






# Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa

Kirjoittajat: Lasse Makkonen, Maria Tikanmäki

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Ympäristöministeriö	Asiakkaan viite	
Projektin nimi Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa II	Projektin numero/lyhytnimi 3253/EXTREMES II	
Raportin laatija(t) Lasse Makkonen, Maria Tikanmäki	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 26 s.	
Avainsanat Ilmaston muutos, Ilmasto, Rakentaminen, Ääriarvot	Raportin numero VTT-R-10419-08	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Extremes II - projektissa kehitettiin menetelmiä harvinaisten luonnonilmiöiden toistuvuuden määrittämiseksi ja tutkittiin alueellisen numeerisen ilmastomallin avulla sitä, miten ilmastomuutos vaikuttaa ääri-ilmiöiden esiintymiseen erityisesti rakennetun ympäristön kannalta. Keskeisiä tuloksia projektin teoriakehityksestä ovat, että <math>N</math> kpl maksimin suuruusjärjestyksessä <math>m</math>:n arvon ylitystodennäköisyys on jakautumasta riippumatta <math>1 - m/(N + 1)</math> sekä, että ääriarvoanalyysissä on käytettävä empiiristä jakauman sovitusta. Projektissa kehitettiin uusi iteratiivinen ääriarvojakauman sovitusmenetelmä.</p> <p>Ilmastomallisimulointien avulla projektissa tehtyjen ennusteiden mukaan rakenteita mitoittavien myrskyjen merkittävää voimistumista ei tapahdu Suomessa tämän vuosisadan aikana. Lyhytaikaiset sademaksimit kasvavat huomattavasti, jolloin kaupunkitulvariski kasvaa. Kesien maksimilämpötilat nousevat noin viisi astetta ja talvien minimilämpötilat noin kymmenen astetta. Maksimilumikuormat vähenevät Etelä-Suomessa noin puoleen, mutta pysyvät Pohjois-Suomessa lähes ennallaan. Sielläkin, missä lumisuus vähenee, liikennettä häiritsevien lyhytaikaisten lumisateiden voimakkuus kasvaa.</p> <p>Ilmastomallisimulointien nykyilmastoa vastaavia tuloksien vertailu havaintodataan osoitti, että simuloitujen maksimilämpötilat ovat jonkin verran todellisia alhaisempia. Simuloitujen maksimisademäärät ovat erittäin hyvin ja lumikuormat hyvin todellisuutta vastaavia. Simuloitujen tuulen maksiminopeudet ovat todellisia alhaisempia, jonka vuoksi ilmastomallien rajakerrosparemetrisointeja äärituulitilanteissa joudutaan tarkistamaan.</p> <p>Ilmaston ääri-ilmiöiden muuttumisen aiheuttamia sopeutumistarpeita tarkasteltiin yhdessä soveltajien kanssa. Ne ovat hyvin erilaisia eri yhteiskunnan sektoreilla ja osa ilmastomuutoksen vaikutuksista on positiivisia. Rakennetun ympäristön osalta tärkeiksi sopeutumistarpeiksi muodostuvat taajama-alueiden katuviemäröinnin uudelleenmitoittaminen ja teiden rumpumitoituksen muuttaminen sekä maarakenteiden eroosiosuojaus. Rakennusmateriaalien valintaan on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota, koska viistosateen lisääntyminen lyhentää ulkoverhoilupintojen käyttöikä. Jäätymis-sulamissykliin muutokset ovat eri puolilla Suomea erisuuntaisia. Ilmaston lämpeneminen ja kostuminen lisää teräsrakenteiden korroosiota ja puun lahoamista.</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo 6.5.2009 Laatija  Lasse Makkonen erikoistutkija	Tarkastaja  Tomi Toratti erikoistutkija	Hyväksyjä  Eila Lehmus teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Ympäristöministeriö VTT		
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

## Alkusanat

Tässä raportissa esitetään tiivistetysti Ympäristöklusterin tutkimusohjelman "Ekotehokas yhteiskunta" hankeen No. 5 "Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa (Extremes II)" tulokset. Hankkeessa kehitettiin uusia menetelmiä harvinaisten luonnonilmiöiden toistuvuuden luotettavaksi analysoimiseksi ja tutkittiin alueellisen numeerisen ilmastomallin avulla sitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa ääri-ilmiöiden ja eräiden sääparametrien yhteisvaikutusten esiintymiseen erityisesti rakennetun ympäristön kannalta. Hanke toteutettiin vuosina 2006 - 2008 ja sen taustana olivat EXTREMES I -projekti (2003 - 2005) ja siinä saavutetut tulokset.

Hankkeen toteuttivat:

- Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)
- Fysikaalisten tieteiden laitos, Helsingin yliopisto (HY)
- Rossby Centre, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI).

VTT toimi hankkeen päätoteuttajana ja koordinaattorina. Projektipäällikkönä oli Lasse Makkonen ja projektissa työskenteli lisäksi Maria Tikanmäki. VTT osallistui ilmastomallidatan analyysiin, kehitti tilastomatemattisia menetelmiä sekä teki ääriarvojen tilastollisen analyysin. VTT vastasi projektin raportoinnista ja tulosten implementoinnista. HY vastasi hankkeessa numeeristen mallien tuottaman datan käsittelystä ja karttojen tuottamisesta. HY:ssa hankkeesta vastasi Jouni Räisänen ja analyyseja tuotti Leena Ruokolainen. SMHI:n Rossby Centre johtajanaan Markku Rummukainen tuotti numeerisilla alueellisilla ilmastomalleillaan nykyisen ja tulevan ilmaston simulointidataa, josta identifioitiin poikkeukselliset säätilanteet.

Hankkeessa oltiin yhteistyössä Ympäristöklusterin tutkimusohjelman ilmastonmuutokseen liittyvien muiden hankkeiden kanssa. Näistä merkittävin oli Ilmatieteen laitoksen hanke no. 4 "Sään ääri-ilmiöiden toistuvuudet Suomessa", jonka kanssa tutkittiin alueilmastomallin vertailuajoissa laskemien ääritilanteiden realisuutta vertaamalla niitä meteorologiseen havaintoaineistoon.

Projektin ohjausryhmän muodostivat Juha-Pekka Maijala (Ympäristöministeriö) ja Hannu Savijärvi (HY).

Kiitämme edellä mainittuja sekä muita projektin toteutukseen myötävaikuttaneita tahoja hyvästä yhteistyöstä.

Espoo 6.5.2009

Tekijät

## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Toteutus .....	4
3 Ääriarvoja koskevan teoriakehityksen ja ilmastosimulointien tuloksia .....	5
3.1 Teoriakehitys.....	5
3.2 Ilmastomallisimulointien päätulokset.....	6
3.3 Simulointien vertailu mittauksiin nykyilmastossa.....	11
3.4 Simulointiennusteiden virhearviot .....	13
4 Muita rakennetun ympäristön kannalta tärkeitä ilmastonmuutosennusteita.....	15
4.1 Jäätymis-sulamissyklit .....	15
4.2 Viistosade .....	16
4.3 Korroosiota aiheuttava märkäaika.....	16
5 Tiivistelmä ennakoituista muutoksista .....	17
6 Sopeutumistarpeita.....	18
Lähdeviitteet .....	20
Liite 1. Hankkeen julkaisut ja yhteistyö .....	21
Liite 2 Palautetta hankkeessa tehtyyn teoriakehitykseen .....	25

## 1 Johdanto

Meteorologiset ja geofysikaaliset ääri-ilmiöt, kuten myrskytuulet, tulvat, ankarat lumimyrskyt ja maanjäristykset aiheuttavat suurta tuhoa. Yhdyskunnat on suunniteltava kestävästi kohtuullisen usein esiintyvät luonnonilmiöt, mutta hyvin harvinaisiin ääritapauksiin varautuminen ei ole kustannustehokasta. Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen arvioidaan aiheuttavan muutoksia säähän liittyvissä ääri-ilmiöissä. Kun rakennettu ympäristö suunnitellaan yleensä ainakin 50 vuoden käyttöikä ajatellen, ja rakennusnormeissa olevien mitoitusarvojen perustana on sääilmiöiden mittausaineisto esimerkiksi 30 edeltävän vuoden ajalta, on kyseenalaista ovatko suunnitteluperusteet oikeat, jos merkittäviä muutoksia ilmastossa ja ääri-ilmiöiden toistuvuudessa tapahtuu nopeasti. Näiden muutosten arviointi on siten kiireellistä rakentamisen ja infrastruktuurin suunnittelun kannalta.

Ilmastomallisimulointien ja niiden tilastollisen analyysiin perusteella voidaan muuttaa toimintaohjeita, käytäntöjä sekä standardeja rakentamiseen ja maankäyttöön liittyen. Simulointien tulokset palvelevat ilmastonmuutokseen sopeutumista myös muun kuin rakennetun ympäristön osalta, sillä luonnon ääri-ilmiöillä on Suomessa vaikutuksia esimerkiksi maantie- ja rautatieliikenteeseen, sähkönjakeluun, metsätuhoihin, viljasatoon ja eläinpopulaatioihin.

## 2 Toteutus

Hankkeessa kehitettiin uusi menetelmä harvinaisten ilmiöiden toistuvuuden arvioimiseksi. Sitä käyttäen hankkeessa on määritetty ääritilanteiden todennäköisyyksiä alueellisen numeerisen ilmastomallin tuottaman datan avulla. Extremes I projektissa käytetty mallisysteemi koostuu ilmakehä/maaperä-lumi-mallista ja Itämeri-mallista RCAO, ja tutkittu data käsitti useita 30-vuotisia malliajoja 49 km erotuskyvyllä ja kuuden tunnin aikaresoluutiolla Pohjolan alueelle. [1, 2]. Tulevaisuutta simuloivat ajot pohjautuvat hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) A2- ja B2-skenaarioihin, jotka antavat kaksi vaihtoehtoista arviota kasvihuonekaasujen päästöistä tulevien 100 vuoden aikana. Nämä ajot käyttivät hyväkseen kahden eri globaalin mallin (Hadley Centre ja Max Planck Institute) tuloksia.

RCAO-ajojen tuloksia hyödynnettiin edelleen Extremes II- hankkeessa, mutta lisäksi käytettiin yhtäjaksoisia 140 vuoden transienteja simulointeja [3]. Ne perustuvat Rossby Centren uusimmalla alueilmastomalliversiolla RCA3 tehtyihin IPCC:n A2 ja B2 päästöskenaarioihin pohjautuviin mallinnuksiin. Rajaehtona on käytetty Max Planck Institutun globaalin mallin ajoja. Yhtäjaksoisessa 140 vuoden ajossa on käytetty mittauksiin perustuvaa ilmakehän koostumusta vuosille 1961 - 2002 ja sen jälkeen kyseessä olevan päästöskenaarion mukaista koostumusta.

Ilmastomallien tuottamasta datasta on eroteltu eri simuloitujen suureiden poikkeuksellisia arvoja ja niiden tilastolliset jakaumat on analysoitu. Niitä käyttäen on hankkeessa kehitetyllä tilastollisella menetelmällä arvioitu 50 vuoden toistuvuus-aikaa vastaavat ääritilanteet. Hankkeessa on myös verifioitu mallituloksia havaintojen avulla ja kehitetty menetelmää harvinaisten ilmiöiden toistuvuusarvioiden

virherajojen määrittämiseksi. Lisäksi tuotettiin karttoja eräiden rakentamisen kannalta tärkeiden ilmiöiden keskimääräisestä muutoksesta.

### 3 Ääriarvoja koskevan teoriakehityksen ja ilmastosimulointien tuloksia

#### 3.1 Teoriakehitys

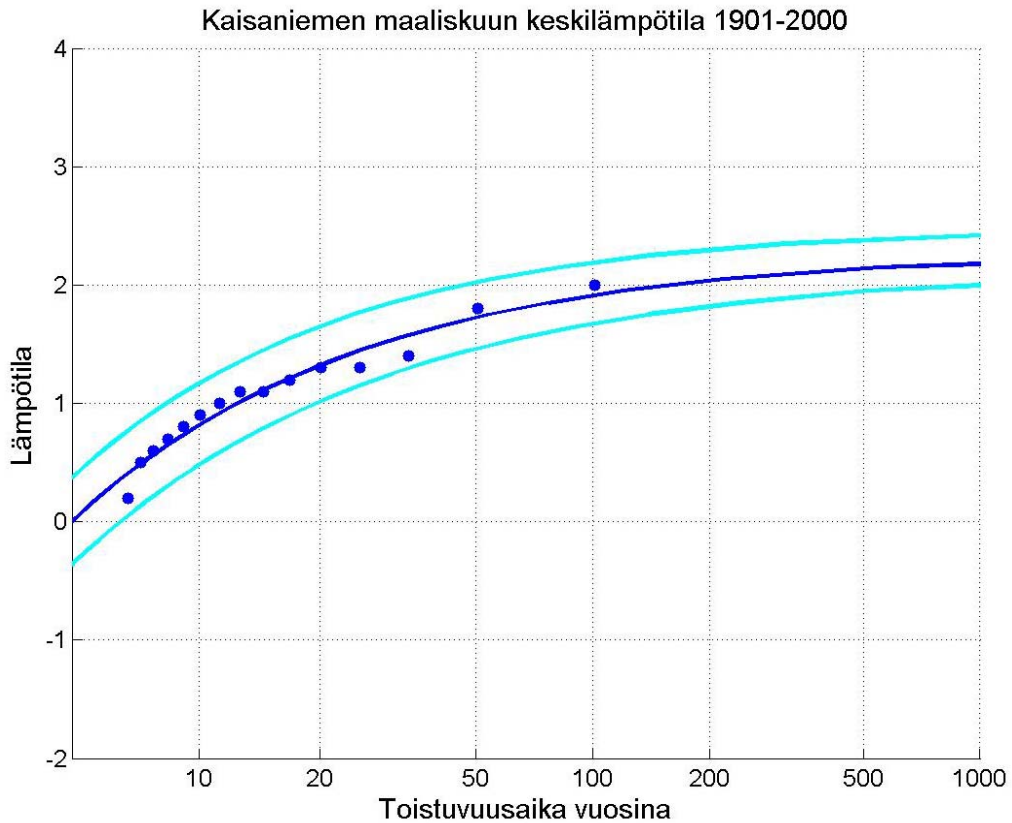
Projektissa kehitetyllä tilastomatematisella menetelmällä voidaan tarkentaa luonnonilmiöihin liittyviä riskejä, ja tällä tulee olemaan vaikutusta optimaaliseen mitoittamiseen globaalisti. Projektin tulokset vaikuttavat rakenteiden mitoittamiseen ja infrastruktuurin riskitasoon tulevaisuudessa, ja näillä tekijöillä on merkitystä turvallisuuden, ekotehokkuuden sekä energiansäästön kannalta. Keskeisinä tuloksina projektissa tehdystä teoriakehityksestä ovat:

- Ääriarvoanalyysissa järjestykseen pantujen  $N$  kpl arvojen todennäköisyysasema  $P$  on jakautumasta ja muunnoksista riippumatta aina  $P = m/(N + 1)$  missä  $m$  on järjestysluku
- Ääriarvoanalyysissa ei tule jakautuman sovituksessa turvautua kritiikittä teoreettiseen ääriarvojakautumaan, vaan on käytettävä empiiristä sovitusta
- Useimmat, eräät jo vuosisadan käytössä olleet, ja yleisesti oppikirjoissa esitetyt ja ohjelmistoissa käytetyt analyysimenetelmät ovat virheellisiä ja aliarvioivat poikkeuksellisten ilmiöiden esiintymistodennäköisyyttä
- Koska kertymätodennäköisyys  $P$  ei ole muuttuja, jakaumafunktion sovittaminen ääriarvodataan tehdään loogisemmin minimoimalla muuttujan, eikä  $P$ :n virhettä. Tätä varten kehitettiin uusi iteratiivinen sovitusmenetelmä, jolla saatetaan objektiivinen ja optimaalinen sovite.

Teoriakehityksen tuottamat julkaisut saivat julkaisuprosessin aikana lehtien reviewereiltä paljon kommentteja - ovathan esitetyt johtopäätökset osin vastoin niisanottua oppikirjatietoa. Myös julkasemisen jälkeen asia on herättänyt kansainvälisesti keskustelua. Näistä on esitetty lyhyt yhteenveto Liitteessä 2.

Kuvassa 1 on esitetty esimerkki siitä miten Extremes II projektissa kehitettyä ja käytettyä ääriarvojen analyysimenetelmää voidaan käyttää säähavainnoista saadun datan analyysiin. Tämän analyysin mukaan Kaisaniemessä maaliskuussa 2007 mitattu keskilämpötila on niin harvinainen, ettei sen esiintymistodennäköisyyttä voi edes arvioida, eikä sitä voi näin ollen pitää siihen ilmastoon (1901 - 2000) kuuluvana, jota mitattu data edustaa. Tämän perusteella voidaan todeta, että Helsingissä ilmasto on muuttunut.

Jos Kuvan 1 data analysoitaisiin tavanomaisella menetelmällä, siinä oleviin pisteisiin jouduttaisiin sovittamaan suora, jolloin maaliskuun 2007 keskilämpötilan toistuvuusajaksi saataisiin arvio noin 500 vuotta.

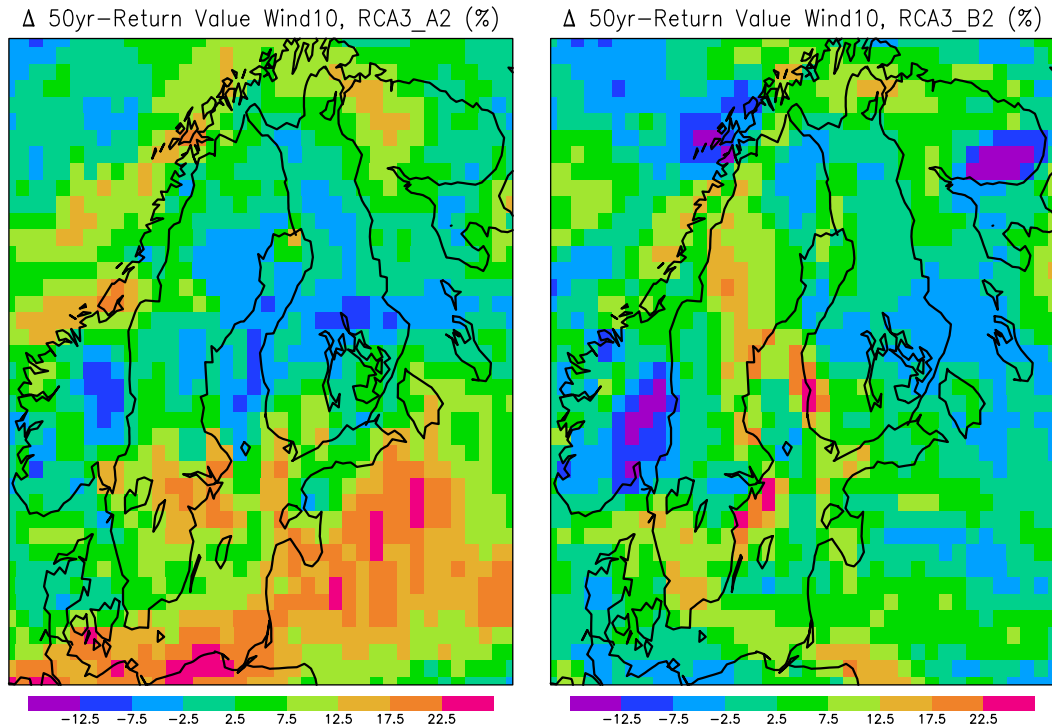


Kuva 1. Esimerkki ilmaston muuttumisesta. Kaisaniemen maaliskuun keskilämpötilan 1901 - 2000 ääriarvoanalyysi (15 suurinta arvoa). Vaaleat käyrät kuvaavat 90 % ennusteväliä (prediction interval). Mitattu lämpötila maaliskuussa 2007 oli +3 °C. Sen toistuvuus aika on niin pitkä, ettei sitä pysty määrittämään.

### 3.2 Ilmastomallisimulointien päätulokset

SMHI:n Rossby Centren RCA3-alueilmastomallilla simuloituista 140 vuoden transientiajoista analysoitiin 50 vuoden toistuvuus aikaa vastaavan ääriarvon muutokset eri säämuuttujille. Käytössä oli kahteen eri IPCC:n päästökennarioon A2 ja B2 perustuvat simulaatioajat.

Muutosta käsiteltiin näissä 140 vuoden jatkuvissa simuloinneissa siten, että analysoituja 50 vuoden toistuvuus aikaa vastaavia ääriarvoja aikana 1961 - 1990 verrattiin ennustejakson 2071 - 2100 vastaaviin ääriarvoihin. Keskeiset tulokset on esitetty kuvissa 2 - 6.

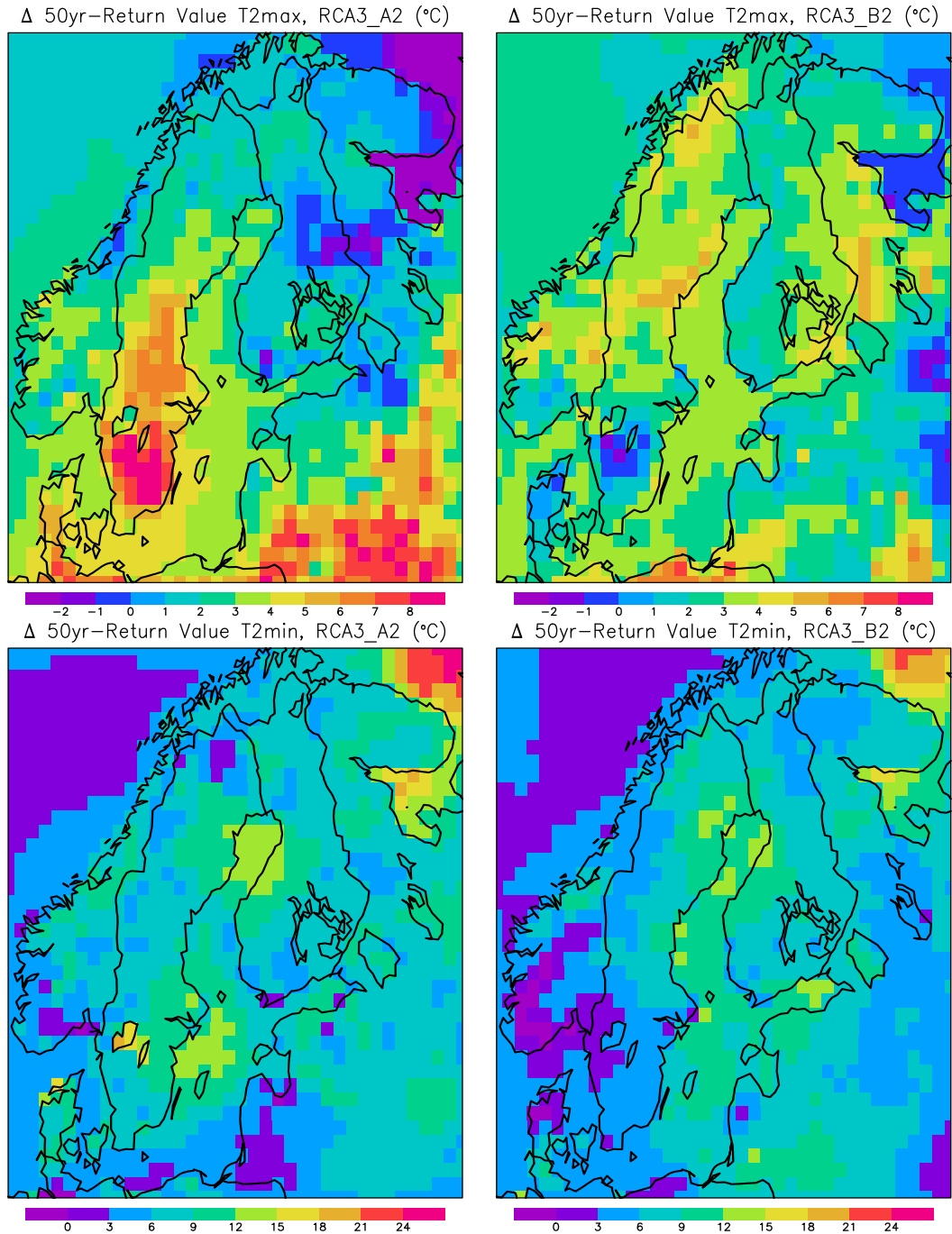


Kuva 2. Maksimituulennopeus (10 minuutin keskiarvo, 10 metrin korkeudella maanpinnasta). Ennakoitu muutos (%) 50 vuoden toistuvuusajakaavaa vastaavassa ääriarvossa päästöskenaarioissa A2 (vasemmalla) ja B2 (oikealla). Ennuste on ajanjaksolle 2071 - 2100 ja vertailukohtana on ajanjakso 1961 - 1990.

**Maksimituulissa** ei kuvan 2 tulosten perusteella tapahdu merkittävää kasvua Suomessa. Tämä tulos on sopeutumistoimenpiteiden arvioinnin kannalta hyvin tärkeä. Muissa tutkimuksissa on arvioitu tuulisuuden yleensä, ja kovien tuulienkin, Suomessa lisääntyvän ilmaston muutokseen liittyen [2, 4, 5]. Ero tässä tutkimuksessa saatuun tulokseen selittyy sillä, että yleinen tuulisuuden kasvu liittyy ilmakehän rajakerroksen neutralisoitumiseen talviin ajoittuvan lämpenemisen myötä, eikä ilmakehän rajakerroksen yläpuolisen geostrofisen tuulen ääriarvojen kasvuun. Geostrofisen tuulen äärituulitilanteet ajoittuvat tammi-helmikuulle, ja silloin, kun niihin liittyy myös pintatuulen ääritilanne, on ilmakehän rajakerroksen kerrostuneisuus joka tapauksessa melko neutraali. Tuulennopeuden lisääntyminen näissä tilanteissa edellyttäisi kasvua niihin liittyvässä geostrofisessa tuulessa. Tämä kasvu on malliennusteiden mukaan Suomen alueella vähäistä.

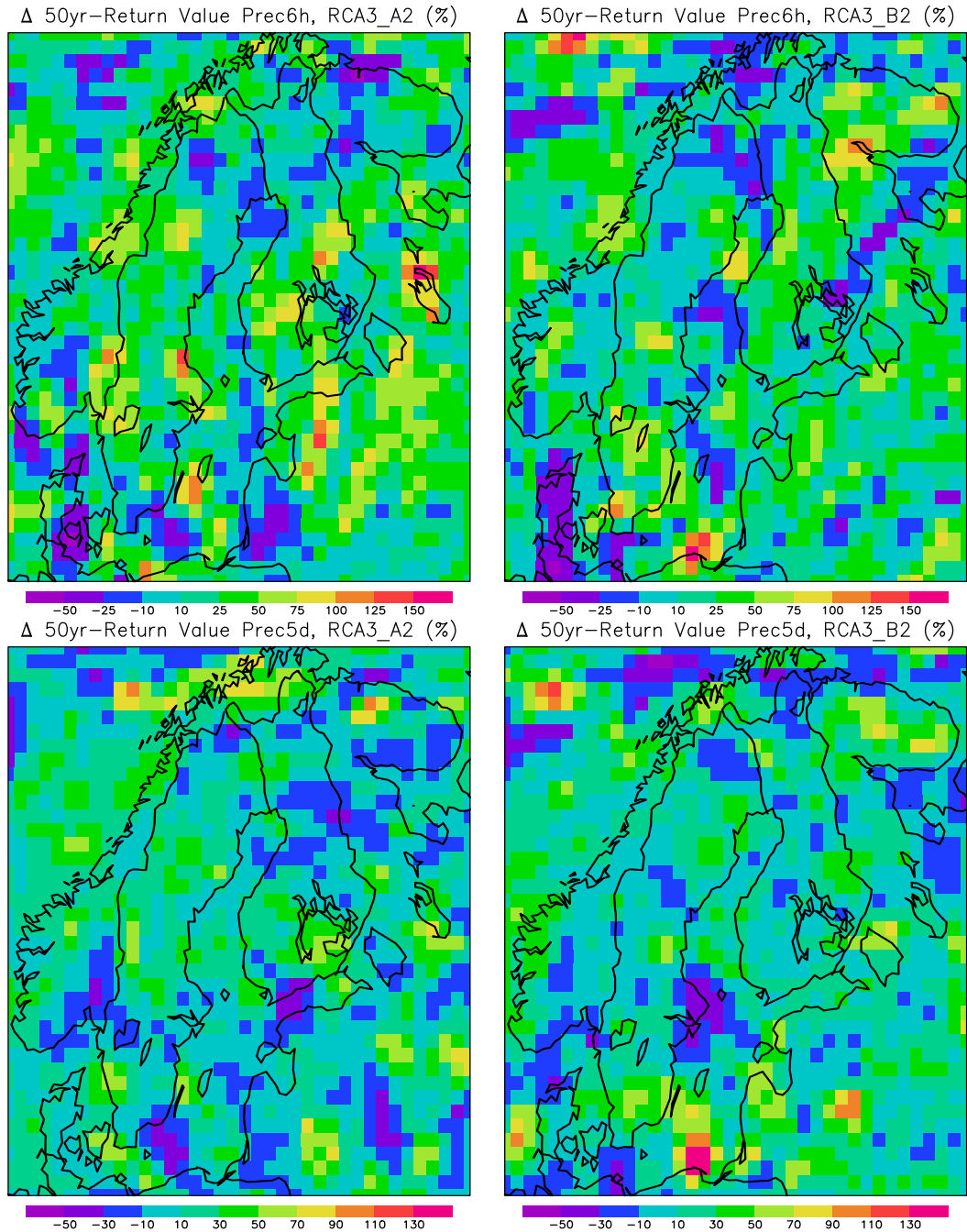
**Minimilämpötilan** nousu, kuvassa 3 (alla), on huomattavaa koko maassa - lähes 10 °C suuruusluokkaa. Kovat pakkaset tämän tuloksen mukaan muodostuvat erittäin harvinaisiksi. Ilmiö johtuu paitsi yleisestä lämpenemistrendistä, myös ilmaston kostumisesta talviaikaan. Rakennusten lämmitysjärjestelmien maksimikapasiteettia voisi tämän perusteella vähentää.





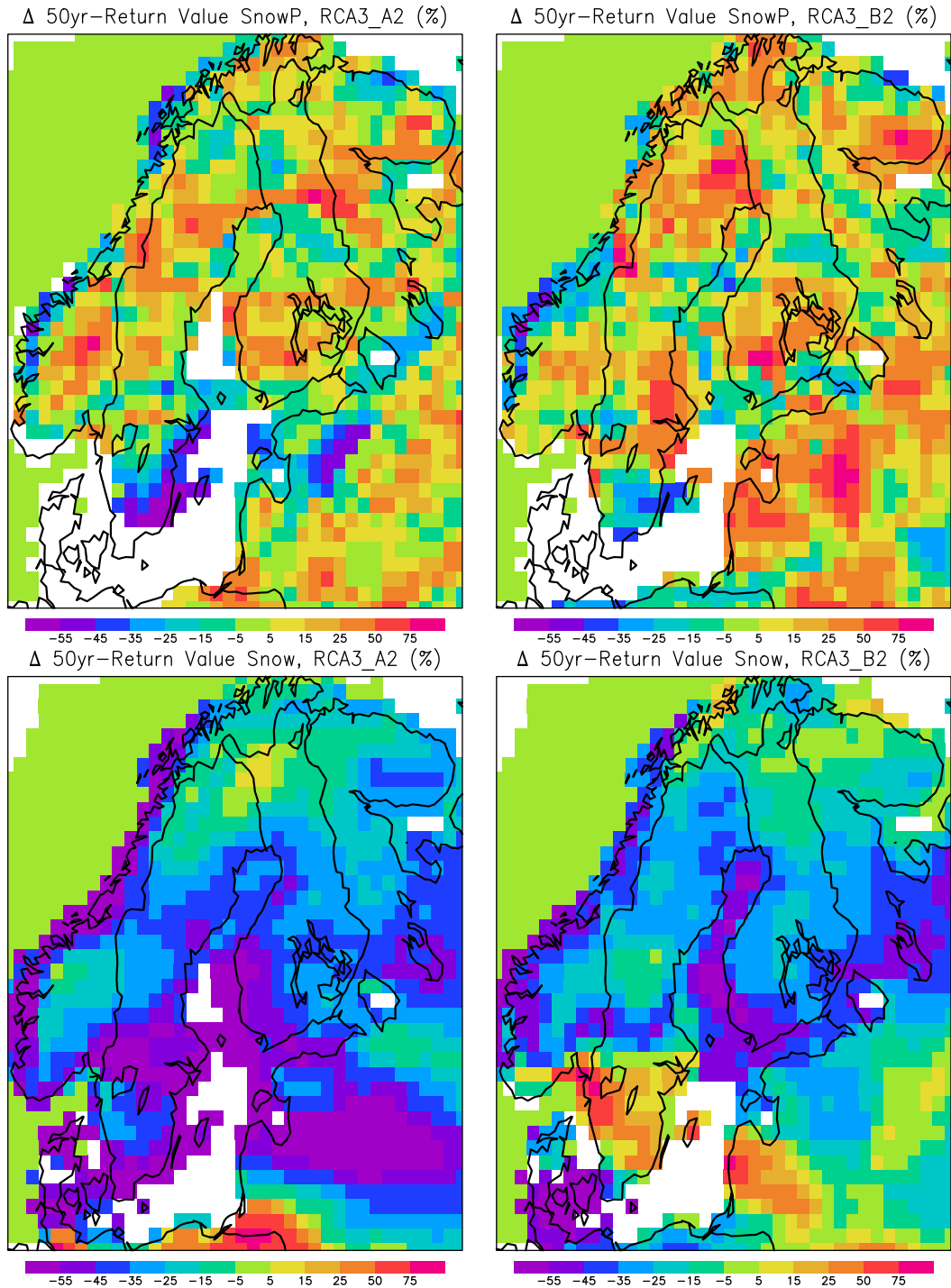
Kuva 3. Maksimilämpötila (yllä) ja minimilämpötila (alla). Ennakoitu muutos ( $^{\circ}\text{C}$ ) 50 vuoden toistuvuusajaa vastaavassa ääriarvossa päästöskenaarioissa A2 (vasemmalla) ja B2 (oikealla). Ennuste on ajanjaksolle 2071 - 2100 ja vertailukohtana on ajanjakso 1961 - 1990.

**Maksimilämpötilan** muutokset kuvassa 3 (yllä) ovat Suomen alueella 0 - 5  $^{\circ}\text{C}$  mutta kahteen eri päästöskenaarioon perustuvat tulokset ovat jossain määrin erilaisia. B2 skenaarion mukaisen mallinnuksen mukaan maksimilämpötilat kasvavat eniten Itä-Suomessa.



Kuva 4. Kuuden tunnin sademäärä (yllä) ja viiden vuorokauden sademäärä (alla). Ennakoitu muutos (%) 50 vuoden toistuvuusajaa vastaavassa ääriarvossa päästöskenaarioissa A2 (vasemmalla) ja B2 (oikealla). Ennuste on ajanjaksolle 2071 - 2100 ja vertailukohtana on ajanjakso 1961 - 1990.

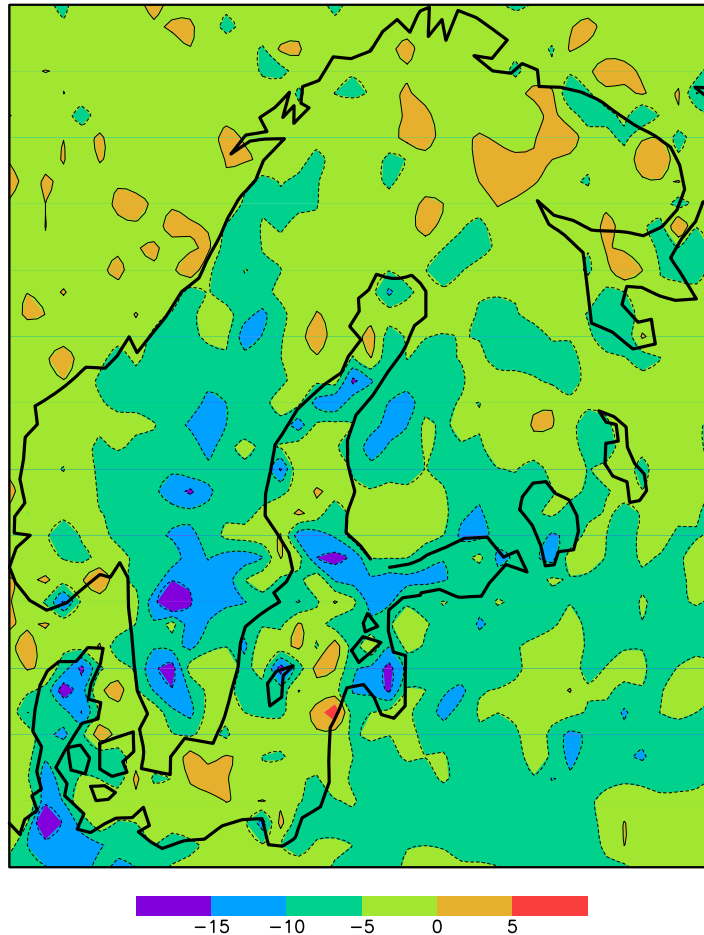
**Lyhytaikaisten sateiden maksimivoimakkuus** kasvaa kuvan 4 tulosten mukaan. Laskentapistekohtainen satunnaisvaihtelu on tässä analyysissä suurta, mutta yleisesti kasvua on noin 50 %. Tämä johtaa sateiden aiheuttaman tulvimisen lisääntymiseen etenkin kaupunkitaajamissa. Lyhytaikaiset **lumisateet** voimistuvat koko maassa (kuva 5, yllä). Äärimmäisen huonot keliolosuhteet siten pahenevat.



Kuva 5. Lumisateen vesiarvo kuuden tunnin aikana (yllä) ja lumipeitteen vuotuisen maksimivesiarvo (alla). Ennakoitu muutos (%) 50 vuoden toistuvuusajaka-  
 vastaavassa ääriarvossa päästöskenaarioissa A2 (vasemmalla) ja B2 (oikealla).  
 Ennuste on ajanjaksolle 2071 - 2100 ja vertailukohtana on ajanjakso 1961 - 1990.

**Lumipeitteen maksimivesiarvo** vähenee huomattavasti Etelä- ja Länsi-Suo-  
 messa, mutta osin kasvaa Lapissa (kuva 5, alla). Vähentäminen on niin merkittä-  
 vää, että se sinänsä tekisi mahdolliseksi rakentamisessa sovellettavan mitoituslu-  
 mikuorman keventämisen Etelä-Suomessa.

$\Delta$  50yr-Ret. Val. T2change/6h 4sim. ave ( $^{\circ}\text{C}$ )



Kuva 6. Ilmastomallisimuloinneista (neljän 30 v. simuloinnin keskiarvo) ennakoitu muutos ( $^{\circ}\text{C}$ ) noin sadan vuoden aikana 50 vuoden toistuvuusajaa vastaavassa ilman lämpötilan muuttumisessa kuuden tunnin aikana.

**Nopeat muutokset ilman lämpötilassa** aiheuttavat materiaalien lämpölaajenemisen takia rakenteissa jännityksiä, jotka voivat johtaa säröilyyn ja liitosten pettämiseen. Kuvassa 6 on esitetty ennakoitu kuuden tunnin aikana tapahtuvan lämpötilan muutoksen 50 v. toistuvuusajaa vastaavan ääriarvon muutos noin sadan vuoden aikana. Kuvan 6 mukaan lämpötilanvaihtelut ovat tulevaisuudessa ääritilanteissa nykyistä hitaampia Etelä-Suomessa. Tämä johtuu etenkin kovien talvipakkasten vähenemisestä.

### 3.3 Simulointien vertailu mittauksiin nykyilmastossa

Ilmastomallisimulointien "nykyilmastoa" 1961 - 1990 vastaavia ääriarvoja vertailtiin saman ajanjakson historiallisen havaintodatan analyysiin perustuviin ääriarvoihin. Simuloitu tulos on Extremes I -projektissa tehtyjen RCAO mallin 30 vuoden kontrolliajojen RHC ja REC analyysien tuloksen keskiarvo. Havaintoihin perustuva tulos [6] perustuu Ilmatieteen laitoksen eräiltä säähavaintoasemilta saattuihin pitkiin havaintoaikasarjoihin. Vertailun tulokset on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Ilmastomallisimulointiin ja mittauksiin perustuvien 50 vuoden toistuvuusaikaa vastaavien arvojen vertailu ajanjaksolle 1961 - 1990 eräillä Suomen paikkakunnilla. Havaintoihin perustuvat arvot viitteestä [6].*

### Minimilämpötilat (°C)

Paikka	Simuloinnit	Havainnot	EROTUS
Helsinki	-42.8	-33.6	-9.2
Ivalo	-49.4	-47.4	-2.0
Joensuu	-49.8	-38.8	-11.0
Jokioinen	-45.2	-37.5	-7.7
Jyväskylä	-45.9	-38.3	-7.6
Kauhava	-44.8	-40.0	-4.8
Kuusamo	-52.5	-44.3	-8.2
Muonio	-52.3	-44.9	-7.4
Oulu	-47.3	-40.1	-7.2
Sodankylä	-47.2	-47.9	0.8
Turku	-44.4	-34.1	-10.3
Utti	-45.8	-37.4	-8.4
Keskiarvo	-47.3	-40.4	-6.9

### Maksimilämpötilat (°C)

Paikka	Simuloinnit	Havainnot	EROTUS
Helsinki	27.6	30.3	-2.8
Ivalo	27.5	31.5	-4.1
Joensuu	31.0	31.9	-0.9
Jokioinen	31.6	32.0	-0.4
Jyväskylä	30.1	32.2	-2.1
Kauhava	30.6	31.6	-1.0
Kuusamo	26.9	30.5	-3.7
Muonio	27.4	30.3	-3.0
Oulu	27.5	32.5	-5.0
Sodankylä	28.3	31.0	-2.8
Turku	31.7	31.2	0.4
Utti	32.0	32.5	-0.5
Keskiarvo	29.3	31.5	-2.1

### Maksimituulennopeudet (m/s)

Paikka	Simuloinnit	Havainnot	EROTUS
Bogskär	22.1	27.8	-5.8
Hailuoto	13.3	29.0	-15.8
Kalbådgrund	17.9	25.1	-7.3
Kuopio	12.2	15.5	-3.3
Lahti	11.1	12.1	-1.1
Keskiarvo	15.3	21.9	-6.6 / -30 %

### 5 vuorokauden sademaksimi (mm)

Paikka	Simuloinnit	Havainnot	EROTUS
Helsinki	82	112	-31
Ivalo	111	97	14
Joensuu	89	107	-19
Jokioinen	112	106	6
Jyväskylä	85	90	-5
Kauhava	96	103	-8
Kuusamo	101	71	30
Muonio	92	86	6
Oulu	86	71	15
Sodankylä	81	82	-2
Turku	123	102	21
Utti	87	87	0
Keskiarvo	95	93	2 / 2 %

Yhteenvedona vertailusta voidaan todeta, että 50 vuoden toistuvuusajkaa vastaavat

- Simuloidut maksimilämpötilat ovat noin 2 °C, ja minimilämpötilat noin 7 °C todellisia alhaisempia.
- Maksimisademäärät ovat erittäin hyvin havaintoja vastaavia.
- Lumikuormat ovat hyvin todellisuutta vastaavia.
- Tuulen maksiminopeudet ovat lähes 30 % todellisia alhaisempia.

Vertailussa varsinkin tuulennopeudelle saatu suuri ero ei kuitenkaan tarkoita sitä, että tulokset näiden muuttujien *muutoksesta* ilmastonmuutoksen myötä olisivat tällä tavoin virheellisiä, koska ero voi olla systemaattinen. Vertailu kuitenkin osoitti, että varsinkin tuulennopeuden osalta käytetyssä alueilmastomallissa on selvästi parantamisen tarvetta. Näistä ongelmista on raportoitu ilmastomallien kehittäjille Rossby Centre:iin.

## 3.4 Simulointiennusteiden virhearviot

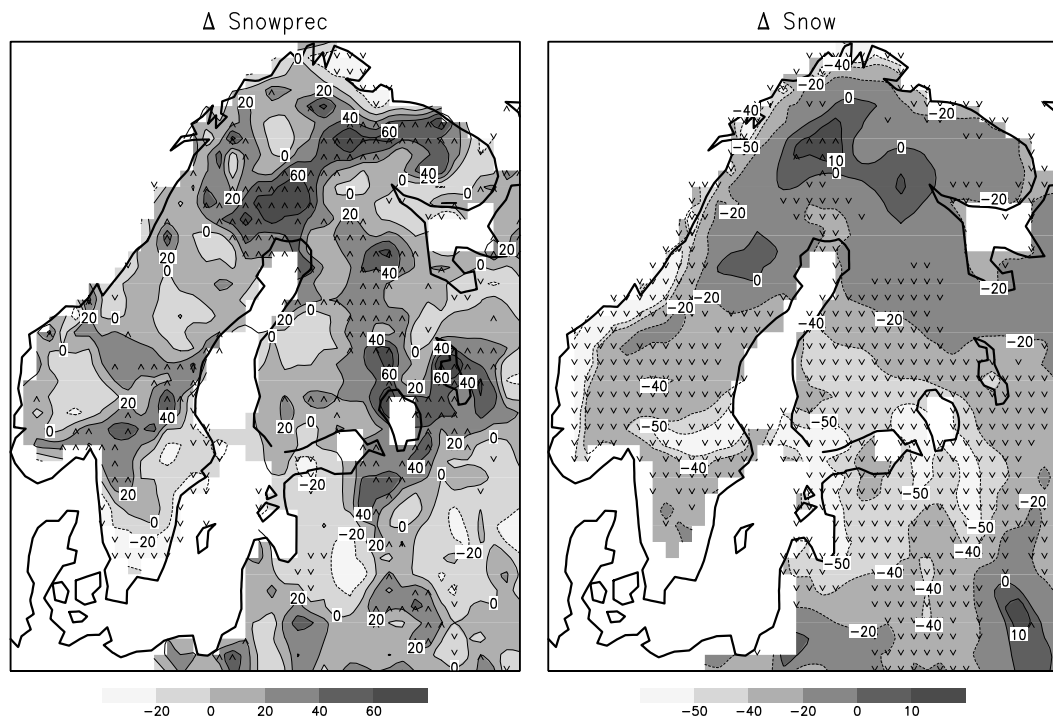
Ilmastomalleilla tässä projektissa tehdyt ennusteet perustuvat IPCC:n ihmiskunnan tulevaisuuden päästöjä kuvaaviin skenaarioihin A2 ja B2. Ne ovat sellaisia tiedeyhteisön mahdollisiksi arvioimia tapahtumaketjuja tulevaisuudessa, jotka eivät edusta eri skenaarioiden kumpaakaan ääripäätä. Kun niitä on tässä työssä käytetty, on implisiittisesti oletettu, että niiden kaltainen tulevaisuus on todennäköisempi, kuin muiden IPCC:n päästöskenaarioiden kuvaama tulevaisuus. Skenaariot eivät kuitenkaan ole ennusteita siinä mielessä, että niihin voitaisiin liittää kvantitatiivista ”virhearviota”. Pelkästään tämänkin vuoksi kvantitatiivisten virhearvioiden antaminen tässä projektissa esitetyille ennusteille olisi vailla perusteita ja mahdollisesti harhaanjohtavaa. Lisäksi se, mitä kahta globaalia ilmastomallia työssä on käytetty alueilmastomallin reunaehtona, on käytännön tekijöiden sanelema subjektiivinen valinta, eikä mallien keskinäisestä paremmuudesta ole varmuutta.

Myös käytettyihin tilastollisiin menetelmiin liittyy subjektiivisuutta. Ainoastaan yksittäisiin tilastoanalyysiin, kun menetelmät on jo valittu, voidaan liittää mate-

maattisesti määriteltyjä virherajoja (ks. Kuva 1). Niiden käyttö koko päättelyketjun virheen kuvaajana olisi harhaanjohtavaa.

Koska kvantitatiivista virhearviota ei ole pystytty tekemään, on yksinkertaisena indikaattorina tuloksen luotettavuudesta käytetty sitä, ovatko kaikki neljä RCAO-ajoissa tehtyä simulointia muutoksen *suunnan* suhteen yhteneväisiä. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki ennustekartasta, johon on merkitty ne alueet, joilla muutoksen suunta on kaikissa neljässä simuloinnissa sama. Kuvasta 7 nähdään, että muutosarvion luotettavuus ei täysin korreloi muutoksen suuruuden kanssa.

Se, että ennusteet ovat skenaarioihin pohjautuvia ja niin monimutkaisen ja osin subjektiivisen laskentaprosessin tuloksia, ettei niihin voi liittää perusteltuja kvantitatiivisia virherajoja, on tulosten käytön kannalta - erityisesti päätöksenteossa - kiusallista. Tilannetta voi verrata lyhytaikaiseen sään ennustamiseen, johon ei yleensä liitetä todennäköisyyspohjaista ennustetta, vaan se annetaan meteorologien "parhaana arvauksena". Ilmastosimulointien osalta tilanne tulevaisuudessa paranee, kun mallien toimintaa ja niihin liittyviä virheitä aletaan tarkemmin ymmärtää mm. vertailututkimusten avulla [7].



Kuva 7. Esimerkki virheen käsittelystä simulointien tulkinnassa: Ilmastomallisimuloinneista (neljän 30 v. simuloinnin keskiarvo) ennakoitu muutos (%) noin sadan vuoden aikana keskimäärin kerran 50 vuodessa ylittyvien 6 tunnin aikana sataneen lumen (vasemmalla) ja vuotuisen lumipeitteen maksimivesiarvon (oikealla) määrässä. Kuvaan on merkitty  $\wedge$  merkillä ne laskentapistet, joissa kaikkien simulointien ennustama muutoksen trendi on kasvava ja  $\vee$  merkillä ne, joissa kaikkien simulointien ennustama muutoksen trendi on vähenevä.

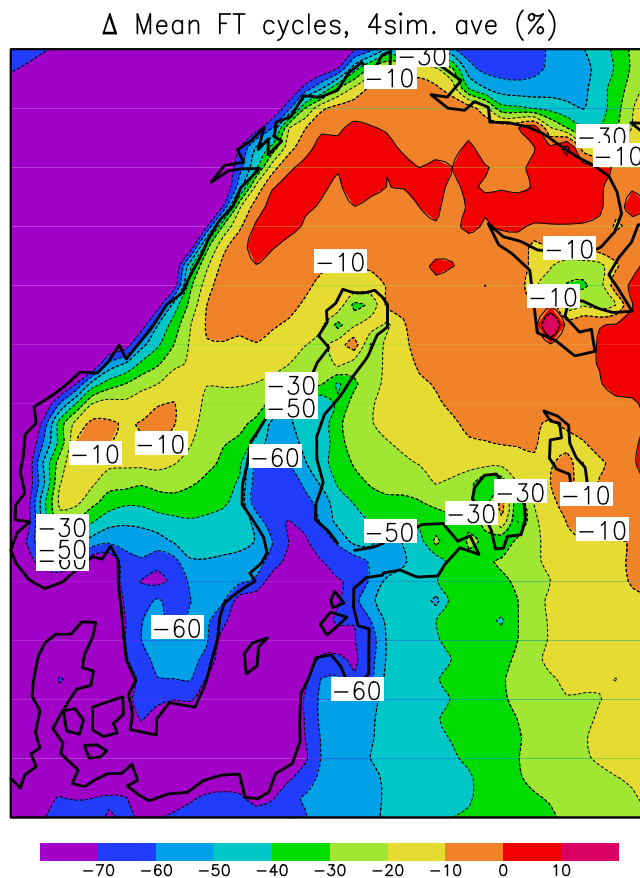
Hyödyllinen ajattelutapa tässä projektissa esitettyjen ennusteiden virheen käsittelemiseksi kvalitatiivisesti on se, että ajatellaan ilmakehän prosessien tulevan mallilaskelmissa ja analyysissa oikein kuvatuiksi ja tulkitaan ennusteen virheen liittyvänkin ennuste aikaan. Toisin sanoen: Ennustettu muutos tapahtuu, ja epävarmuus on siinä, toteutuuko se esimerkiksi 80 vuoden vai 100 vuoden päästä.

## 4 Muita rakennetun ympäristön kannalta tärkeitä ilmastonmuutosennusteita

Useissa rakennusalan sovellutuksissa tarvitaan ilmaston muuttumisesta ennusteita muillekin kuin ääriarvoja kuvaaville suureille - myös sellaisille, joita ei saada suoraan ilmastomallin laskemista sään muuttujista. Extremes II projektissa tehtiin myös tällaisia ilmastonmuutosennusteita yhdistämällä mallidatan analyysiin ilmiöitä kuvaavat esiintymiskriteerit ja yksinkertainen laskentamenetelmä.

### 4.1 Jäätymis-sulamissyklit

Sulamisen ja jäätyminen rapauttavat ulkoverhoiluja ja rakenteita sekä vaikuttavat liukkauteen jalankulussa ja tieliikenteessä. Arvio sulamis-jäätymistapausten muuttumisesta ilmastonmuutoksen myötä on esitetty karttana kuvassa 8. Toisin kuin kuvat 2 - 6, jotka esittävät ääritilanteiden muutoksia, kuva 8 kuvaa muutosta vuotuisen jäätymis-sulamissyklien määrässä keskimäärin. Kuvan 8 mukaan alueilla, joissa nykyilmastossa on pitkä ja kylmä talvi sulamis-jäätymissyklit lisääntyvät jonkin verran. Toisaalta alueilla, joissa nykyinen talvi on lyhyt ja lämmin, jäätymis-sulamistapausten vuotuinen lukumäärä vähenee selvästi. Jälkimmäinen ilmiö johtuu etenkin talven lyhenemisestä näillä alueilla. Keskitalvella - esimerkiksi liukkauden torjunnan kannalta - tilanne voi siis pahentua samalla, kun huolto-vapaa aika koko vuoden aikana pitenee.



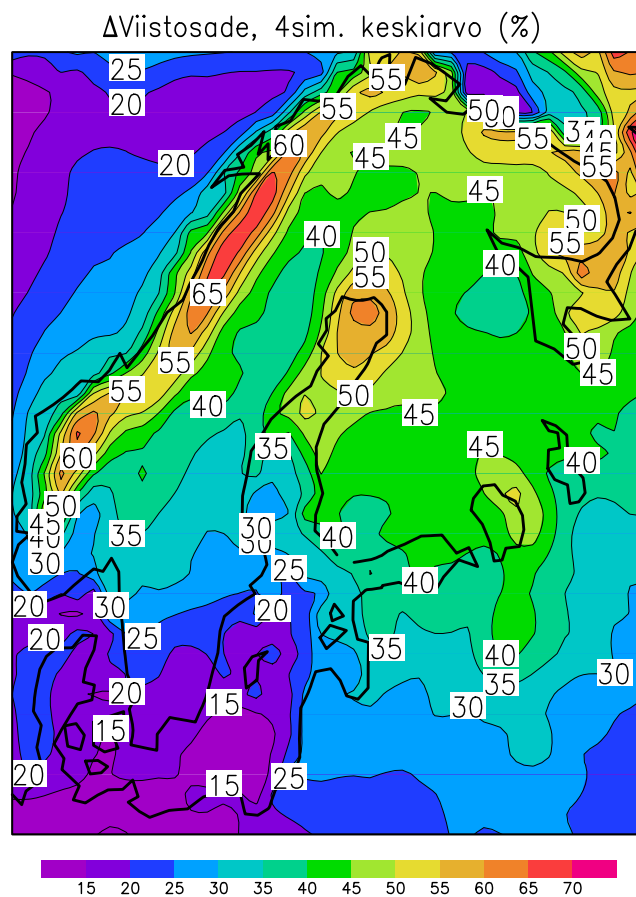
Kuva 8. Ilmastomallisimuloinneista (neljän 30 v. simulointivertailun keskiarvo) ennakoitu muutos (%) noin sadan vuoden aikana keskimääräisessä jäätymis-sulamissyklien määrässä. Laskenta perustuu kuuden tunnin välein määritettyihin lämpötiloihin.



## 4.2 Viistosade

Tuulen mukana ajautuva viistosade on tärkeä rakennusten ulkoverhoilun käyttökään vaikuttava tekijä. Sitä voidaan arvioida sateen intensiteetin ja samanaikaisesti esiintyvän tuulen nopeuden avulla [8]. Koska kuiva lumi ei aiheuta ulkoverhoilun kastumista, analyysi rajoitettiin tilanteisiin, joissa ilman lämpötila on suurempi kuin 0 °C.

Kuvassa 9 on esitetty koko vuoden viistosateen määrässä ennakoitu muutos noin sadan vuoden aikana. Tässä on analysoitu vuoden keskimääräistä viistosadetta - ei siis ääriarvoja. Kuvan 8 mukaan muutokset viistosateen määrässä tulevat olemaan erittäin suuria. Analyysi tehtiin myös vuodenajoittain ja se osoitti, että ilmastonmuutokseen liittyvä viistosateen kasvu ajoittuu talveen. Siihen vaikuttaa etenkin talviaikaisten vesisateiden yleistyminen.

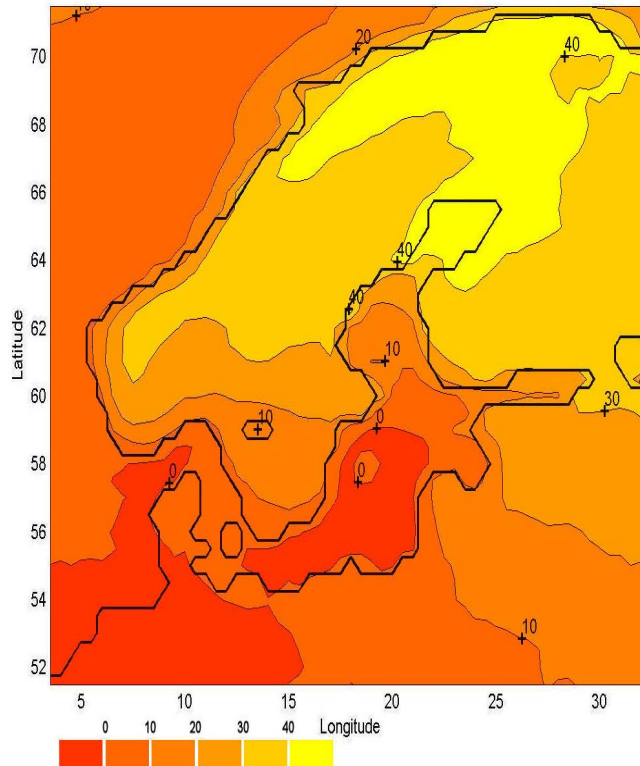


Kuva 9. Ilmastomallisimuloinneista (neljän 30 v. simulointivertailun keskiarvo) ennakoitu muutos tämän vuosisadan aikana keskimääräisessä vuoden viistosateen määrässä (%).

## 4.3 Korroosiota aiheuttava märkäaika

Teräksen ruostuminen eli korrosio on laajalti rakenteita vaurioittava tekijä. Sen indikaattorina pidetään ns. märkäaikaa, joka on se aika, jona ilman suhteellinen kosteus on yli 80 % ja ilman lämpötila on suurempi kuin 0 °C. Kuvassa 10 on esitetty ilmastomallisimulointien (simulointi RHA2) perusteella tapahtuva muutos märkäajassa sadan vuoden aikana. Aika, jona korroosiota tapahtuu lisäänty

kuvan 10 mukaan noin 40 % Suomessa. Lisääntyminen liittyy sekä ilmaston kostumiseen, että pakkasajan lyhenemiseen.



Kuva 10. Alueilmastomallilla (globaali malli HadAM3H) A2 skenaariossa simuloitu muutos korroosioajassa (%) tämän vuosisadan aikana.

## 5 Tiivistelmä ennakoituista muutoksista

Projektissa saavutettujen tulosten mukaan alkaneen vuosisadan loppuun mennessä:

- Kuuden tunnin sekä viiden vuorokauden aikana kertyvät sademaksimit kasvavat Suomessa keskimäärin 25 - 50 %. Tämän seurauksena erityisesti kaupunkitulvariski kasvaa.
- Vesistöjen ja tekojärvien tulvimisriski kasvaa.
- Merkittävää rakenteita mitoittavien myrskyjen voimistumista ei tapahdu Suomessa, mutta ne kuitenkin todennäköisemmin kasvavat kuin vähenevät - erityisesti Etelä-Suomessa.
- Kesien maksimilämpötilat nousevat noin viisi astetta ja talvien minimilämpötilat noin kymmenen astetta.
- Maksimilumikuormat vähenevät Etelä-Suomessa noin puoleen, mutta pysyvät Pohjois-Suomessa lähes ennallaan.
- Lumisuuden vähenemisestä huolimatta liikennettä häiritsevien lyhytaikaisten lumisateiden voimakkuus kasvaa.
- Sähköjakaiverkon osalta puiden kaatumiseen liittyvät häiriöt lisääntyvät, mutta jääkuormat vähenevät.

- Märän lumen aiheuttamat kuormat johtimilla yleistyvät.
- Tuulivoimaloiden jäätymisongelmat helpottuvat.
- Teräsrakenteiden pitkäaikaiskestävyys heikkenee, koska korroosioaika kasvaa selvästi.
- Jäätymis-sulamissykliä muutokset ovat eri puolilla Suomea erisuuntaisia - Pohjois-Suomessa tienpidon keli-ongelmat pahenevat.
- Viistosateet lisääntyvät huomattavasti.
- Ukkosten esiintyminen yleistyy.

## 6 Sopeutumistarpeita

Ilmastomuutoksen vaatimiin toimenpiteisiin sopeuttaminen on syytä aloittaa varhaisessa vaiheessa. Toimenpiteet koskettavat infrastruktuurin kestävyyttä ja häiriötilanteiden hallintaa sekä tiedottamista häiriöistä. Suurimpana riskinä näyttäisi olevan ilmastomuutoksen aikaansaama tulvien yleistyminen, jonka tulisi johtaa liikenneväylillä nykyisten kuivatusjärjestelyjen mitoituksen tarkistamiseen ja mahdollisiin muutoksiin silta-aukkoja ja rumpuja koskeissa ohjeissa sekä pengerkorkeuksissa. Suurtulvatyöryhmän tuottama raportti [9] tulva-herkistä alueista tulisi ottaa lähtötiedoksi suunniteltaessa rakenteita riskialttiilla alueilla.

Ilmastomuutos tulee siis edellyttämään rakennus- ja liikenneinfrastruktuurin suunnittelunormien ja ohjeiden arviointia ja tarkistamista. Väyläverkoston yleisenä suunnitteluperiaatteena tulee olla mahdollisuuksien mukaan välttää tulva-herkkiä alueita. Lämpötilaolojen muutokset vaikuttavat käytettäviin materiaaleihin ja teknisiin ratkaisuihin.

Rakentamisessa joudutaan ottamaan huomioon myös välilliset vaikutukset kuten kasvillisuuden ja eläinten elinympäristössä tapahtuvat olosuhteiden muutokset (levinneisyysvyöhykerajat ja esiintymisalueet muuttuvat, populaatioiden runsaus-suhteet muuttuvat) sekä haitallisten vaikutusten ehkäisyssä että istutuksia ja rakenteita perustettaessa. Valmiutta väylien huoltoon joudutaan tehostamaan, samoin varautumista äkillisiin korjaustoimenpiteisiin.

Extremes II -hankkeen päätarkoituksena oli tuottaa ilmastosimulointituloksia erityisesti ääritilanteiden esiintymistodennäköisyyksien muutoksista Suomessa, kun ilmasto globaalisti muuttuu. Tätä perustietoa on siirretty muiden projektien käyttöön sopeutumistarpeen ja sopeutumistoimenpiteiden arviointia varten. Tarvittavat sopeutumistoimet ovat eri yhteiskunnan sektoreilla erilaisia ja niiden suunnittelu on tapahtunut soveltajien toimesta eri hankkeissa yhteistyössä Extremes II -projektin kanssa. Niiden monia tuloksia on esitelty asianomaisten hankkeiden julkaisuissa (ks. "Muut julkaisut", s. 22). Yhteenvedona voidaan mainita seuraavia sopeutumistarpeita:

### Rakenteiden ja infrastruktuurin mitoituksen tarkistaminen

Tuulikuormien osalta Extremes II -projektin tulokset eivät sinänsä anna aihetta nykyisten rakennusmääräysten tarkistamiseen. Projektin vertailutulokset kuitenkin osoittivat, että tuulen nopeus on ilmastomallituloksissa se muuttuja, johon liittyy

suurin systemaattisen virhe. Tämän vuoksi tuulennopeuden ääriarvojen muutoksen tutkimista tulisi jatkaa parannetuilla malleilla ja niiden kehittyessä kiinnittää asiaan jatkuvaa huomiota.

Vaikka äärituulennopeudet eivät tämän projektin tulosten mukaan merkittävästi kasva, tuulisuus yleensä tulee todennäköisimmin lisääntymään kuin vähenemään ja maan routiminen vähenemään. Nämä tekijät lisäävät metsävahinkoja. Koviin tuulien aiheuttamia tuulenkaatoja tulee vähentää lisäämällä tie- ja rata-alueiden leveyttä ja kaatamalla riskipuita. Oikeudet tähän toimintaan olisi hankittava katselmuksilla tai maanomistajien kanssa tehdyillä sopimuksilla.

Ilmaston ääri-ilmiöiden voimistuminen ja toistuvuuden lisääntyminen lisää tierakenteiden ja laitteiden kunnossapito- ja korjaustarvetta. Kuivatuslaitteiden ja rumpujen toimivuutta ja ylipadotusta on seurattava ja tarvittaessa parannettava. Rumputoimitusohjeet on tarkistettava. Kuivatuksen toteutusta tulisi kehittää dokumentoitua koesuunnittelua käyttäen.

Tulva-vaara alueiden kartoitusta on kehitettävä ja rakentamisen vähimmäiskorkeustason vaatimuksia tarkennettava.

Voimakkaan pintaveden virtauksen aiheuttamia eroosiovaurioita on inventoitava ja eroosiosuojausta parannettava mm. kuivatuslaitteissa ja siltakeiloissa. Sortumarkejä olisi tunnistettava jokiuomien alueilla vanhojen sortumamerkkien ja havaittujen painumavaurioiden perusteella.

Rakennusmateriaalien valintaan on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota, koska viistosateen lisääntyminen lyhentää rapattujen ja laatoitettujen ulkoverhoilupintojen sekä puuverhoilujen käyttöikää. Ilmaston lämpeneminen ja kostuminen lisää teräsrakenteiden korroosiota ja puun lahoamista, ja tämäkin on suunnittelussa otettava huomioon.

#### Varoitus- ja suojausjärjestelmien kehittäminen

Ääreisten ilmastovaikutusten hallinnassa ovat keskeisessä asemassa ilmastoilmion ennakointi ja siihen perustuva varoittaminen sekä suojaustoiminnan käynnistäminen. Varoitus- ja suojaustoiminnan menetelmiä tulee kehittää. Suojelu- ja pelastustoiminnan tulisi kattaa myös ääri-ilmiöiden aiheuttamat häiriövaikutukset. Suunnittelussa ja harjoitustoiminnassa olisi huomioitava yhteistyö pelastusviranomaisen kanssa.

#### Havaintoverkoston kehittäminen

Esimerkiksi tie- ja rataverkon häiriöiden ennakoinniseksi tarvitaan tietoa myös suureista, joita ei julkisen sääpalvelun puitteissa käsitellä. Tällaisia ovat esimerkiksi raiteiden hellekäyriä aiheuttavat kesälämpötilat ja pakkaskatkoriskin tunnistaminen ja ennakointi. Myös routaolojen kehittymisen arviointi ja ennakointi paikallisesti edellyttää erityishavaintoja.

#### Logistinen ja materiaallinen varautuminen

Vahinko- ja häiriötilanteessa tulisi mahdollisuuksien mukaan osoittaa korvaavat reitit ja palvelut, joilla liikenne ja kuljetukset saadaan toimintaan uudessa tilanteessa. Korvaavia reittejä tulisi selvittää valmiussuunnittelulla ennakolta. Suojelu-

ja pelastussuunnittelussa tulisi myös määrittellä ne laite- ja materiaalireservit, jotka ovat käytettävissä tilanteessa (pumput, varasillat, työkoneet, rakennusmateriaalit ym.). Valmiustasoja olisi tarkistettava ilmaston muuttuessa.

Lumisen kauden pituuden lyheneminen ja lumisateiden voimakkuuden muuttuminen vaikuttavat teiden talvikunnossapitoon. Myös liukkaudentorjunta, joka liittyy jäänpoistoon ja suolaukseen pakkaslämpötiloissa lähellä 0 °C muuttuu. Talvien leudontuessa liukkaudentorjunnan tarve lisääntyy Pohjois-Suomessa. Äärilumisateiden yleisyyden kasvu koko maassa on otettava huomioon aurasuorituskykyt. Liukkaudentorjunta edellyttää luotettavaa kelin mittausta ja ennakoitua tiiverkolla ja tämä tarve korostuu, kun liukkaustilanteiden lukuisuus kasvaa.

### Sähkönsyötön ja teletoiminnan varmentaminen

Yhteiskunnan toimivuuden ja mm. rataliikenteen liikennehäiriöiden vähentämiseksi on tarpeen parantaa sähkönsyötön ja liikenteenohjauslaitteiden varmennustasoa mm. ukkossuojauksia parantamalla ja lisäämällä turvalaitteiden riippumattomuutta paikallisesta sähkönsyötöstä.

Märän lumen aiheuttamiin ongelmiin sähkölinjoilla ja niitä reunustavalla puustolla on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota Pohjois-Suomessa. TV- ja puhelinmastojen jääkuormien arviointia on tarkennettava.

Äärimmäisten minimilämpötilojen nousu vähentää sähkönsyötöltä vaadittavaa maksimikapasiteettia.

## Lähdeviitteet

1. Rockner, E., Bengtsson, L., Feichter, J., Lelieveld, J., Rodhe, H., 1999. Transient climate change simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM including the tropospheric sulfur cycle, **Journal of Climate** 12, 3004 - 3032.
2. Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, M., Samuelsson, P., Willén, U., 2004. European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, **Climate Dynamics** 22, 13 - 31.
3. Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén, U. & Wyser, K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). SMHI Reports Meteorology and Climatology, No. 108, 54 s.
4. Martikainen, A., Pykälä, M-L. & Farin, J. 2007. Recognizing climate change in electricity network design and construction, VTT Research Notes 2419, 82 s.
5. Christensen et al. 2007. Regional Climate Projections. **Climate Change 2007**, Cambridge University Press, 847-940. The Fourth IPCC Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (www.ipcc.ch).

6. Venäläinen, A. et al., 2007. Sään ääri-ilmiöistä Suomessa. Ilmatieteen laitoksen Raportteja No. 2007: 4, 81 s.
7. Räisänen, J., 2007. How reliable are climate models? **Tellus**, 59A, 2 - 29.
8. Huovinen, S., Makkonen, L., Punakallio, E., Riipola, K., Rautiainen, L., Tulla, K., Viitanen, H, Tunturi, J.P. & Sneek, T., 1996. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä, Rasitukset, 3.5: Ilmastorasitukset. (Service life of building materials, Environmental loads). Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., RIL 183-3.5-1996, 79 p.
9. Anon. 2003. Suurtulvatyöryhmän loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio MMM 2003:6, Helsinki, 126 s. ([http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2003/tr2003\\_6.pdf](http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2003/tr2003_6.pdf)).
10. Meehl, G.A. et al. 2007. Global climate projections. Teoksessa: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, 599 s.
11. Anon, 2007. Climate Change and Water Adaptation Issues, **European Environment Agency, Technical Report No 2/2007** ([http://reports.eea.europa.eu/technical\\_report\\_2007\\_2/en](http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2007_2/en)).

## Liite 1. Hankkeen julkaisut ja yhteistyö

### Julkaisut kansainvälisissä tieteellisissä sarjoissa:

- Makkonen, L., 2006: Plotting positions in extreme value analysis. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 45, 334 - 340.
- Makkonen, L., 2007: Reply to a comments by L. de Haan. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 46(3): 397 - 398.
- Makkonen, L., Ruokolainen, L., Räisänen, J. & Tikanmäki, M., 2007: Regional Climate model estimates for changes in Nordic extreme events. **Geophysica**, 43 (1-2): 19 - 42.
- Makkonen, L., 2008: Problems in the extreme value analysis. **Structural Safety**, 30 (5): 405 - 419.
- Makkonen, L., 2008: Bringing closure to the plotting position controversy. **Communications in Statistics - Theory and Methods** 37(3): 460 - 467.
- Räisänen, J. & Ruokolainen, L, 2008: Ongoing global warming and local warm extremes: a case study of winter 2006 - 2007 in Helsinki, Finland. **Geophysica**, 44, 43 - 63.

## Muut julkaisut

- Anon. Structural News. **The Structural Engineer**, 1 November 2005, s. 8.
- Laakso, T., Makkonen, L. & Holttinen, H., 2006: Climate change impact on icing of large wind turbines. European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources, 5-9 June, 2006, Reykjavik, Iceland, 4 s.
- Saarelainen, S. & Makkonen, L., 2007: Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tienpidossa. **Tiehallinnon selvityksiä** 4/2007, 53 s. ISBN 978-951-803-819-4, ISSN 1457-9871.
- Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L., 2007: Sörnäisten-Hermanninranta-osayleiskaava - Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen. **VTT Tutkimusraportti** VTT-R-00471-07, VTT ja Helsingin kaupunki, Kaupunginsuunnitteluvirasto, 57 s.
- Saarelainen, S. & Makkonen, L., 2008: Radanpidon sopeutuminen ilmastonmuutokseen, esiselvitys, **Ratahallintokeskuksen julkaisusarja A** 16, 55 s. ISBN 978-952-445-261-8, ISSN 1455-2604.
- Järviluoma, E., 2008: Ilmastonmuutos - Mitä se vaikuttaa Lapissa. **Tiennäyttäjät**, 1, 8 - 9.
- Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L., 2008: Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa - tapauskohtaisia tarkasteluja. **VTT Tutkimusraportti** VTT-R-03986-08, 173 s.
- Viitanen, H., Pehkuri, R., Ojanen, T., Toratti, T. & Makkonen, L., 2008: Service life of wooden materials - mathematical modelling as a tool for evaluating the development of mould and decay. COST E37 Final Conference "Socio-economic perspectives of treated wood for the common European market", Bordeaux, 2008, 12 s.
- Tikanmäki, M., 2009: Iteratiivinen menetelmä jakauman sovittamiseksi ääriarvodataan. Erikoistyö/Matematiikan laitos, Teknillinen korkeakoulu.
- Makkonen, L. & Tikanmäki, M., 2008: Natural Hazards to infrastructure in a changing climate. Teoksessa: **Scientific activities in building and construction**. VTT, s. 32 - 33.
- Wahlgren, I., Makkonen, L. & Kuismanen, K. 2008: Climate change in urban planning: Teoksessa: **Scientific activities in building and construction**. VTT, s. 34 - 35.

## Hanke yleisöviestimissä

- **VTT:n** lehdistötiedote 9.1.2006
- **Helsingin Sanomat** 9.1.2006, etusivu ja kotimaan uutiset, s. A4
- **American Meteorological Society**, Press Release 21.3.2006

- **Kauppalehti** 23.3.2006, s. 13
- **Helsingin Sanomat** 4.4.2006, s. D2
- **Tekniikka & Talous** 6.4.2006, s. 37
- **VTT Intranet uutinen** 28.3.2007: "Ympäristöklusterilta tunnustusta VTT:n projekteille"
- **Tekniikan Maailma, Suomen Luonto ja KD Viikkolehti**, 2006
- **Helsingin Sanomat** 1.6.2007, s. A15
- **Teräsrakenne, Väri- ja pinta** sekä **Keminmaa-lehti**, 2007
- **VTT Intranet uutinen** 10.10.2007: "Nobel-palkitun IPCC:n toimintaan osallistuneita VTT:läisiä onnitteltiin"
- **Helsingin Sanomat** 12.2.2008, Mielipide, s. C6
- **Nelosen TV-uutiset** 9.5. (L. Makkosen haastattelu nettiuutisissa)
- **Helsingin Sanomat** 10.5.2008
- **Rakennuslehti** 15.5.2008
- **Brasilian televisio** 29.10.2008 (I. Wahlgrenin haastattelu)
- **Helsingin Sanomat** 14.11.2008, pääkirjoitus

#### **Hankkeesta pidetyt seminaariesitykset**

- Meteorologian seminaariesitelmä Helsingin yliopistossa 9.2.2006
- Esitys SAFIR-tutkimusohjelman ohjausryhmä 6:n kokouksessa 23.5.2006
- Esitys Ympäristöklusterin tutkimusohjelman seminaarissa 23.5.2006
- Esitelmä, Summer School of Air-Sea Interaction, Helsingin yliopistossa 1.9.2006
- Esitelmä Suomen Hydrologiyhdistyksen seminaarissa 19.9.2006
- Seminaariesitelmä TOLERATE-seminaarissa, Valtiontalouden tutkimuskeskus, 31.1.2007
- Rakenteiden mekaniikan seuran teemailta, puheenvuoro 11.4.2007
- Esitys ympäristöklusterin tutkimusohjelman projektin No. 23 johtoryhmälle 13.6.2007
- Esitelmä, Expert Meeting "Ice Loads and Climate Change", Max Planck Institute for Meteorology, Hampuri, 8.11.2007



- Nobel-luento, Helsingin yliopisto 14.2.2008
- Rakennusinsinöörien liiton (RIL) senioreiden vierailu VTT:ssa, esitelmä 17.10.2007
- Esitys ISTO seminaarissa 4. - 5.3.2008
- Esitys Ilmastomuutoksen huomioiminen kaavoituksessa hankkeen (Ympäristöklusterin tutkimusohjelman hanke no 23) loppuseminaarissa 9.5.2008.
- Esitys ISTO-ohjelman toimittajille suunnatussa seminaarissa "Miten Suomi varautuu ilmastonmuutokseen" 11.11.2008.

### **Yhteydet muihin tutkimushankkeisiin**

Hankkeessa oltiin yhteistyössä Ympäristöklusterin tutkimusohjelman ilmastonmuutokseen liittyvien muiden hankkeiden kanssa. Näistä merkittävin oli Ilmatieteen laitoksen hanke no. 4 "Sään ääri-ilmiöiden toistuvuudet Suomessa", jonka kanssa tutkittiin alueilmastomallin vertailuajoissa laskemien ääritilanteiden realisuutta vertaamalla niitä meteorologiseen havaintoaineistoon (Taulukko 1).

Lisäksi hankkeessa tehtiin tiivistä yhteistyötä VTT:n sisällä siten, että tämän hankkeen laskentatuloksia käytettiin Ympäristöklusterin hankkeissa no. 23 "Ilmastomuutoksen huomioiminen kaavoituksessa" ja no. 25 "Rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutoksen aiheuttamille tulvavaikutuksille".

Hankkeen tuloksia on hyödynnetty myös VTT:n toimeksiantotutkimuksissa Tiehallinnolle, Ratahallinnolle sekä kaupungeille, ja maakuntakeskuksille (ks. s. 21).

VTT:ssa on Extremes-projektin osaamista käytetty myös "Ilmastomuutoksen vaikutukset sähköverkkoliiketoimintaan" (ILMUU2) projektissa, jonka asiakkaina oli Energiategollisuus ry ja kymmenen sähkönjakeluyhtiötä. Lisäksi kansainvälisessä "IEA Ice Annex" hankkeessa on VTT:ssa tutkittu ilmastonmuutoksen vaikutusta tuulivoimaloiden ja voimalinjojen jäätymiseen, ja "EVASERVE"-hankkeessa arvioitu ilmastodatan taloudellista arvoa.

VTT on solminut Extremes-projektin aihepiiriin liittyen norjalaisen SINTEF tutkimuslaitoksen kanssa yhteistyösopimuksen, jossa ilmastonmuutokseen sopeutuminen rakennussektorilla on yhtenä tutkimusteemana.

Extremes-projektin tuloksia käytettiin valmisteltaessa EU:n 7. puiteohjelmaan VTT:n koordinoima hanke "Extreme weather impacts on European networks of transport" (EWENT), joka vastasi hakuun TPT.2008.1. Hanke on hyväksytty rahoitettavaksi (1.5 milj. euroa).

VTT:ssa on käynnistyi kansainvälinen puurakentamiseen liittyvä hanke "WoodExter", ja siinä on Extremes-projektin dataa sovellettu osiossa Work Package 1 "Climate data - Exposure conditions". Työssä on yhdistetty puurakenteiden lahoamista kuvaava malli, alueilmastomallien simulointeihin ja tuotettu siten kartta puurakenteiden pitkäaikaiskestävyydestä Euroopassa.

### Muu hankkeen yhteistyö

- J. Räisänen on ollut yksi **IPCC:n Fourth Assessment Report** -julkaisun [5] alueellisia ilmastonmuutoksia käsittelevän luvun pääkirjoittajista ja avustavana kirjoittajana saman raportin globaaleja ilmastonmuutoksia käsittelevässä luvussa [10].
- L. Makkonen on ollut Reviewerina **IPCC Fourth Assessment Report** -julkaisuun [5].
- L. Makkonen on osallistunut VTT:n ILMUU2-projektin johtoryhmän työskentelyyn ja sen loppuraportin tarkastamiseen [4].
- L. Makkonen on osallistunut Ilmastonmuutokseen sopeutumisen tutkimusohjelman (ISTO) tukiryhmän toimintaan.
- L. Makkonen on ollut kommentoija raporttiin **Climate Change and Water Adaptation Issues** [11]

## Liite 2. Palautetta hankkeessa tehtyyn teoriakehitykseen

Projektissa tehdyn teoriakehityksen tuottamat julkaisut saivat julkaisuprosessin aikana lehtien reviewereilta paljon kritiikkiä - ovathan esitetyt johtopäätökset vastoin monissa alan perusteoksissa ja oppikirjoissa esitettyä tietoa. Vastustus oli niin sitkeää, että eräs reviewer lähetti 43 kohtaa sisältäneen kritiikin, jonka toimitus kuitenkin kirjoittajan vastauksen ja muiden reviewereiden lausuntojen perusteella sivuutti.

Julkaisemisen jälkeen projektin teoriaosaan liittyvät työt ovat saaneet seuraavaa palautetta ulkomailta:

**Makkonen, L., 2006: Plotting positions in extreme value analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45, 334 - 340.**

Tätä julkaisua edeltänyt konferenssiesitelmä (IABSE Conference on Structures and Extreme Events) on poimittu "highlights" esimerkkinä otsikon "Statistics" alle *The Structural Engineer* -lehden uutiskolumnissa "Structural News" (1 November 2005, s. 8).

American Meteorological Society julkaisi artikkelin johdosta *Press Release*-tiedotteen 21.3.2006.

Sovellutun statistiikan tunnettuihin nimiin kuuluva L. de Haan (Erasmus University, Hollanti, kirjoittanut mm. teoksen *Extreme Value Theory - An Introduction*, Springer, 2006) lähetti artikkeliin kommentin, jossa kritisoi artikkelin uutisointitapaa, mutta toteaa "Once again, I do not mean to criticize the paper itself" ja ilmaisi näin tukensa artikkelissa esitetylle analyysille.

Artikkeliin on viitattu kappaleessa "Statistical analysis and modelling ice loads on overhead transmission lines" kirjassa: *Atmospheric Icing of Power Networks* (M. Farzaneh, ed.), Springer, 381 s. (2008).

**Makkonen, L., 2008: Problems in the extreme value analysis. *Structural Safety*, 30 (5): 405 - 419.**

Tähänkin artikkeliin on lähetetty kommentti, jonka on kirjoittanut rakennusten luotettavuuden tunnetuimpiin tutkijoihin kuuluva R.E. Melchers (University of Newcastle, Australia, kirjoittanut mm. teokset *Structural Reliability - Analysis and Prediction*, Wiley, 1999 ja *Modeling Complex Engineering Structures*, ASCE, 2007). Kommentissaan Melchers totesi: "The Author makes a strong and convincing case for care in the way extreme value data is interpreted. This writer supports the case ...".

Lisäksi sähköpostitse on tullut palautteita, esimerkiksi "I agree with you"/D. Koutsoyiannis (Kreikan Teknillinen korkeakoulu, kappaleen kirjoittaja kirjaan *Advances in Urban Flood Management*, Taylor & Francis 2007).