



ILMATIETEEN LAITOS

Julkaisija Ilmatieteen laitos, ( Erik Palménin aukio 1 )  
PL 503, 00101 Helsinki

Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi  
Raportteja 2009:4

Julkaisuaika 2009

Tekijät  
Kirsti Jylhä, Kimmo Ruosteenoja, Jouni Räisänen,  
Ari Venäläinen, Heikki Tuomenvirta,  
Leena Ruokolainen, Seppo Saku, Teija Seitola

Projektin nimi  
ACCLIM

Nimeke

Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009

Tiivistelmä

Ilmaston vaihteluihin ja muutokseen varautuminen edellyttää mahdollisimman luotettavaa tietoa menneestä, nykyisestä ja tulevasta ilmastosta, sekä sen keskimääräisistä arvoista että vaihteluista ja ääri-ilmiöistä. ACCLIM-hankkeen tehtävänä on huolehtia Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelman (ISTO) nykyistä ja tulevaa ilmasto koskevasta tietopalvelusta. Tämä raportti esittää hankkeen ensimmäisen vaiheen (2006–2008) tuloksia.

Hankkeessa on päivitetty Suomea koskevat ilmastonmuutosskenaariot IPCC:n 4. arviointiraporttia varten tehtyjen ilmastomallikokeiden tulosten avulla. Samalla on tuotettu entistä kattavampaa tietoa ilmastonmuutoksiin liittyvistä epävarmuustekijöistä, soveltuvin osin muutosten suuruuden todennäköisyysjakaumien muodossa. Hankkeessa on myös laskettu toistuvuusajaksot luottamusväleinen joukolla keskeisiä ilmastomuuttujia säähavaintojen pohjalta ja tutkittu esimerkinomaisesti lämpötilojen toistuvuusajaksien muuttumista jo toteutuneen lämpenemisen myötä.

Keskilämpötilan ja sademäärän muutosennusteet vuodenoittain on laskettu erikseen neljälle lähivuosikymmenelle sekä kolmelle peräkkäiselle 30-vuotisjaksolle. Tulosten mukaan jo ensi vuosikymmen (2011–2020) on Suomessa keskimäärin lämpimämpi kuin vertailujakso 1971–2000 peräti yli 95%:n todennäköisyydellä. Tämän vuosisadan loppuun mennessä vuoden keskilämpötilan ennustetaan kohoavan 2–6 °C. Kasvihuoneilmaston voimistumisen vaikutus sademääriin erottuu ilmaston luonnollisen vaihtelun seasta paljon lämpötilan muutoksia hitaammin. Sekä lämpeneminen että sademäärien lisääntyminen on talvella kesää voimakkaampaa.

Hankkeessa on arvioitu lisäksi sitä, miten paljon muuttuvat mm. vuorokauden ylin ja alin lämpötila, pakkaspäivien ja sadepäivien määrä, rankkasateet, pitkät poutajaksot, lumipeite, pilvisuus, auringonsäteily, termiset vuodenaajat ja terminen kasvukausi. Tärkeä osa hanketta on myös vuorovaikutus muiden tutkimustahojen kanssa. Erityisesti on kartoitettu ilmastotiedon käyttäjien tarpeita sekä tarjottu asiantuntijaopastusta ilmastotiedon käyttämisestä ilmastomuutoksen vaikutus- ja sopeutumistutkimuksissa.

Julkaisijayksikkö

Ilmastonmuutos (ILM)

Luokitus (UDK)

551.524.3, 551.577.3, 551.578.46,  
551.583.16, 551.588.74, 551.582 (480)

Asiasanat

Ilmasto, ilmastonmuutos, säähavainnot, ilmastomallit, ilmastoskenaariot, todennäköisyysennusteet, toistuvuusajaksot, ääriarvoanalyysi, ilmastonmuutokseen sopeutuminen

ISSN ja avainnimitys

0782-6079 Raportteja - Rapporter - Reports

ISBN

978-951-697-699-3 (nid.)  
978-951-697-700-6 (pdf)

Kieli

suomi (tiivistelmä, laajennettu tiivistelmä ja kuvatestit myös englanniksi)

Myynti

Ilmatieteen laitos  
PL 503, 00101 Helsinki

Sivumäärä 102

Hinta

Lisätietoja

## Laajennettu tiivistelmä

Tutkittaessa ilmastomuutoksen vaikutuksia ja keinoja siihen sopeutumiseksi tarvitaan mahdollisimman luotettavaa tietoa menneestä, nykyisestä ja tulevasta ilmastosta. Ilmastoa luonnehditaan keskiarvojen ja vaihteluvuuden sekä erilaisten ääritilanteiden esiintymistodennäköisyyksien avulla. Ilmaston tulevia muutoksia ei voida ennustaa tarkasti. Oma epävarmuutensa liittyy myös siihen, miten usein ja kuinka voimakkaita sään ääri-ilmiöitä voidaan odottaa esiintyvän Suomen nykyilmastossa. Tämän vuoksi on oleellista, että parhaiden arvioiden lisäksi tuloksille annetaan luotettavuutta kuvaavat epävarmuusvälit.

Lyhyen aikavälin ilmastoennusteissa tärkein epävarmuuslähde on ilmaston luonnollinen, vuosien ja vuosikymmenien välinen vaihtelu. Tämän luonnollisen vaihtelun takia ilmastomuutokset tulevat etenemään ajoittain nopeammin ja ajoittain hitaammin; voipa luonnollinen vaihtelu jopa lyhytaikaisesti kääntää ilmastomuutoksen suunnan päinvastaiseksikin kuin mitä kasvihuonekaasujen lisääntymisestä ilmakehässä sinällään seuraisi.

Mallitulosten perusteella näyttää siltä, että kasvihuoneilmaston voimistumisen aiheuttama ilmaston lämpeneminen on jo lähivuosisikymmeninä varsin selvää lämpötilojen luonnolliseen vuosikymmenten väliseen vaihteluun verrattuna. Todennäköisesti talvet lämpenevät jo lyhyellä tähtämellä enemmän kuin kesät, mutta koska talvilämpötilat vaihtelevat erityisen paljon luontaisestikin, myös ennusteen epävarmuus on suurin talvella. Vaikka toistaiseksi lämpeneminen on ollut melko pientä Suomen lämpöolojen suureen vuosienväliseen vaihteluun verrattuna, se on kuitenkin jo ilmeisesti moninkertaistanut huippukorkeiden kuukausi- ja vuodenaikaiskeskilämpötilojen esiintymistodennäköisyyden. Sen sijaan ilmaston lämpenemiseen liittyvä sademäärän kasvu erottuu ilmaston luonnollisen vaihtelun seasta paljon lämpötilan nousua heikommin.

Pitkällä tähtämellä ilmastoennusteiden suurimpia virhelähteitä ovat ilmastomalleihin ja kasvihuonekaasujen päästöjen kehitykseen liittyvät epävarmuudet. Tämän vuosisadan loppuun ulottuvat lämpötilan ja sademäärän muutosennusteet perustuvat 19 maailmanlaajuisella ilmastomuutosmallilla tehtyihin ajoihin. Ajoja tehtiin kolmella kasvihuonekaasuskenaariolla: A2 – suuret päästöt, A1B – melko suuret päästöt ja B1 – pienet päästöt. Ennusteita laadittaessa oletettiin kukin kolmesta kasvihuonekaasuskenaariosta yhtä todennäköisiksi. Näin saatiin muodostettua ilmastosuureiden muutoksille todennäköisyysjakauma, joka ottaa huomioon paitsi käytettävissä olevien mallien tulosten erilaisuuden myös kasvihuonekaasujen tuleviin päästöihin liittyvää epävarmuutta.

Ilmastomallit ennustavat Pohjois-Atlantia lämmittävien merivirtojen heikkenevän, mutta tästä huolimatta Suomessa ilmasto lämpenee selvästi – talvella enemmän kuin kesällä. Lämpeneminen, samoin kuin sademäärien lisääntyminen, etenevät koko vuosisadan ajan. Toki ilmaston luonnollinen vaihtelu tulee aika-ajoin kiihdyttämään, välillä taas jarruttamaan muutosta, mutta näitä heilahteluja on mahdotonta ennustaa. Mikäli kasvihuonekaasujen päästöjä onnistutaan rajoittamaan tehokkaasti (B1-skenaario), muutos alkaisi kuitenkin hidastua vuosisadan puolivälin aikoihin. Tällöin lämpötilan nousu jäisi vuosisadan lopulla vajaaseen kahteen kolmasosaan pahimmasta tarkastellusta vaihtoehdosta (A2-skenaario).

Maapallonlaajuisten ilmastomallikokeiden tuottamaa aineistoa on hankkeessa täydennetty alueellisilla ilmastomalleilla tehtyjen tarkentavien laskelmien tuloksilla. Keskilämpötilan ja kes-

kimääräisen sademäärän lisäksi tutkittiin koko joukkoa muita ilmastosuureita, esimerkiksi ylimpiä ja alimpia lämpötiloja, rankkasateita, pakkas- ja poutajaksoja, lumipeitettä, pilvisyyttä ja auringonsäteilyn määrää sekä termisiä vuodenaikoja ja kasvukauden pituutta.

Pyrittäessä sopeutumaan ilmaston vaihteluihin ja muutoksiin on erityisen tärkeää varautua sään ääri-ilmiöihin. Voidaksemme arvioida, kuinka sään ääri-ilmiöt tulevat muuttumaan tulevina vuosikymmeninä, meidän tulee tietää tilanne nykyilmastossa. Tässä hankkeessa on laskettu toistuvuustasot luottamusväleinen joukolle keskeisiä ilmastomuuttujia 12 eri puolilla Suomea sijaitsevan säähavaintoaseman mittaustietojen perusteella. *Venäläinen et al. (2007a)* ovat julkaisseet tutkimuksen tuloksena syntyneet lukuisat taulukot, ja tähän raporttiin on valittu muutamia esimerkkejä näistä tuloksista.

Sähköiseen muotoon saatetut päivittäiset havaintoaikasarjat ovat toistaiseksi pääosin runsaan 50 vuoden pituisia. Ne ovat varsin lyhyitä etenkin hyvin harvinaisten, mutta seurauksiltaan ehkä vakavienkin sään ääri-ilmiöiden analyysin kannalta. Toistuvuusaikatasojen luottamusväli saattavat käydä niin leveiksi, että se rajoittaa tulosten käyttöarvoa. On ilmeistä, ettei millään tilastollisella menetelmällä voida luotettavasti arvioida sellaisen ilmiön esiintymistodennäköisyyttä, josta toistaiseksi ei ole havaintoa tai joka on esiintynyt vain kerran tai kaksi havaintojakson aikana. Myös ilmaston muuttuminen on syytä ottaa huomioon, sillä sen myötä muuttuvat etenkin hyvin korkeiden ja matalien lämpötilojen toistuvuustasot.

### **Sään ääri-ilmiöt tähänastisessa ilmastossa**

- Pohjois-Suomessa kireät pakkaset (minimilämpötila alle  $-20^{\circ}\text{C}$ ) kestävät keskimäärin kerran 20 vuodessa yhtäjaksoisesti runsaasta kahdesta lähes kolmeen viikkoon. Etelää kohden tällaiset kovan pakkasen jaksot lyhentyvät selvästi ja kestävät etelärannikolla harvoin yli viikon. Poikkeuksellisen kovat pakkaslukemat, joita esiintyy keskimäärin vain kerran 50 vuodessa, ovat Lapissa jopa noin 17 astetta kylmempiä kuin Etelä-Suomessa.
- Kesän korkeimpien lämpötilojen alueellinen jakauma on Suomessa varsin tasainen. Keskimäärin 20 vuoden välein toistuva helleluku on tyypillisesti  $31\text{--}32^{\circ}\text{C}$ . Yhtä usein koetaan pohjoisessakin vähintään noin viikon hellejakso.
- Helsingin pitkä havaintoaikasarja osoittaa, että vuoden alimpien minimilämpötilojen todennäköisyysjakauma on siirtynyt ajan myötä kipakammista kohti lauhempia pakkasia. Kylmempää kuin  $-28^{\circ}\text{C}$  on Helsingissä viime vuosien havaintojen nojalla keskimäärin kerran vajaan 20 vuodessa, kun puoli vuosisata aiemmin vastaava toistuvuusaika oli noin 10 vuotta.
- Harvinaisen runsaiden sademäärien toistuvuusajat ovat Pohjois-Suomessa pidempiä kuin Etelä- ja Keski-Suomessa. Sitä vastoin pitkien vähäsateisten jaksoiden esiintymisessä ei löydy selvää eroa etelän ja pohjoisen välillä.

## Mallikokeisiin perustuvat arviot ilmastonmuutoksesta

Hankkeessa on laadittu ilmastonmuutosennusteita erikseen neljälle lähivuosisikymmenelle sekä kolmelle peräkkäiselle 30-vuotisjaksolle vertailukauden ollessa 1971–2000. Jaksoja 2011–2020 ja 2070–2099 koskevat päätulokset ovat seuraavat:

- On hyvin todennäköistä, vaikkei aivan varmaa (yli 95%:n todennäköisyys), että jo ensi vuosikymmenen on Suomessa keskimäärin lämpimämpi kuin vertailukausi 1971–2000. Paras arvio koko vuoden keskilämpötilan nousulle tällä aikavälillä on noin 1°C.
- Sademäärä muuttuu Suomessa on melko hitaasti. Vielä lähivuosisikymmeninä kasvihuoneilmiön voimistumiseen liittyvä muutos voi hyvin hukkua ilmaston luonnollisen vaihtelun sekaan. Niinpä näyttäisi olevan noin yhden neljänneksen mahdollisuus, että tuleva vuosikymmen on vielä Suomessa keskimäärin vähäsateisempi kuin jakso 1971–2000.
- Vuoden keskilämpötilan ennustetaan olevan tämän vuosisadan loppuvuosikymmeninä 2–6°C korkeampi kuin vertailujaksona 1971–2000. Talvella lämpötila nousee 3–9, kesällä 1–5 astetta. Talvisin lämpeneminen on nopeampaa maamme pohjoisosissa kuin etelässä, kun taas kesäisin maan eri osien välillä ei ole suurta eroa. Mikäli lämpeneminen osuu esitetyn epävarmuushaarukan keskivaiheille, vuosisadan lopulla Keski-Lapin lämpöolot vastaisivat suurin piirtein nykyistä Etelä-Suomea.
- Ilmaston lämmitessä myös sademäärät lisääntyvät, vuosisadan lopulle tultaessa talvella 10–40% ja kesällä 0–20% jaksoon 1971–2000 verrattuna. Muutos on suurempi pohjoisessa kuin etelässä. Kesäisin sademäärien ennustettu pieni lisääntyminen ei välttämättä kuitenkaan lisää vesivaroja, koska lämpimässä ilmastossa myös veden haihtuminen lisääntyy.
- Terminen talvi (vuorokauden keskilämpötila pakkasen puolella) näyttäisi vuosisadan loppuun mennessä katoavan eteläisiltä ja lounaisilta rannikkoalueilta kokonaan, ja Lapissa se lyhenee malliarvioiden mukaan noin puoleltaista kuukaudella. Terminen kesä (keskilämpötila yli 10°C) ja terminen kasvukausi (keskilämpötila yli 5°C) vastaavasti pitenevät kumpainenkin 1–1,5 kuukaudella. Lounaassa kasvukausi pitenee muuta maata enemmän, ja siellä myös terminen syksy venähtää huomattavasti. Lapissa kasvukauden tehollinen lämpösumma vastaa vuosisadan lopulla nykyistä Etelä-Suomea, Etelä-Suomessa Keski-Euroopan pohjoisosia.
- Lämpötilasuureiden jakaumat siirtyvät tulevaisuudessa kokonaisuudessaan kohti korkeampia lämpötiloja. Eniten muuttuvat talvikuukausien alimmat minimilämpötilat. Melkein kaikki mallit ennustavat talvilämpötilojen vaihtelevuuden vähenevän ilmaston lämmitessä.
- Vuosisadan viimeiseen kolmannekseen siirryttäessä pakkaspäiviä on malliarvioiden mukaan Pohjois-Suomessa noin kolmannes ja etelässä noin puolet nykyistä vähemmän. Aikaväli syksyn ensimmäisestä kevään viimeiseen pakkaspäivään lyhenee lähes kahdella kuukaudella. Samalla tämän pakkaskauden lomaan osuvat suojapäivät lisääntyvät.

- Talvikuukausien nollapistepäivät (vuorokauden aikana sekä pakkasta että suojaa) lisääntyvät aluksi koko maassa, pohjoisessa ja idässä myöhemminkin. Lämpötilan kohoaminen ja nollapistepäivien väheneminen syksyllä ja keväällä johtaa kuitenkin siihen, että nollapistepäivien vuotuinen lukumäärä on vuosisadan loppupuolelle saavuttaessa nykyistä suurempi enää vain paikoin pohjoisessa.
- Lumen vesiarvo eli lumikuorma vähenee Etelä- ja Keski-Suomessa vuosisadan viimeiseen kolmannekseen mennessä 70–80%, jopa enemmän. Pohjois-Suomessakin Käsivarren Lappia lukuunottamatta lumen määrä jää alle puoleen nykyisestä. Myös lumen vesiarvon vuotuinen maksimi pienenee, samoin lumipeitteisten päivien määrä. Keskitalvella muutokset ovat pienempiä kuin syystalven ja kevään aikana.
- Talvella sadepäivät yleistyvät ja sateet runsastuvat. Samalla talvien pisimmät sateettomat jaksot lyhenevät. Rankkasateet voimistuvat myös kesällä. Sen sijaan kesän sadepäivien määrän ja pisimmän poutajakson muutoksista malliaineistot antavat toisistaan poikkeavia arvioita varsinkin Pohjois-Suomessa. Etelä-Suomen kesässä sadepäivät saattaisivat kuitenkin harveta.
- Mallilaskelmien mukaan talvet muuttuvat tulevaisuudessa entistäkin pilvisemmiksi ja auringottomammiksi. Kesällä ei pilvisyydessä ja auringonsäteilyn määrässä ole odotettavissa suuria muutoksia.
- Jo tähänastinen lämpeneminen näyttäisi moninkertaistaneen äärimmäisen leutojen talvikuukausien tai kokonaisten talvien esiintymistodennäköisyyden. Esimerkiksi ennätyslauhan talven 2007–2008 (tai vielä tätä leudomman talven) keskilämpötilan nykyiseksi toistuvuusajaksi saadaan Helsingissä ilmastonmuutos huomioon ottaen noin 35 vuotta, mutta peräti noin 200 vuotta, jos lämpenemistä ei oteta huomioon. Ilmastonmuutoksen vähitellen edetessä ennätyslämpimiä kuukausia ja vuodenaikoja tulee esiintymään yhä tiheämmin. Samalla kylmyysennätysten lyöminen on käymässä yhä epätodennäköisemmäksi.
- Ilmastonmuutoksen myötä kasvaa vähitellen todennäköisyys, että sade-ennätykset rikoontuvat aiempaa lyhyemmin väliajoin. Harvoin toistuvia äärisateita tarkasteltaessa ääriarvojen määrittämiseen liittyvä tilastollinen epävarmuus lienee kuitenkin nykyisellään ja lähitulevaisuudessa suurempi virhelähde kuin ilmaston muutosten huomioimatta jättäminen.

Hankkeen tärkeänä osana on myös vuorovaikutus muiden sopeutumistutkimusta tekevien tahojen kanssa. Vuorovaikutuksen tavoitteena on, että toimitettavat ilmastoaineistot vastaavat mahdollisimman hyvin niitä käyttävien tarpeita ja että käyttäjät saavat opastusta ilmastotiedon soveltamisesta omissa sopeutumistutkimuksissaan. Hankkeessa on myös pyritty koordinoimaan sitä, että tutkimusohjelman eri hankkeissa käytettävät räätälöidyt ilmastonmuutoskkenaariot vastaavat toisiaan ja että tulosten vertailu on näin mahdollista. Erityisesti on tuotu esiin ilmastomallien tuloksiin vielä liittyvät useat epävarmuustekijät, jotka tulee ottaa huomioon sopeutumistoimia koskevia päätöksiä tehtäessä. Niinpä niiden tutkijoiden, jotka ovat käyttämässä ACCLIM-hankkeen tuottamia ilmastotietoja, olisi hyvä perehtyä tähän raporttiin ja hankkeen [www-sivuilla](http://www-sivuilla) julkaistavaan materiaaliin.