyy pois jäätiköitten keskusalueilta. Tähän liittyvää jäätikön massan pienenemistä on usein edeltänyt kelluvien jäähyllysten (jäätikön meressä kelluva osa) oheneminen, pientyminen tai häviäminen. Tällainen jään virtausten muutoksiin liittyvä jään määrän vähenemisen selittää pääosin Etelämantereen jäätikön massan havaitun pienenemisen ja Grönlannin jäätikön hävikistä noin puolet. Loppuosa Grönlannin jäätikön kutistumisesta selittyy sillä, että jään sulaminen on ollut voimakkaampaa kuin lumisateista peräisin oleva massan lisääntyminen. {4.6, 4.8, 5.5}
- Valtamerien pinta nousi vuodesta 1961 vuoteen 2003 keskimäärin 1.8 mm [epävarmuusväli 1.3 – 2.3 mm] vuodessa. Vuosina 1993–2003 nousu oli nopeampaa, keskimäärin 3.1 mm [epävarmuusväli 2.4 – 3.8 mm] vuodessa. Ei osata sanoa, johtuuko vuosina 1993–2003 havaittu nopeampi nousu luonnollisesta vaihtelusta vai onko kyseessä muutos pitkän aikavälin trendissä. Vahvasti uskotaan sen sijaan siihen, että merenpinnan nousu on 1900-luvulla ollut nopeampaa kuin 1800-luvulla. 1900-luvun aikana meren pinta nousi arviolta 0.17 m [epävarmuusväli 0.12 – 0.22 m]. {5.5}
- Vuosina 1993–2003 eri tekijöitten summana laskettu merenpinnan nousu oli — epävarmuustekijät huomioon ottaen — sopusoinnussa pinnan havaitun nousun kanssa (taulukko 1). Uusimmat arviot perustuvat entistä tarkempiin tekokuista ja paikan päältä tehtyihin mittauksiin. Vuosina 1961–2003 eri tekijöitten lasketut osuudet sen sijaan eivät olisi riittäneet selittämään havaittua nousua. Vastavaanlainen ristiriita todettiin myös edellisessä arviointiraportissa tarkasteltaessa merenpinnan nousua vuosien 1910 ja 1990 välisenä aikana. {5.5}

Ilmaston on havaittu muuttuneen eri puolilla maapalloa, sekä kokonaisten maanosien ja valtamerialtainten mittakaavassa että pienemmillä alueilla. Muutoksia on havaittu esimerkiksi pohjoisten napa-alueitten lämpötiloissa ja jääoloissa, sademäärissä eri puolilla maapalloa, meriveden suola-

pitoisuuksissa, tuulioloissa sekä erilaisten sään ääri-ilmiöitten, kuten kuivuuden, kovien sateitten, helleaaltojen ja trooppisten hirmumyrskyjen¹⁰ esiintymisessä. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- Pohjoisilla napa-alueilla keskimääräiset lämpötilat ovat viimeksi kuluneen sadan vuoden aikana nousseet lähes kaksi kertaa niin nopeasti kuin maapallolla keskimäärin. Napaseudulla lämpötilat toisin vaihtelevat hyvin paljon vuosikymmenestä toiseen, ja siellä oli varsin lämmintä myös vuosina 1925–1945. {3.2}
- Vuoden 1978 jälkeen tehdyt tekokuuhavainnot osoittavat, että pohjoisten napa-alueitten merillä keskimääräinen vuotuinen jääpeitteen laajuus on pienentynyt 2.7% [epävarmuushaarukka 2.1 – 3.3%] vuosikymmenessä. Kesällä jään pinta-alan väheneminen on ollut vieläkin nopeampaa, 7.4% [5.0 – 9.8%] kymmenessä vuodessa. Nämä arvot ovat sopusoinnussa edellisen arviointiraportin tulosten kanssa. {4.4}
- 1980-luvun jälkeen pohjoisten alueitten ikiroutakerroksen pintaosissa lämpötila on paikoin noussut jopa kolme astetta. Osan vuotta routaantuvan alueen laajuus on 1900-luvun alun jälkeen vähentynyt pohjoisella pallonpuoliskolla 7%; keväisin jäätynyttä maa-aluetta on jopa 15% entistä vähemmän. {4.7}
- Sademäärissä on vuosina 1900–2005 havaittu pitkäaikaisia trendejä monilla maapallon alueilla¹¹. Sademäärien on havaittu selvästi lisääntyneen Pohjois- ja Etelä-Amerikan itäosissa, Pohjois-Euroopassa sekä Aasian keski- ja pohjoisosissa. Entistä vähemmän taas on satanut Sahelin ja Väli-meren alueilla, eteläisessä Afrikassa ja joillakin alueilla Etelä-Aasiassa. Sademäärät kuitenkin vaihtelevat hyvin voimakkaasti sekä ajan että paikan suhteen, eikä kaikilta alueilta ole käytössä riittävästi havaintoja. — Muilla kuin edellämainituilla alueilla ei ole havaittu laaja-alaisia sademäärän trendejä. {3.3, 3.9}
- Meriveden suolapitoisuus on alentunut keski- ja korkeilla leveysasteilla, matalilla leveysasteilla noussut. Tämä viittaa siihen, että sademäärien ja haihtumisen jakaumat ovat muuttuneet merialueillakin. {5.2}
- Keskileveysasteitten länsituulet ovat voimistuneet molemmilla pallonpuoliskoilla 1960-luvulta lähtien. {3.5}
- 1970-luvun jälkeen on esiintynyt entistä ankarampia, pitempiä ja laajempia alueita koettelevia kuivuuskausia, erityisesti trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla. Kuivuuden syynä voi tapauksesta riippuen olla sademäärän väheneminen ja/tai entistä korkeampi lämpötila. Kuivuuden esiintymiseen ovat vaikuttaneet myös meren pinnan lämpötilojen ja tuulten jakauman muutokset sekä lumen väheneminen {3.3}
- Rankkoja sateita esiintyy suurimmalla osalla manneralueita aikaisempaa useammin, mikä on sopusoinnussa sen kanssa että ilman lämpötila on kohonnut ja vesihöyryn määrä samalla lisääntynyt. {3.8, 3.9}
- Ääriämpötilojen esiintymisessä on viimeisten 50 vuoden aikana havaittu muutoksia laajoilla alueilla. Koleat päivät, kylmät yöt ja pakkasjaksot ovat harvinaistuneet, kun taas kuumia päiviä, lämpimiä öitä ja hellekausia esiintyy entistä useammin (taulukko 2). {3.8}

¹⁰Trooppisilla hirmumyrskyillä tarkoitetaan mm. taifuuneita ja hurrikaaneja.

¹¹Tarkastellut alueet ovat samoja kuin mitä käytettiin edellisessä arviointiraportissa ja tämän raportin 11. luvussa alueellisia ilmastoennusteita esitettäessä.

Taulukko 2. (i) Eräitten sään ääri-ilmiöitten esiintymisen havaitut muutokset 1900-luvun jälkipuolella (useimmissa tapauksessa vuoden 1960 jälkeen) todennäköisyyksinä ilmaistuna; (ii) todennäköisyys sille, että ihmiskunnan tuottamat päästöt ovat olleet aiheuttamassa havaittua muutosta; (iii) SRES-skenaarioihin (skenaarioista tarkemmin tämän yhteenvedon lopussa olevassa laatikkotekstissä) pohjautuvien mallikokeitten antama todennäköisyys sille, että ilmiön esiintymissä on odotettavissa muutoksia vuoteen 2100 mennessä. {Taulukot 3.7, 3.8 ja 9.4; kappaleet 3.8, 5.5, 9.7 ja 11.2-11.9}

Ilmiö ^a , trendin suunta	Trendiä 1900-luvun lopulla	Ihmisten vaikutus ^b	Trendiä vuoteen 2100
Entistä vähemmän (ja entistä leudompina) kylmiä päiviä ja öitä useimmilla maa-alueilla	Hyvin todennäköistä ^c	Todennäköistä ^d	Käytännössä varmaa ^d
Entistä useammin (ja entistä kuumempina) kuumia päiviä ja öitä useimmilla maa-alueilla	Hyvin todennäköistä ^e	Todennäköistä (yö) ^d	Käytännössä varmaa ^d
Helleaallot yleistyvät useimmilla maa-alueilla	Todennäköistä	Todennäköisyys > 50% ^f	Hyvin todennäköistä
Kovat rankkasateet (tai niitten osuus kokonaissademäärästä) lisääntyvät useimmilla alueilla	Todennäköistä	Todennäköisyys > 50% ^f	Hyvin todennäköistä
Kuivuuden vaivaama alue laajenee	Todennäköistä (monilla alueilla 1970-luvulta alkaen)	Todennäköisyys > 50%	Todennäköistä
Entistä enemmän voimakkaita trooppisia hirmumyrskyjä	Todennäköistä (monilla alueilla 1970-luvulta alkaen)	Todennäköisyys > 50% ^f	Todennäköistä
Meren pinta nousee hyvin korkealle entistä useammin (muista syistä kuin maanjäristyksistä johtuen) ^g	Todennäköistä	Todennäköisyys > 50% ^{f h}	Todennäköistä ⁱ

^a Tarkemmat määrittelyt varsinaisen raportin taulukossa 3.7

^b Teknillisen yhteenvedon taulukko 4 ja laatikkoteksti 3.4; raportin taulukko 9.4

^c Kylmien päivien ja öitten (kylmin 10%) määrä vähentynyt

^d Vuoden kaikkein kylmin/lämpimin yö ja päivä lämpenevät

^e Kuumat päivät ja yöt (lämpimin 10%) yleistyneet

^f Ihmiskunnan päästöjen osuutta ilmiöön ei ole arvioitu kvantitatiivisesti, vaan tulos perustuu asiantuntijoiden esittämiin näkemyksiin.

^g Meren tulvimista voi aiheuttaa sekä keskimääräinen merenpinnan korkeuden nousu että sääilmiöitten aiheuttama merenpinnan heilahtelu. Tässä "korkea merenpinta" tarkoittaa tasoa, joka tunnin välein tehdyissä havainnoissa on ylittynyt 1%:ssa kaikista tapauksista.

^h Havaitut muutokset sellaisten tilanteitten esiintymisessä, jolloin meren pinta nousee hetkellisesti hyvin korkealle, liittyvät lähinnä keskimääräisen merenpinnan tason nousuun {5.5.2.6}. On hyvin todennäköistä, että ihmiskunnan aiheuttama ilmaston lämpeneminen on jo vaikuttanut keskimääräistä merenpintaa nostavasti {9.5.2}.

ⁱ Kaikissa skenaarioissa keskimääräinen merenpinta on vuonna 2100 korkeammalla kuin 1900-luvun lopulla {10.6}. Sääilmiöistä johtuvan merenpinnan korkeuden heilahtelun vaikutusta hetkellisten meren pinnan hyvin korkeiden arvojen esiintymiseen ei ole arvioitu.

- Havainnot osoittavat hyvin voimakkaisten trooppisten hirmumyrskyjen yleistyneen Pohjois-Atlannilla vuoden 1970 jälkeen, mikä on yhteydessä meren pintalämpötilan nousuun. Voimakkaat trooppiset hirmumyrskyt ovat mahdollisesti lisääntyneet eräillä muillakin alueilla, mutta näiden alueiden havaintoaineisto on varsin puutteellista. Trooppisten hirmumyrskyjen esiintyminen kuitenkin vaihtelee varsin paljon vuosikymmenestä toiseen, ja ennen 1970-luvun alkua myös kattavien tekokuuhavaintojen puuttuminen vaikeuttaa pitkäaikaisten trendien löytämistä. — Trooppisten hirmumyrskyjen vuotuisessa kokonaislukumäärässä ei näytä tapahtuneen selviä muutoksia. {3.8}

Joissakin ilmaston piirteissä ei ole havaittu muutoksia. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

- Edellisessä arviointiraportissa todettiin lämpötilan vuorokautisen vaihteluvälin pienentyneen; tämä päätelmä perustui vuosien 1950-1993 havaintoaineistoon. Päivitetyt havainnot kuitenkin osoittavat, että vaihtelun suuruus ei ole enää muuttunut vuodesta 1979 vuoteen 2004. Tänä aikana päivälämpötilat ovat nousseet suunnilleen yhtä paljon kuin yölämpötilatkin (suom. huom: ilmeisesti näin koko maapallolla keskimäärin). Trendit kuitenkin vaihtelevat suuresti eri alueilla. {3.2}
- Eteläisen jäämeren jääpeitteen pinta-ala vaihtelee vuodesta toiseen, mutta jääpeitteen laajuudessa ei ole havaittu pitkäaikaista trendiä. Tämä on sopusoinnussa sen kanssa, etteivät myöskään lämpötilat ole tällä alueella keskimäärin nousseet. {3.3, 4.4}
- Havaintojen perusteella on mahdotonta sanoa, onko valtamerien meridionaalisessa kiertoliikkeessä tapahtunut muutoksia. Ei myöskään tiedetä, onko sellaisten pienimittakaavaisten sääilmiöitten kuten tornadojen, raesateiden, ukkosten tai pölymyrskyjen esiintymisessä mahdollisesti ollut muutoksia. {3.8, 5.3}

4 Ilmastomuutokset kaukaisessa menneisyydessä

Käyttämällä luonnon arkistoihin tallentuneita epäsuorasti ilmastosta kertovia tietolähteitä voidaan tutkia ilmastomuutoksia ennen mittareilla tehtyjen havaintojen aikaa, aina miljoonia vuosia taaksepäin. Tällaisena epäsuorana ilmastotietoaineistona voivat toimia esimerkiksi puitten vuosirenkaiden paksuudet. Aineistoihin tallentunut tieto voi riippua sekä lämpötiloista että muista ilmastosuureista, kuten sademääristä; usein tällaiset aineistot kertovat jonkun tietyn vuodenajan, eivät koko vuoden ilmasto-oloista. Edellisen arviointiraportin laatimisen jälkeisissä tutkimuksissa muinaista ilmastoa on opittu arvioimaan entistä luotettavammin, kun erilaiset eri puolilta maapalloa peräisin olevat epäsuorat ilmastotiedot ovat antaneet keskenään yhteensopivia tuloksia. Kuitenkin epäsuorat ilmastoarviot käyvät sitä epävarmimmiksi mitä kauemmaksi menneisyyteen halutaan nähdä, mm. siksi että silloin tietoja puuttuu yhä laajemmilta alueilta.

Paleoklimatologisissa tutkimuksissa on päädytty siihen, että viimeisten 50 vuoden aikana on ollut lämpimämpää kuin kertaakaan vähintään 1300 vuoteen. Viimeksi napa-alueitten ilmasto oli selvästi nykyistä lämpimämpi n. 125000 vuotta sitten. Tuolloin napajäätiköitten kutistuessa vapautunut vesi nosti valtamerien pintaa 4-6 metriä. {6.4, 6.6}

- Pohjoisen pallonpuoliskon keskilämpötila oli 1900-luvun jälkipuolella hyvin todennäköisesti korkeampi kuin ainoanaakaan toisena 50 vuoden jaksona viimeksi kuluneen 500 vuoden aikana; todennäköisesti oli lämpimämpää kuin yhtenäkkään tällaisena jaksona 1300 vuoteen. Muutamat viimeaikaiset tutkimukset viittaavat siihen, että pohjoisen pallonpuoliskon lämpötilat ovat vaihdelleet voimakkaammin kuin mitä edellistä arviointiraporttia kirjoitettaessa uskottiin. Viileitä kausia esiintyi 1100-, 1300-, 1600- ja 1800-luvuilla. Ennen 1900-lukua esiintyneinä lämpiminä kausina lämpötilat olivat nykyistenkin arvioitten mukaan edellisessä raportissa esitettyjen lämpötila-aikasarjojen epävarmuushaarukan sisäpuolella. {6.6}
- Edellisen jääkausien välivaiheen aikana n. 125000 vuotta sitten valtamerien pinta oli todennäköisesti 4-6 metriä nykyistä korkeammalla. Tämä johtui pääasiassa napajäätiköitten osittaisesta sulamisesta. Jääkairauksista saadut tiedot osoittavat, että napa-alueilla keskilämpötilat olivat tuolloin 3-5°C nykyistä korkeampia. Syynä lämpimyyteen oli, että maan kiertorata auringon ympäri poikkesi hiukan nykyisestä. Grönlannin mannerjäätiköstä ja muista pohjoisista napajäätiköistä vapautunut vesi todennäköisesti selitti tapahtuneesta merenpinnan noususta korkeintaan 4 metriä. Osa valtamerien lisääntyneestä vesimäärästä on saattanut olla peräisin myös Etelämantereen jäätiköstä. {6.4}

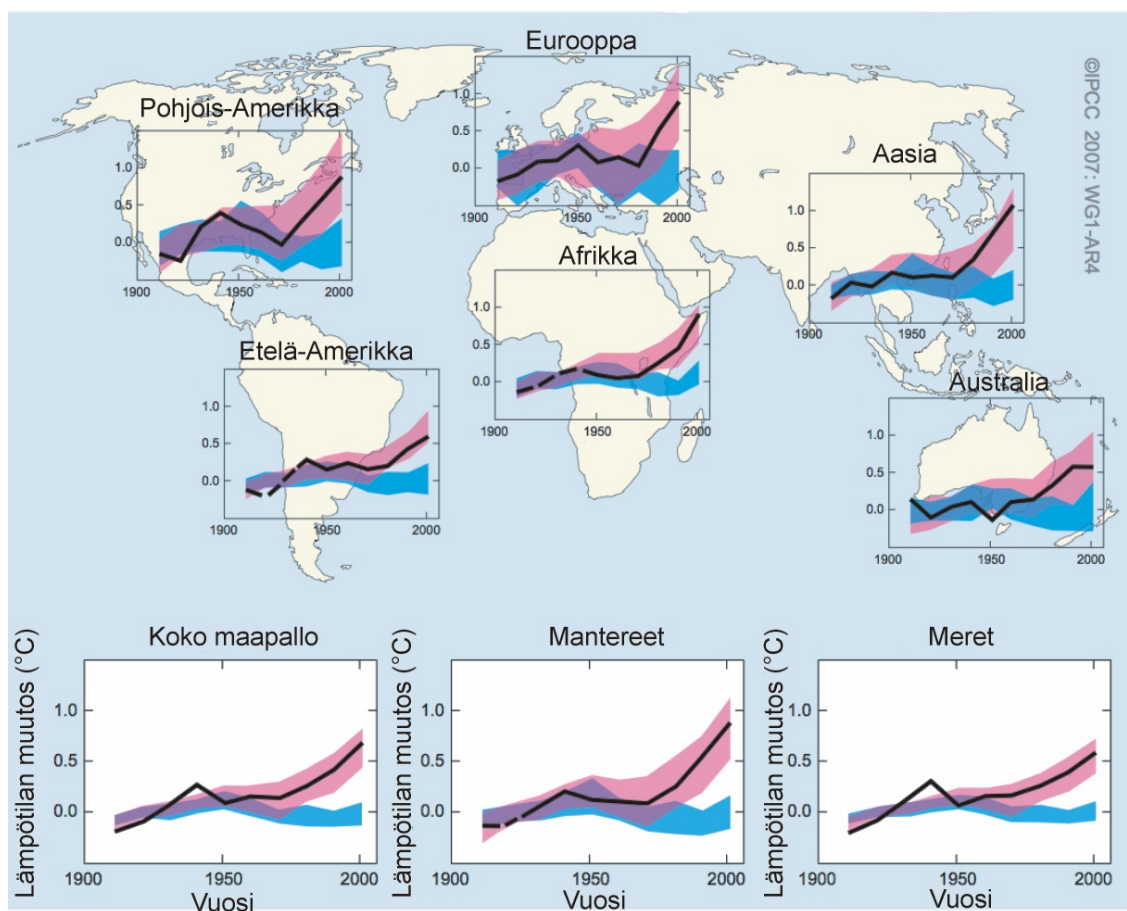
5 Mistä havaittu ilmastonmuutos johtuu?

Tätä arviointiraporttia kirjoitettaessa on voitu käyttää pitempiä ja parempilaatuisia havaintoaikasarjoja kuin edellisellä arviointikierroksella, ja uusimmissa tutkimuksissa ilmastoa ja sen havaittuja vaihteluita on kyetty simuloimaan aikaisempaa paremmin. Näin on mahdollista arvioida, pystytäänkö tähänastisia havaittuja ilmaston muutoksia selittämään kvantitatiivisesti tunnettujen ulkoisten pakotetekijöitten avulla, ja voidaanko samalla muut fysikaalisesti mahdolliset vaihteluitten selitysteoriat sulkea pois laskuista.

1900-luvun puolivälin jälkeen havaittu maapallon keskilämpötilan nousu johtuu hyvin todennäköisesti valtaosin ihmiskunnan tuottamien päästöjen aiheuttamasta kasvihuonekaasujen pitoisuuksien lisääntymisestä¹². Tämä johtopäätös on vankempi kuin edellisessä arviointiraportissa, jossa todettiin viimeksi kuluneen 50 vuoden aikana tapahtuneen ilmaston lämpenemisen todennäköisesti suurimmaksi osaksi johtuvan kasvihuonekaasujen lisääntymisestä. Ihmiskunnan vaikutus ilmastoon on nyt nähtävissä muutoinkin kuin vain maapallon keskilämpötilassa, esimerkiksi valtamerien ja yksittäisten maanosien lämpötiloissa, äärimmäisten lämpötilojen esiintymisessä ja tuulioloissa (kuva 4, taulukko 2). {9.4, 9.5}

- Kasvihuonekaasujen lisääntyminen yksinään olisi todennäköisesti kyennyt lämmittämään maapalloa enemmänkin kuin mitä on havaittu. Tämä johtuu siitä, että tulivuorista peräisin olevat ja ihmiskunnan tuottamat pienhiukkaset ovat osittain kumonnet kasvihuonekaasuista johtuvan lämpenemisen. {2.9, 7.5, 9.4}
- Ilmakehä ja valtameret ovat viimeisten 50 vuoden aikana lämmenneet laajoilla alueilla, ja samalla jään määrä on vähentynyt. On erittäin epätodennäköistä, että tätä maapallonlaajuista ilmastomuutosta olisi mahdollista selittää ilman mitään ulkoista pakotetta, ja myös hyvin todennäköistä, että

¹²Jäljellejääneitten epävarmuustekijöitten käsittely perustuu nykyisin käytössä oleviin menetelmiin.



Kuva 4. Havaittujen ja ilmastomalleilla simuloitujen pintalämpötilan muutosten vertailua kuudessa maanosassa, koko maapallolla keskimäärin sekä erikseen manner- ja merialueilla. Havaituista vuosien 1906-2005 lämpötiloista lasketut 10-vuotiskeskisarvot on kuvissa esitetty mustilla käyrillä, käyttäen nollatasona kauden 1901-1950 keskiarvoa. Katkoviivoja on käytetty silloin, kun havaintojen alueellinen kattavuus on ollut alle 50%. Siniset nauhat kertovat lämpötilan vaihtelun 90% (5-95%) todennäköisyysvälin sellaisissa mallikokeissa (19 malliajota 5 ilmastomallilla), joissa pakotteena on käytetty ainoastaan luonnollisia tekijöitä: tulivuorenpurkauksia ja auringon säteilyn muutoksia. Punaisiin nauhoihin on merkitty vastaavat 90% todennäköisyysvälit sellaisten mallikokeitten (58 malliajota 14 ilmastomallilla) perusteella, joissa pakotteena on käytetty sekä luonnollisia tekijöitä että ihmiskunnan tuottamia päästöjä. {FAQ 9.2, kuva1}

pelkästään luonnolliset tekijät (suom. huom: kuten tulivuorenpurkaukset ja auringon säteilyn muutokset) eivät olisi riittäneet aiheuttamaan tällaista lämpötilojen nousua. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}

- Ilmaston lämpeneminen näkyy niin maan pinnan, ilmakehän kuin meren muutaman sadan metrin paksuisen pintakerroksen lämpötiloissakin. Myös meren pinta on noussut. Tutkimukset ovat vahvistaneet, että kaikki nämä ilmiöt liittyvät ainakin osittain ihmiskunnan aiheuttamaan ilmaston muutokseen. Troposfäärin havaittu lämpeneminen ja stratosfäärin jäähtyminen on hyvin todennäköisesti aiheutunut kasvihuonekaasujen lisääntymisestä ja samanaikaisesta stratosfäärin otsonin määrän vähentymisestä. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- Ihmiskunnan toimet ovat viimeisten 50 vuoden aikana todennäköisesti aiheuttaneet merkittävää ilmaston lämpenemistä kaikilla muilla mantereilla paitsi Etelämantereella (kuva 4). Lämpenemisen havaittua maantieteellistä jakaumaa, esimerkiksi manneralueitten meriä nopeampaa lämpenemistä, samoin kuin lämpenemisen etenemistä ajan suhteen, kyetään selittämään ainoastaan sellaisten ilmastomallikokeitten avulla, joissa ihmiskunnan päästöt on otettu huomioon. Koska nykyiset kytkeytyvät ilmastomallit kykenevät simuloimaan lämpötilojen muutoksia eri mantereilla näinkin hyvin, voidaan olla entistä varmempia, että ihmiskunta on ollut osaltaan aiheuttamassa havaittua ilmaston muutosta. {3.2, 9.4}
- Yksittäistä mannerta pienemmässä alueellisessa mittakaavassa havaittuja lämpötilan muutoksia on edelleen vaikea simuloida malleilla. Pienemmillä alueilla ilmaston luonnollinen vaihtelu on voimakasta, ja tämän hälyn takaa ulkoisten pakotetekijöitten vaikutusta on vaikeampi nähdä. Pienempien alueitten lämpötiloihin vaikuttavat myös monet huonosti tunnetut paikalliset pakotteet ja palauteilmiöt. Siksi on vaikea arvioida, kuinka suuri osuus jonkun tietyn pienen alueen lämpötilojen muutoksista johtuu kasvihuonekaasujen lisääntymisestä. {8.3, 9.4}
- Ihmiskunnan päästöt ovat todennäköisesti vaikuttaneet tuulien jakaumaan¹³. Ilmavirtauksien muutokset taas ovat vaikuttaneet ei-trooppisten säähäiriöitten reitteihin ja lämpötilan maantieteelliseen jakaumaan molemmilla pallonpuoliskoilla. Pohjoisella pallonpuoliskolla tähänastiset havaitut ilmakehän virtausten muutokset ovat itse asiassa olleet isompia kuin mitä mallisimulointien perusteella olisi ollut odotettavissa. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}
- Kaikkein kylmimpien ja lämpimimpien öitten sekä koleimpien päivien lämpötilat ovat nousseet, ja tähänkin lämpötilan nousuun ihmiskunnan päästöt ovat todennäköisesti olleet vaikuttamassa. Yli 50% todennäköisyydellä ihmiskunnan vaikutus näkyy myös helleaaltojen yleisyydessä (taulukko 2). {9.4}

Havaintotietoja ja mallikokeitten tuloksia vertailemalla voidaan nyt ensimmäistä kertaa esittää todennäköinen vaihteluväli, jonka sisäpuolelle ilmaston herkkyytluku osuu. Tämä antaa uskoa siihen, että säteilypakotteen ilmastojärjestelmässä aiheuttamat muutokset ymmärretään nykyään aiempaa paremmin. {6.6, 8.6, 9.6, laatikkoteksti 10.2}

- Ilmaston herkkyytluku kertoo, miten paljon maapallon keskilämpötila pitkällä aikavälillä nousisi, jos ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kaksinkertaistuisi teollistumisen aikaa edeltävään tasoon verrattuna. Herkkyytluvun arvo on todennäköisesti 2°C ja 4.5°C:n välillä. Paras arvio luvulle on n.

¹³Erityisesti molempien pallonpuoliskojen keski- ja korkeitten leveysasteitten länsivirtauksiin ja Pohjois-Atlantin värähtelyyn (NAO) indeksiin. {3.6, 9.5; teknillisen yhteenvedon laatikkoteksti 3.1}

3°C, ja on hyvin epätodennäköistä että arvo olisi pienempi kuin 1.5°C. Ei ole aivan mahdotonta sekään, että herkkyyksluvun arvo olisi selvästi suurempikin kuin 4.5°C, mutta näin suuret arvot eivät kovin hyvin käy yksiin havaintojen kanssa. Tärkein herkkyyksluvun arvoon vaikuttava palauteilmiö liittyy ilmakehän vesihöyrysisällön muutoksiin. Asiaa ymmärretään nyt paremmin kuin edellisen arviointiraportin aikoihin. Eniten epävarmuutta herkkyyksluvun arvoon taas aiheuttaa pilvisyyteen liittyvä palauteilmiö. {8.6, 9.6, laatikkoteksti 10.2}

- On hyvin epätodennäköistä, että 1900-luvun puoliväliä edeltäneiden 700 vuoden aikana esiintyneet ilmaston vaihtelut olisivat aiheutuneet yksinomaan ilmastojärjestelmän itsensä sisäisestä heilahtelusta. Merkittävä osa tämän jakson pitkäkestoista lämpötilan vaihteluista pohjoisella pallonpuoliskolla on hyvin todennäköisesti johtunut tulivuorenpurkauksista ja auringon säteilyn vaihteluista. 1900-luvun alkupuolella tapahtunut lämpeneminen sen sijaan todennäköisesti on jo osittain liittynyt ihmiskunnan tuottamiin kasvihuonekaasupäästöihin. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

6 Tulevaisuudessa odotettavissa olevat ilmastonmuutokset

Tätä raporttia laadittaessa on ollut käytössä paljon enemmän ilmastomalleja ja niillä tehtyjä ajoja kuin edellisellä arviointikierroksella. Näitten malliajojen tuloksia käyttämällä voidaan arvioida kvantitatiivisesti monia tulevaisuuden ilmaston piirteitä, ja samalla arvioida erilaisten muutoksien todennäköisyyksiä. Mallikokeissa on simuloitu erilaisia vaihtoehtoisia tulevaisuuden kehityssuuntia, joissa kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuudet kehittyvät eri tavoin. Laskelmia on tehty mm. siitä, miten ilmasto muuttuu tämän vuosisadan aikana, jos päästöt otetaan SRES-päästöskenaarioista. Lisäksi on arvioitu ilmaston kehittymistä tilanteessa, jossa kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksien kasvu olisi saatu jähdytettyä joko vuonna 2000 tai 2100.

Lähimmän 20 vuoden aikana maapallon keskilämpötilan ennustetaan nousevan n. 0.2 asteella vuosikymmenessä, ja tämä lämpenemisnopeus on oleellisesti samansuuruinen kaikissa SRES-skenaarioissa¹⁴. Jopa siinäkin kuvitteellisessa tilanteessa, että kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuudet olisivat lakanneet kasvamasta v. 2000, lämpeneminen jatkuisi n. 0.1°C:lla vuosikymmenessä. {10.3, 10.7}

- IPCC:n (1990) 1. arviointiraportissa ja sitä seuraavissa raporteissa ennustettiin maapallon keskimääräisen lämpötilan v. 1990-2005 nousevan 0.15 - 0.3 astetta vuosikymmenessä. Havaintojen mukaan lämpötila on tänä aikana noussut 0.2°C/10 a, mikä siis vastaa erinomaisen hyvin aiempia ennustuksia. {1.2, 3.2}
- Mallikokeitten mukaan lämpeneminen jatkuisi lähivuosisikymmeninä n. 0.1 asteen verran vuosikymmenessä siinäkin tapauksessa, että kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksien kasvu olisi saatu pysäytettyä v. 2000. Tämä johtuu siitä, että valtamerien lämpeneminen on hidasta

¹⁴Lyhenne "SRES" viittaa IPCC:n (2000) päästöskenaarioita käsittelevään erikoisraporttiin (Special Report on Emission Scenarios). SRES-päästöskenaarioista on kerrottu tämän yhteenvedon lopussa olevassa laatikkotekstissä. Pyörein luvuin esitettyinä eri SRES-skenaarioita vastaavat tehoisat hiilidioksidipitoisuudet (kaikkien kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten yhteenlaskettu säteilypakote vastaavan ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden avulla ilmaistuna) v. 2100 ovat: B1 - 600 ppm; A1T - 700 ppm; B2 - 800 ppm; A1B - 850 ppm; A2 - 1250 ppm; A1FI - 1550 ppm. Valtaosassa niistä mallikokeista, joitten tuloksia tässä raportissa esitellään, on käytetty pakotteena joko B1-, A1B- tai A2-skenaarioitten mukaisia kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksia.

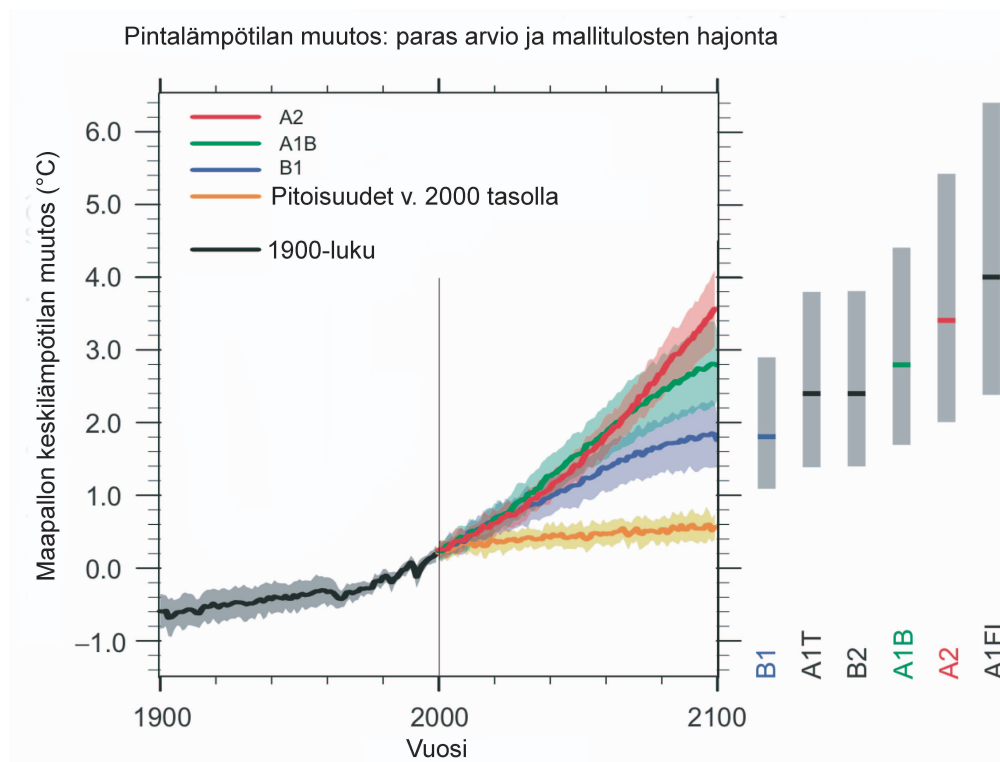
Taulukko 3. Ennustettu maapallon keskilämpötilan nousu ja merenpinnan kohoaminen siirryttäessä jaksosta 1980–1999 jaksoon 2090–2099. SRES-skenaarioita vastaavat lämpötilaennusteet perustuvat erityyppisillä ilmastomalleilla (varsinaiset kolmiulotteiset kytketyt ilmakehä-valtameriallit sekä eri tavoin yksinkertaiset mallit) tehtyihin kokeisiin. Niissä kokeissa, joissa pitoisuudet on jäädytetty v. 2000 tasolle, on käytetty yksinomaan kolmiulotteisia malleja. Merenpinnan korkeuden ennusteissa ei ole otettu huomioon Grönlannin ja Etelämantereen jäätiköitten virtausten mahdollisia nopeita muutoksia. {10.5, 10.6, Taulukko 10.7}

Pitoisuusskenaario	Lämpötilan muutos (°C)		Merenpinnan nousu (m)
	Paras arvio	Epävarmuusväli	Epävarmuusväli
Pitoisuudet v. 2000 tasolla	0.6	0.3 – 0.9	-
B1-skenaario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T-skenaario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2-skenaario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B-skenaario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2-skenaario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI-skenaario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

ja seuraa viipeellä kasvihuonekaasujen pitoisuuksien nousua. Tähän verrattuna suunnilleen kaksinkertaista lämpenemisnopeutta (0.2°C/10 a) voidaan odottaa siinä tapauksessa, että päästöjen kasvu jatkuu SRES-skenaarioiden mukaisena. Mallikokeet viittaavat siihen, että kaikkialla asutuilla manneralueilla lämpeneminen on 2030-luvulle saakka suunnilleen yhtä voimakasta kaikissa SRES-skenaarioissa. Erittäin todennäköisenä pidetään, että jo tuolloin lämpeneminen ylittäisi mallien ennustaman lämpötilan luonnollisen vaihtelun vähintäänkin tekijällä 2. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2–11.7; teknillisen yhteenvedon kuva 29}

Mikäli kasvihuonekaasujen päästöt pysyvät nykyisellä tasolla tai vielä lisääntyvät, lämpötilojen nousu jatkuu. Tällöin on hyvin todennäköistä, että maapallon ilmastojärjestelmässä tullaan tämän vuosisadan aikana kokemaan muutoksia, jotka ovat suurempia kuin 1900-luvulla tapahtuneet muutokset. {10.3}

- Ilmastomallit ovat tätä nykyä niin kehittyneitä, että mallitulosten perusteella voidaan esittää paras arvio ja kohtuullisen luotettava epävarmuushaarukka kutakin päästöskenaariota vastaavalle tulevalle lämpötilan nousulle. Tässä raportissa lämpenemisarviot annetaan erikseen kullekin päästöskenaariolle, koska tällainen tieto on keskeisen tärkeää päätöksenteon kannalta. Maapallon keskimääräisen pintalämpötilan ennustettu nousu tämän vuosisadan lopulla (verrattu jaksoa 2090–2099 jaksoon 1980–1999) on esitetty taulukossa 3. {10.5}
- Taulukossa 3 on annettu lämpenemisarviot epävarmuushaarukoineen kuudelle SRES-skenaariolle. Mikäli tulevat päästöt jäävät hyvin pieniksi (B1-skenaario), parhaan arvion mukaan maapallon keskilämpötila nousisi 1.8 asteella [todennäköinen epävarmuusväli 1.1 – 2.9°C]. Päästöjen kasvaessa rajusti (A1FI-skenaario) lämpötila nousisi 4.0 astetta [epävarmuusväli 2.4 – 6.4°C]. Tulokset eivät poikkea kovinkaan paljoa 3. arviointiraportissa esitetyistä; tuossa raportissa arvioitiin lämpötilan nousun olevan 1.4 – 5.8°C, kun tarkasteltiin kaikkia skenaariota yhdessä. Tässä raportissa esitetyt epävarmuusrajat (kuva 5) eivät kuitenkaan ole suoraan vertailukelpoisia aiempien arviointien kanssa. Nämä uudet arviot nimittäin (i) on annettu erikseen kullekin skenaariolle, ja (ii) arviot perustuvat suurempaan joukkoon ilmastomalleja, jotka kuvaavat ilmaston käyttäytymistä aiempaa paremmin.



Kuva 5. Malleilla simuloitu maapallon keskilämpötilan tähänastinen muutos (1900–2000; musta käyrä) ja ennustettuja muutoksia vuosille 2000–2100; usean ilmastonmuutosmallin tulosten keskiarvoja. Ennusteet on esitetty erikseen A2- (punainen käyrä), A1B- (vihreä) ja B1-skenaariolle (sininen); oranssi käyrä kuvaa ennustettua lämpötilan muutosta tilanteessa, jossa kaasujen ja hiukkasten pitoisuudet on pidetty v. 2000 vallinneella tasolla. Kaikki lämpötila-arvot on ilmaistu muutoksina suhteessa jakson 1980–1999 keskiarvoon. Epävarmuusasteen mittana kunkin käyrän ympärillä on merkitty varjostuksella \pm yhden keskihajonnan levyinen alue. Kuvan oikeassa reunassa olevat harmaat pylväät kertovat parhaan arvio ja epävarmuusvälin ennustetulle lämpenemiselle v. 2100, erikseen kuudelle SRES-skenaariolle. Pylväitten esittämiä arvioita laadittaessa on käytetty kolmiulotteisten kytkettyjen mallien lisäksi myös muuta tietoa, kuten yksinkertaisempien ilmastomallien tuloksia. {Kuvat 10.4 ja 10.29}

Lisäksi (iii) tässä raportissa on otettu huomioon myös hiilen kiertokulun mallittamisesta koituva epävarmuus sekä havaintojen antama tieto ilmastojärjestelmän käyttäytymisestä. {10.5}

- Tulevaisuudessa ilmaston lämmitessä maaperä ja valtameret kykenevät sitomaan entistä pienemmän osan ihmiskunnan tuottamista hiilidioksidipäästöistä, jolloin vastaavasti suurempi osa hiilidioksidista jää ilmakehään. A2-skenaarion toteutuessa tämä hiilen kiertokulkuun liittyvä vahvistava palauteilmiö voimistaa lämpenemistä v. 2100 mennessä yli asteella. Lämpötilan nousun epävarmuushaarukoitten ylärajat (taulukko 3) ovat edellisessä arviointiraportissa esitettyjä korkeampia pääasiassa juuri siksi, että uudempien mallikokeitten perusteella hiilen kiertokulkuun liittyvä palauteilmiö näyttäisi olevan voimakkaampi kuin mitä aiemmin uskottiin. {7.3, 10.5}
- Taulukossa 3 on myös annettu mallituloksiin perustuva arvio siitä, kuinka paljon meren pinta nousee 2090-luvulle tultaessa. Kun tarkastellaan epävarmuusvälin keskikohtaa, kutakin skenaariota vastaava merenpinnan nousu on 10% tarkkuudella sama kuin edellisessä IPCC:n (2001) arviointiraportissa. Epävarmuushaarukan leveyttä ollaan kuitenkin saatu kavennettua, koska eräitä epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä tunnetaan nyt entistä paremmin¹⁵. {10.6}

¹⁵Edellisessä arviointiraportissa merenpinnan nousuennusteet laadittiin vuodelle 2100, tässä raportissa jaksolle 2090–2099. Jos epävarmuustekijöitä olisi edellisessä raportissa käsitelty samalla tavalla kuin nyt, olisi päädytty suunnilleen taulukkoa 3

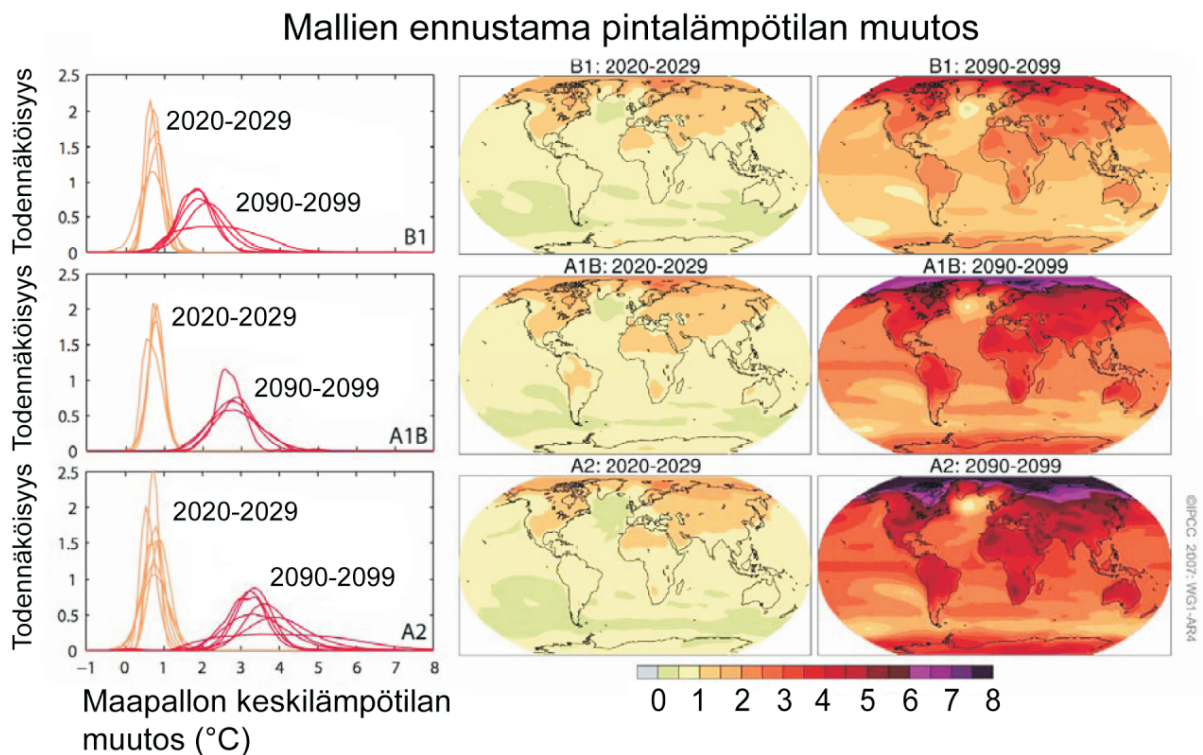
- Merenpinnan nousua laskettaessa ei ole otettu huomioon hiilen kiertokulun mahdollisiin muutoksiin liittyvää epävarmuutta, koska aihetta käsittelevää tutkimustietoa ei ole käytettävissä riittävästi. Myöskään napajäätikköjen virtausten mahdollisia muutoksia ei ole huomioitu kunnolla. Ennusteisiin on kyllä otettu mukaan vuosina 1993–2003 havaittu Grönlannin ja Etelämantereen jäätiköitten nopeutunut virtaus, mutta tulevaisuudessa näitten jäätiköitten virtaus saattaa yhtä hyvin nopeutua lisää kuin hidastuakin. Jos esimerkiksi oletetaan jään virtauksien nopeutuvan samassa suhteessa kuin mitä maapallon keskilämpötila nousee, taulukossa 3 annettuja eri SRES-skenaariota vastaavia merenpinnan nousuhaarukan ylärajoja pitäisi kasvattaa 0.1–0.2 metrillä. Ei ole mahdotonta, että merenpinta nousisi vielä näitäkin arvioita nopeammin, mutta asiaa ymmärretään niin huonosti, ettei tällaisen nopean nousun todennäköisyyttä kyetä arvioimaan. Merenpinnan nousunopeudelle ei voida myöskään antaa mitään yksiselitteistä ylärajaa. {10.6}
- Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa entistä enemmän hiilidioksidia liukenee meriin, ja tämä muuttaa merivettä happamammaksi. Meriveden pintakerroksen pH-arvo¹⁶ on jo pudonnut teollistumista edeltävästä ajasta 0.1 yksiköllä. SRES-skenaarioitten mukainen hiilidioksidin lisääntyminen pudottaa pH-arvoa v. 2100 mennessä edelleen 0.14–0.35 yksiköllä. {5.4, laatikkoteksti 7.3, 10.4}

Ilmaston lämpenemisen jakautumista maapallon eri alueille osataan nyt arvioida entistä luotettavammin. Myös muitten ilmastosuureitten, kuten tuuli- ja jääolojen, sademäärien ja joidenkin sääääri-ilmiöitten odotettavissa olevista muutoksista on saatu tarkempaa tietoa. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- Ennustetun lämpenemisen maantieteellinen jakauma on kaikissa SRES-skenaarioissa varsin samanlainen. Tämä jakauma muistuttaa viime vuosikymmeninä havaittua lämpenemisen alueellista jakaumaa. Eniten lämpötilojen odotetaan tulevaisuudessa nousevan maa-alueilla ja erityisesti pohjoisen pallonpuoliskon korkeilla leveysasteilla. Vähäisintä lämpeneminen on eteläisen pallonpuoliskon valtamerillä ja Atlantin valtameren pohjoisosissa (kuva 6). {10.3}
- Lumipeitteen pinta-alan ennustetaan pienenevän. Ikiroudan alueilla entistä paksumpi pintamaakerros sulaa kesäisin. {10.3, 10.6}
- Kaikkiin SRES-skenaarioihin perustuvat mallilaskelmat ennustavat merijään pinta-alan pienenevän sekä pohjoisilla että eteläisillä napa-alueilla. Tämän vuosisadan loppupuolella Pohjoisen jäämeren jääpeite katoaa joissakin mallisimulaatioissa kesäisin lähes kokonaan. {10.3}
- On hyvin todennäköistä, että korkeita lämpötiloja, helleaaltoja ja kovia rankkasateita esiintyy tulevaisuudessa edelleen yhä vain useammin. {10.3}
- Monet mallikokeet viittaavat siihen, että trooppiset hirmumyrskyt (taifuunit ja hurrikaanit) ovat tulevaisuudessa todennäköisesti nykyistä voimakkaampia, jolloin sekä myrskyihin liittyvät kovimmat tuulet että rankat sateen voimistuisivat. Tämä johtuu trooppisten merien pintalämpötilan kohoamisesta. Samalla myrskyjen lukumäärä näyttäisi pienenevän, joskin tämä tulos on aika epävarma. Joillakin alueilla jo havaittu kovien myrskyjen osuuden kasvu vuoden 1970 jälkeen on itse asiassa ollut paljon nopeampaa kuin mitä mallikokeitten perusteella voisi olettaa. {9.5, 10.3, 3.8}

vastaaviin epävarmuushaarukoihin.

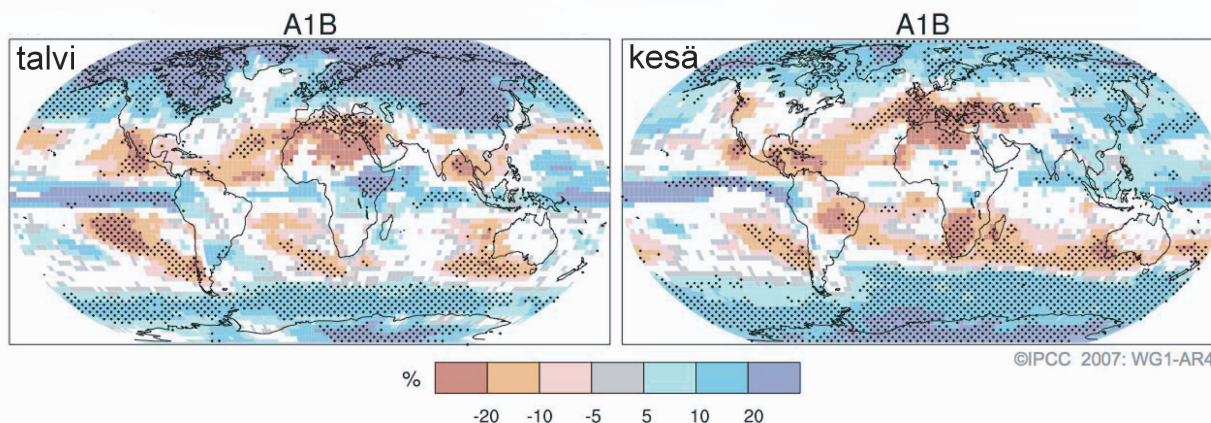
¹⁶pH on nesteen happamuutta kuvaava luku. Happamuuden lisääntyessä pH-arvo laskee. Tarkempi määritelmä on esitetty varsinaisen raportin sanasto-osassa.



Kuva 6. Ennustetut pintalämpötilan muutokset v. 2020–2029 ja 2090–2099, vertailukohtana kausi 1980–1999. Keskimmäisen ja oikeanpuolimmaisen sarakkeen karttakuvat esittävät lämpötilan muutoskenttiä, jotka on saatu ottamalla keskiarvo suuresta joukosta kytketyillä ilmakehä-valtamerimallilla tehtyjä malliajoja. Muutoskentät on esitetty erikseen B1-, A1B- ja A2-skenaariolle (ylä-, keski- ja alarivin kuvat). Vasemman sarakkeen kuvissa on esitetty maapallon keskilämpötilan muutokselle todennäköisyysjakaumia samoille ajanjaksoille usean eri tutkimuksen (joissa käytetty sekä kytkettyjä että yksinkertaisempia malleja) tulosten perusteella. Käyrien lukumäärä vaihtelee kuvasta toiseen, sillä joissakin tutkimuksissa on tarkasteltu vain osaa näistä skenaarioista. {Kuvat 10.8 ja 10.28}

- Ei-trooppisten säähäiriöitten reitit näyttävät siirtyvän lähemmäksi napoja. Tällainen kehitys on jo ollut havaittavissa viime vuosikymmeninä. Säähäiriöitten esiintymisalueitten muutokset vaikuttavat tuuli-, sade- ja lämpöoloihin keski- ja korkeilla leveysasteilla. {3.6, 10.3}
- IPCC:n (2001) edellisen arviointiraportin julkaisemisen jälkeen on opittu entistä paremmin ymmärtämään sademäärien tulevia alueellisia muutoksia (kuva 7). Sademäärät tulevat hyvin todennäköisesti lisääntymään korkeilla leveysasteilla, kun taas subtrooppisilla manterealueilla todennäköisesti yleensä sataa nykyistä vähemmän. A1B-skenaariota vastaava sademäärän väheneminen voi eniten kärsivillä alueilla olla 20%:n luokkaa. Ennustettujen muutosten alueellinen jakauma on samantapainen kuin viimeaikaisten havaittujen trendien. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2–11.9}
- Uusimpien mallisimulointien perusteella näyttää hyvin todennäköiseltä, että Atlantin valtameren meridionaalinen kierto (johon liittyvät Pohjois-Atlantin lämpimät merivirrat, mm. Golf-virta) heikkenisi tämän vuosisadan aikana. A1B-skenaarioon perustuvissa malliajoissa virtaus heikkenisi v. 2100 mennessä keskimäärin 25% (eri mallikokeissa arviot vaihtelevat 0–50% välillä). Tällaisesta merivirtojen heikkenemisestä huolimatta lämpötilojen ennustetaan hieman nousevan Pohjois-

Mallien ennustama sademäärän muutos



Kuva 7. Sademäärän prosentuaalinen muutos joului-helmikuussa (vasen kuva) ja kesä-elokuussa (oikea kuva); verrattu jakson 2090–2099 sademääriä jaksoon 1980–1999. Tulos perustuu usealla eri mallilla tehtyjen ajojen keskiarvoon. Näissä malliajoissa pakotteena on käytetty A1B-skenaariota mukaisia tulevia kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksia. Valkoisilla alueilla eri mallien tulokset poikkeavat toisistaan voimakkaasti (alle 66% malleista tuottaa samansuuntaisen muutoksen). Rasteroiduilla alueilla muutos on samanmerkkinen yli 90%:ssa malleista. {Kuva 10.9}

Atlantin alueellakin, koska suoraan kasvihuonekaasujen lisääntymisestä johtuva lämpeneminen on niin voimakasta. On hyvin epätodennäköistä, että Atlantin valtameren kiertoliikkeessä esiintyisi äkillisiä voimakkaita muutoksia ennen vuotta 2100. Virtauksen mahdollisista muutoksista pitämällä aikavälillä on vaikea sanoa mitään varmaa. {10.3, 10.7}

Vaikka kasvihuonekaasujen pitoisuuksien nousu ilmakehässä saataisiinkin joskus pysäytettyä, ilmaston lämpeneminen ja etenkin merenpinnan kohoaminen jatkuisi vielä satoja vuosia {10.4, 10.5, 10.7}.

- Ilmaston lämmetessä hiilen luonnollinen kiertokulku maapallolla näyttäisi muuttuvan siten, että aikaisempaa suurempi osuus hiilidioksidin päästöistä jäisi ilmakehään. Tämän vahvistavan palauteilmaston voimakkuutta ei kuitenkaan tunneta kunnolla. Siksi on vaikea arvioida tarkkaan, kuinka voimakkaasti hiilidioksidin päästöjä oikeasti pitäisi leikata, jotta kyettäisiin estämään hiilidioksidipitoisuuden kohoaminen jonkun tietyn rajan yläpuolelle. Jos hiilidioksiin heikentyneeseen sitoutumiseen liittyvä palauteilmiö otetaan huomioon ja halutaan pysäyttää pitoisuuden kasvu 450 ppm:n tasolle, ilmakehään saisi tämän vuosisadan aikana päästä yhteensä (hiilen määränä ilmaisten) 490 Gt [epävarmuusväli 375 – 600 Gt] hiilidioksidia; ilman palauteilmaston huomioonottamista tämä määrä olisi 670 Gt [630 – 710 Gt]. {7.3, 10.4}
- Jos kasvihuonekaasujen lisääntymisestä johtuva säteilypakote voimistuisi tällä vuosisadalla B1- tai A1B-skenaariota mukaisesti, mutta pakotteen kasvu saataisiin pysäytettyä v. 2100, maapallon keskilämpötila kuitenkin nousisi vielä tuon jälkeenkin n. 0.5 asteella. Suurin osa tästä lämpenemisestä toteutuisi v. 2200 mennessä. {10.7}
- Jos säteilypakote voimistuisi tällä vuosisadalla A1B-skenaariota mukaisesti ja pakotteen kasvu pysähtyisi v. 2100, pelkästään meriveden lämpölaajeneminen nostaisi valtameren pintaa v. 2300 mennessä 0.3 – 0.8 metrillä (verrattuna kauden 1980–1999 tasoon). Lämpölaajeneminen jatkuisi vielä tämän jälkeenkin satoja vuosia, koska lämpöenergian kulkeutuminen valtamerien syvänteisiin vie hyvin paljon aikaa. {10.7}

- Grönlantia peittävän jäätikön kutistumisen arvellaan nostavan meren pintaa v. 2100 jälkeenkin. Nykyisten mallitulosten mukaan jään sulaminen kiihtyy ilmaston lämmetessä nopeammin kuin mitä lisääntyvät lumisateet kykenevät jäätikköä kasvattamaan. Jään pinnan massatasapaino muuttuisi negatiiviseksi, jos maapallon keskilämpötila nousee teollistumista edeltävään tasoon verrattuna enemmän kuin 1.9 – 4.6 asteella. Jos massatasapaino pysyy negatiivisena tuhansien vuosien ajan, Grönlannin mannerjäätikkö sulaisi lopulta käytännöllisesti katsoen kokonaan. Jäätikön sulamisesta vapautuva vesi nostaisi meren pintaa 7 metrillä. Mainittua maapallon keskilämpötilan nousua vastaavat Grönlannin alueen lämpötilat olisivat samaa luokkaa kuin mitä siellä arvellaan vallinneen edellisellä jääkausien välisellä lämpökaudella 125000 vuotta sitten. Napa-alueen mannerjäätiköt olivat tuona aikana nykyistä pienempiä ja meren pinta 4 – 6 metriä nykyistä korkeammalla. {6.4, 10.7}
- Viimeaikaiset havainnot viittaavat siihen, että jään virtaus Grönlannin ja Etelämantereen reuna-alueilla olisi monin paikoin voimistumassa. Jään virtausten dynamiikkaan liittyviä ilmiöitä tunnetaan huonosti eikä niitä ole kyetty otettamaan huomioon nykyisissä malleissa. Jäätiköt saattavatkin olla oletettua herkempiä lämpötilan nousulle, ja siksi meren pinta voisi tulevaisuudessa nousta nopeammin kuin mitä on kuviteltu. Tämän vaaran vakavuudesta ei olla yksimielisiä. {4.6, 10.7}
- Nykyisten ilmastomallien perusteella Etelämantereella lämpötilat pysyvät tulevaisuudessakin niin alhaisina, ettei laajaa jäätikön sulamista ole odotettavissa. Lisääntyvät lumisateet ilmeisesti päin vastoin paisuttavat jäätikköä. Tästä huolimatta jäätikön massa saattaisi ruveta pieneneenään, mikäli jään virtaus voimistuu riittävän paljon. {10.7}
- Sekä tähänastiset että tulevat hiilidioksidipäästöt lämmittävät ilmastoa ja vaikuttavat merenpinnan nousuun vielä yli tuhannen vuoden ajan. Tämä johtuu siitä, että hiilidioksidin poistuminen ilmakehästä on hyvin hidasta. {7.3, 10.3}

LAATIKKOTEKSTI: IPCC:n käyttämät SRES-päästöskenaariot

Suomentajan selitystä:

Tulevia kasvihuonekaasujen päästöjä ei luonnollisestikaan voida etukäteen tietää. Siksi on luotu joukko erilaisia **päästöskenaarioita**, eli mahdollisia ja sisäisesti johdonmukaisia arvioita päästöjen kehityksestä tulevaisuudessa.

Päästöskenaarioita on esitelty yksityiskohtaisesti IPCC:n erikoisraportissa (Nakicenovic ym., 2000). Siinä on tarkasteltu neljää kehityskulkua, joista ensimmäinen jakautuu vielä kolmeen alaskenaarioon. Seuraavaksi esitellään pääpiirteittäin erikseen kulutusyhteiskuntaskenaariot (A-skenaariot) ja kestävään kehitykseen tähtäävät skenaariot (B-skenaariot).

A1-skenaarioperhe kuvaa tulevaisuuden maailmaa, jossa talouskasvu on hyvin nopeaa ja maapallon väestö kasvaa kuluvan vuosisadan puoliväliin saakka alkaen sen jälkeen pikku hiljaa vähentyä. Tekniikan kehitys on nopeaa, ja uusi tekniikka otetaan nopeasti käyttöön ympäri maailmaa. Kansainvälisen vuorovaikutuksen oletetaan olevan vilkasta sekä maapallon eri alueitten kehityserojen kaventuvan ja tulojaon tasaantuvan. A1-skenaarioperhe jakaantuu kolmeen eri alaskenaarioon. A1FI-skenaariossa oletetaan tulevan energiantuotannon perustuvan edelleenkin nimenomaan fossiilisten polttoaineitten käyttöön, A1T-skenaariossa taas ei-fossiilisiin energianlähteisiin. A1B-skenaario edustaa näitten vaihtoehtojen välimuotoa.

A2-skenaariossa teollisuus- ja kehitysmaitten kehityserot säilyvät suurina. Maapallon eri alueet pyrkivät omavaraisuuteen ja oman erikoislaatunsa säilyttämiseen. Teknologian siirto kehitysmaihin on vähäistä, ja eri maitten väliset tuloerot säilyvät suurina. Koko maapalloa ajatellen taloudellinen kehitys on hitaampaa kuin A1-skenaarioissa. Väestönkasvu jatkuu kehitysmaissa nopeana ja maapallon väkiluku kasvaa nopeasti.

B1-skenaariossa teollisuus- ja kehitysmaitten erot tasaantuvat, mikä saa väestönkasvun talttumaan, aivan kuten A1-skenaarioissakin. Erona A-skenaarioihin on, että talous suuntautuu tavaratuotannon asemesta enemmän palveluiden ja tietoyhteiskunnan kehittämiseen. Kestävä kehitys on arvossaan, ja ympäristölle ystävällisen teknologian kehittäminen ja käyttöönotto on nopeaa. Ongelmiin pyritään etsimään maailmanlaajuisia, koko ihmiskunnan kannalta oikeudenmukaisia ja ympäristön säilymisen huomioon ottavia ratkaisuja.

B2-skenaariossa pyritään myös ottamaan ympäristönäkökohdat huomioon päätöksenteossa, mutta päätökset määräytyvät enemmän paikallisten etujen perusteella kuin B1-skenaariossa. Eri alueitten kehityserot säilyvät suurina ja väestönkasvu jatkuu, tosin ei yhtä nopeana kuin A2-skenaariossa. Talouden ja tekniikan kehitys on kohtuullisen nopeaa, mutta jakautuu epätasaisesti maapallon eri alueille.

IPCC:n näkemyksen mukaan kaikki nämä tulevaisuuden skenaariot ovat mahdollista, eikä mitään tiettyä skenaarioita voida pitää muita todennäköisempänä.

Nämä SRES-skenaariot ovat samoja kuin mitä käytettiin jo IPCC:n (2001) 3. arviointiraportin yhteydessä.