



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTEJA  
RAPPORTER  
REPORTS  
2016:8

# ILMASTONMUUTOS PÄÄKAUPUNKISEUDULLA

**ANTTI MÄKELÄ  
ILARI LEHTONEN  
KIMMO RUOSTEENOJA  
KIRSTI JYLHÄ  
HEIKKI TUOMENVIRTA  
ACHIM DREBS**



RAPORTTEJA  
RAPPORTER  
REPORTS

No. 2016:8

ILMASTONMUUTOS PÄÄKAUPUNKISEUDULLA

Antti Mäkelä  
Ilari Lehtonen  
Kimmo Ruosteenoja  
Kirsti Jylhä  
Heikki Tuomenvirta  
Achim Drebs

Ilmatieteen laitos  
Meteorologiska institutet  
Finnish Meteorological Institute

Helsinki 2016

ISBN 978-952-336-006-8 (nide)  
ISBN 978-952-336-007-5 (pdf)  
ISSN 0782-6079 (Raportteja – Rapportier – Reports)

Julkaisija Ilmatieteen laitos <i>Erik Palménin aukio 1</i> PL 503 00101 Helsinki		Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 2016:8
		Julkaisuaika Joulukuu 2016
Tekijä(t) Antti Mäkelä, Ilari Lehtonen, Kimmo Ruostenoja, Kirsti Jylhä, Heikki Tuomenvirta, Achim Drebs		Toimeksiantaja Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä (HSY)
Nimeke Ilmastonmuutos pääkaupunkiseudulla		
Tiivistelmä <p>Ilmasto on jo muuttunut ihmiskunnan kasvihuonekaasupäästöjen seurauksena. Ilmastomalleihin perustuvien arvioiden mukaan lämpeneminen jatkuu ja sen suuruus ja vaikutukset riippuvat päästöjen määrän kehityksestä eli niiden rajoittamisen tehokkuudesta. Koska ilmakehään jo tähän mennessä päässeet kasvihuonekaasupäästöt vaikuttavat siellä vielä vuosikymmeniä, muuttuviin olosuhteisiin varautuminen esimerkiksi kaupungeissa on joka tapauksessa välttämätöntä.</p> <p>Tuoreimpien arvioiden mukaan pääkaupunkiseudun ilmasto lämpenee kaikkina vuodenaikoina, talvella enemmän kuin kesällä. Mikäli päästöjen hillinnässä onnistutaan tyydyttävästi, vuoteen 2100 mennessä tammikuun keskilämpötila on arvioiden mukaan reilut 5°C korkeampi kuin nykyään, ja vastaavasti heinäkuussa ero on noin 3°C. Äärimmäisen alhaiset lämpötilat harvinaistuvat voimakkaasti. Vuorokauden korkeimmat lämpötilat kesäisin kohoavat samaa tahtia keskilämpötilan kohoamisen kanssa. Talvella sataa selvästi nykyistä enemmän ja aurinkoa nähdään harvemmin. Keskimääräiset ja suurimmat sademäärät sekä sadepäivien määrä kasvavat. Kesällä rankkasateiden arvioidaan voimistuvan runsaat 10 % sadassa vuodessa. 1900-luvun loppuvuosikymmeninä noin kerran 20 vuodessa havaittu rankkasade koetaan 2000-luvun lopulla hiukan useammin kuin kerran kymmenessä vuodessa, ja kerran sadassa vuodessa esiintynyt rankkasade noin kerran 30 vuodessa. Keskimääräiset tuulen voimakkuudet pysyvät likimain ennallaan. Merenpinnan keskimääräinen korkeus Helsingin edustalla nousee muutamia kymmeniä senttimetrejä. Merellä jäät keskimäärin ohenevat ja jään pinta-ala pienentyy. Kuitenkin yksittäisiä runsasjäisiäkin talvia esiintyy vielä lähivuosikymmeninä.</p> <p>Vaikka ilmastonmuutoksen vaikutuksista osan voidaan ajatella olevan Suomessa suotuisia (lämmitystarpeen pieneneminen, pidempi kasvukausi), maailmanlaajuisesti suurin osa vaikutuksista on ihmiskunnan ja maapallon eliöstön kannalta erittäin epäsuotuisia (entistä voimakkaammat äärisääliöt, kuivuus, nälänhätä, pakolaisuus). Koska päästöt eivät tunne valtakuntien rajoja, päästöjen hillinnästä on sovittava kansainvälisesti. Kansainvälisistä sopimuksista tuorein on Pariisin ilmastopöytäkirja vuodelta 2015, jota tarkastellaan myös lyhyesti tässä raportissa.</p> <p>Tähän raporttiin on koostettu viimeisin tieto ilmastonmuutoksen vaikutuksista pääkaupunkiseudulla perustuen IPCC:n 5. arviointiraportin RCP-kasvihuonekaasupäästöskenaarioihin. Raportti siten päivittää aiempia pääkaupunkiseudulle tehtyjä vastaavia arvioiteja.</p>		
Julkaisijayksikkö Ilmastokeskus (IKE)		
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, toistuvuus aika, ääriarvoanalyysi, ilmastonmuutokseen sopeutuminen
ISSN ja avainnimeke ISSN 0782-6079 Raportteja		
Kieli suomi (tiivistelmä myös ruotsiksi ja englanniksi)		ISBN ISBN 978-952-336-006-8 (nide) ISBN 978-952-336-007-5 (pdf)
Myynti <i>Ilmatieteen laitos</i> PL 503, 00101 Helsinki	Yhteydet p. 029 539 4166 e-mail: antti.makela@fmi.fi	Sivumäärä 28

Utgivare Meteorologiska institutet <i>Erik Palméns plats 1</i> PB 503 00101 Helsingfors	Publikationens serie och nummer Rapporter 2016:8
Författare Antti Mäkelä, Ilari Lehtonen, Kimmo Ruosteenoja, Kirsti Jylhä, Heikki Tuomenvirta, Achim Drebs	Datum December 2016  Uppdragsgivare HRM
Rubrik Klimatförändringen i huvudstadsregionen	
Sammandrag <p>Jordens klimat har redan förändrats på grund av människans utsläpp av växthusgaser. Enligt klimatmodeller kommer uppvärmningen att fortsätta, men dess storlek och inverkan beror på hur effektivt vi kan begränsa utsläppen. Trots de planerade åtgärderna har de redan skedda utsläppen gjort det nödvändigt att förbereda sig för förändrande nya omständigheter bl.a. i städer.</p> <p>Enligt den senaste uppskattningen uppvärms klimatet i huvudstadsregionen under alla årstider, dock mer på vintern än på sommaren. Om åtgärderna av utsläppen lyckas nöjaktigt, beräknas den genomsnittliga temperaturen i januari år 2100 vara drygt 5°C grader högre än nu och i juli ca 3°C grader högre jämfört med det nuvarande klimatet. Också de extremt låga temperaturerna blir sällsyntare. På somrarna skall de högsta temperaturerna stiga ungefär lika mycket som de genomsnittliga temperaturerna. På vintern kommer det att regna klart mer än nuförtiden och solen kommer att synas mer sällan. Den genomsnittliga årsnederbörden och den högsta dagsnederbörden samt antalet regniga dagar blir också högre. På somrarna uppskattas de häftigaste skyfallen bli drygt 10 % kraftigare under den närmaste hundraårsperioden. Ett kraftigt skyfall som har förekommit ungefär en gång vart 20:de år i slutet av 1900 talet kommer i slutet av det 21. seklet att förekomma drygt en gång vart 10:de år och ett kraftigt skyfall som nu förekommer en gång vart hundra år kommer uppskattas i slutet av det 21. seklet att förekomma ungefär en gång vart 30:de år. De genomsnittliga vindhastigheterna kommer att förbli ungefär oförändrade. Den genomsnittliga nivån på havsytan utanför Helsingfors kommer att stiga några tiotal centimetrar. Havsisen blir tunnare och isens areal minskar. Enstaka stränga isvintrar kan dock förekomma ännu under de närmaste årtiondena.</p> <p>Även om klimatförändringen har vissa fördelaktiga inverknings för Finland (minskade uppvärmningskostnader av bostadshus, en längre växtsäsong), är de globala effekterna i allmänhet ytterst negativa för både samhället och jordens biosfär. Några exempel av de negativa effekterna är de mer extrema väderfenomenen med torka och översvämningar som följd samt hungersnöd och flyktingproblem. Eftersom alla jordens länder delar en och samma atmosfär, krävs det internationella överenskommelser för att begränsa utsläppen av växthusgaser. Det senaste av sådana avtal är Parisavtalet från 2015.</p> <p>I denna rapport sammanfattas den senaste sakkunskapen om klimatförändringens inverkan på huvudstadsregionen och detta baserat på IPCC:s 5. utvärderingsrapportens RCP-utsläppsscenarier. Rapporten uppdaterar därmed de tidigare gjorda utvärderingarna för huvudstadsregionen.</p>	
Publikationsenhet Klimatcentret (IKE)	
Klassificering (UDK) 551.524.3, 551.577.3, 551.578.46, 551.583.16, 551.588.74, 551.582 (480)	Nyckelord klimat, klimatförändring, väder- observationer, klimatmodeller, klimatscenarier, probabilistiska prognoser, repeterbarhet, extremvärdesanalys, anpassningen till klimatförändringen
ISSN och serietitel ISSN 0782-6079 Rapporter	
Språk finska (sammandrag också på svenska och engelska)	ISBN ISBN 978-952-336-006-8 (volum) ISBN 978-952-336-007-5 (pdf)
Försäljning <i>Meteorologiska institutet</i> PB 503, 00101 Helsingfors	Kontakt p. 029 539 4166 e-mail: antti.makela@fmi.fi  Sidantal 28

Publisher Finnish Meteorological Institute <i>Erik Palménin aukio 1</i> P.O. Box 503 00101 Helsinki, Finland		Report name and number Reports 2016:8
		Date December 2016
Author(s) Antti Mäkelä, Ilari Lehtonen, Kimmo Ruosteenoja, Kirsti Jylhä, Heikki Tuomenvirta, Achim Drebs		Commissioned by HSY
Title Climate change in the capital area of Finland		
Abstract <p>The global climate has changed due to the greenhouse gas (GHG) emissions caused by human activities. Climate models suggest that warming continues at a rate depending on the magnitude of the GHG emissions. Because of the prevailing elevated GHG concentrations and their long persistence in the atmosphere, warming will continue for some decades regardless of the efficiency in the reduction measures of the GHG emissions; therefore, for example cities must ensure that they are well-prepared for the changing climatic conditions.</p> <p>According to the most recent information, under moderate reductions of GHG emissions the climate of the capital area in Finland will become warmer in all seasons by the end of this century. The mean temperature in January is estimated to be about 5°C higher than at present; for July, the increase is about 3°C. Extremely low temperatures will become less frequent. The maximum summer temperatures will increase at the same rate as the mean temperature does. In winter, precipitation increases substantially, while solar radiation at the surface is reduced by the increased cloudiness. Both the mean and maximum precipitation increase, as well as the amount of rainy days. In summer, heavy precipitation events intensify by about 10 % during this century; this implicates that a heavy rainfall event occurring once per 20 years in the present climate is experienced once per ten years in the future, and for a 1/100 years event (present climate) the future return period is about 30 years. The mean wind speeds are not likely to change much. The mean sea level height in Helsinki likely increases by some tens of centimetres. Sea ice will be thinner and its surface area is reduced. However, individual winters with quite wide ice extent will still occur within the next few decades.</p> <p>Some of the impacts of the changing climate in Finland can be considered favourable (e.g., decreasing demand for heating energy, longer growing seasons); globally, however, the majority of the impacts are clearly non-favourable for humans and biota (more intense severe weather episodes, drought, famine and refugees). Because the impacts of GHG emissions are global, the GHG reduction measures need to be founded on international agreements; the most recent one is the Paris Agreement in 2015, also discussed in this report.</p> <p>This report contains the most recent information of climate change and some of its impacts in the capital area of Finland based on the IPCC 5<sup>th</sup> Assessment Report and its GHG (RCP) scenarios.</p>		
Publishing unit Climate Service Centre (IKE)		
Classification (UDK) 551.524.3, 551.577.3, 551.578.46, 551.583.16, 551.588.74, 551.582 (480)		Keywords climate, climate change, observations, climate models, climate scenarios, probability forecasts, return periods, extreme value analysis, adaptation
ISSN and series title ISSN 0782-6079 Reports		
Language Finnish (abstract also in Swedish and English)		ISBN ISBN 978-952-336-006-8 (print) ISBN 978-952-336-007-5 (pdf)
Sold by <i>Finnish Meteorological Institute</i> P.O. Box 503, 00101 Helsinki	Contacts t. 029 539 4166 e-mail: antti.makela@fmi.fi	Pages 28

## Esipuhe

Meneillään oleva ilmastonmuutos vaikuttaa Suomen ja pääkaupunkiseudun olosuhteisiin. Ilmasto on jo muuttunut, ja nykyisillä maailmanlaajuisilla kasvihuonekaasujen päästöillä ilmaston lämpeneminen jatkuu edelleen. Muutoksen voimakkuus riippuu päästöistä, ja siksi ilmastonmuutoksen hillintä on ensisijaista, mutta muuttuviin olosuhteisiin varautuminen on myös välttämätöntä. Pääkaupunkiseudulla tämä on tiedostettu. Seudun yhteisen ilmastonmuutokseen sopeutumisen strategian tavoitteena on turvata asukkaiden hyvinvointi ja kaupunkien toiminta myös muuttuvissa olosuhteissa.

Kaupunkiseudut ovat keskeisiä ilmastonmuutokseen varautumisessa. Ne ovat väestön, työpaikkojen, julkisten ja yksityisten investointien, hallinnon, rakentamisen ja tutkimuksen keskittymiä. Sää- ja ilmastoilmiöiden, kuten rankkasateiden, aiheuttamat kustannukset voivat olla kaupungeissa merkittäviä, mutta kaupungeilla on myös edellytyksiä varautua näihin ilmiöihin hyvien resurssiansa ansiosta. Ajantasainen tieto tulevaisuuden odotettavista muutoksista ja ilmastonmuutoksesta on tärkeää, jotta voimavaroja osataan suunnata oikein ja varautua muutoksiin ajoissa.

Tämä raportti päivittää ja täydentää vuonna 2010 julkaistun taustaraportin ”Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu” (2010) tietoja. Aiemman raportin tiedot ovat suurelta osin edelleen ajantasaisia, mutta arviot lämpötilan ja sademäärien muutoksesta ja kehityksestä sekä mm. rankkasateiden esiintymisestä pääkaupunkiseudulla tämän vuosisadan loppuun mennessä on päivitetty Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) uusien skenaarioiden myötä. Pääkaupunkiseudulla lämpötila nousee kaikkina vuodenaikoina, eniten talvella ja vähiten kesällä. Talvista tulee selvästi sateisempia kuin nykyisin. Kesällä korkeimmat lämpötilat nousevat keskilämpötilojen nousun mukaisesti. Kesällä rankkasateet voimistuvat ja yleistyvät.

Raporttia voidaan käyttää tausta-aineistona pääkaupunkiseudulla ja kaupungeissa tehtävässä ilmastonmuutokseen varautumistyössä. On tärkeää tietää, mihin joudumme sopeutumaan tulevaisuudessa. Muuttuvaan ilmastoon ja olosuhteisiin varautuminen lisää kaupunkiseudun vastustuskykyä ja joustavuutta ja parantaa edellytyksiä turvalliseen ja viihtyisään kaupunkiympäristöön nyt ja tulevaisuudessa.

Tämän selvityksen toteutti elo-syyskuussa 2016 Ilmatieteen laitoksen tutkijaryhmä HSY:n toimeksiannosta.



Irma Karjalainen  
Tulosaluejohtaja  
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY

## Sisällysluettelo

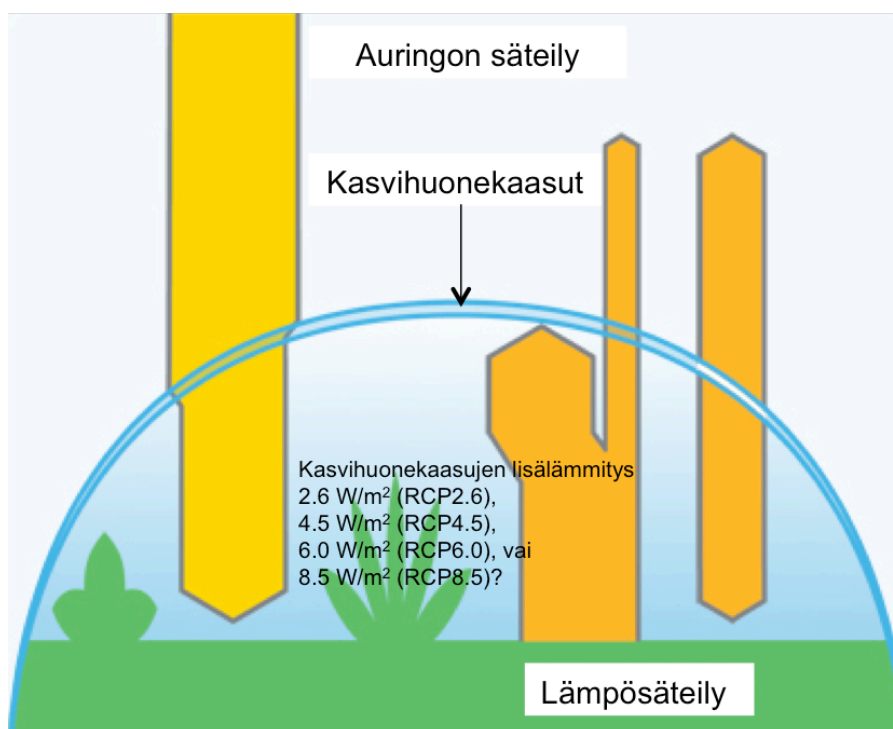
1 Johdanto.....	8
2 Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu .....	10
2.1 Lämpötila.....	12
2.2 Sateet .....	15
2.3 Merenpinnan korkeus ja merijää .....	21
3 Pariisin ilmastopimus.....	22
4 Ilmastonmuutoksen vaikutuksia pääkaupunkiseudulla .....	24
5 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	25
Kirjallisuusviitteet .....	27



## 1 Johdanto

YK:n alainen Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) julkaisee noin kuuden vuoden välein arviointiraportteja maapallon ilmaston muuttumisesta. Tuoreimman 5. arviointiraportin arviot ilmastonmuutoksesta perustuvat ilmastomallien uusimpaan sukupolveen, CMIP5<sup>1</sup>-malliajoihin (IPCC, 2013). Näitä aineistoja käytetään mm. kansallisissa ilmastonmuutoksen arvioinneissa. Suomessa Ilmatieteen laitos yhdessä muiden tutkimuslaitosten ja yliopistojen kanssa on tutkimushankkeissaan arvioinut näiden aineistojen perusteella Suomen ilmaston muuttumista, muutosten vaikutuksia ja tarvittavia sopeutumistoimia. Ilmastomalliajot mahdollistavat ilmaston keskimääräisen muutoksen lisäksi myös äärimmäisten sääilmiöiden muutosten arvioimisen.

Ilmastonmuutoksen voimakkuutta arviotaessa tarkastellaan useita vaihtoehtoisia kasvihuonekaasujen *päästöskenaarioita*. Uusimmat RCP-skenaariot (Representative Concentration Pathways) ovat RCP2.6 (optimistisin eli hyvin vähän päästöjä), RCP4.5, RCP6.0 ja RCP8.5 (pessimistisin eli erittäin paljon päästöjä). Luvut kuvaavat säteilypakotteen<sup>2</sup> (kuva 1) muutosta (lämmitysvaikutusta) watteina neliömetrille esiteollisesta ajasta tämän vuosisadan loppuun mennessä.



Kuva 1: Kaaviokuva kasvihuonekaasujen aiheuttamasta ilmastoa lämmittävästä vaikutuksesta maapallolla. Tämä lisälämmitys maapallon säteilytaseeseen ilmoitetaan säteilypakotteena (wattia neliömetrille,  $W/m^2$ ), jonka mukaan myös RCP-päästöskenaariot on nimetty. Kuva: Ilmasto-opas.fi.

<sup>1</sup> Coupled Model Intercomparison Phase 5, <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>

<sup>2</sup> Säteilypakote tarkoittaa maapallolle saapuvan ja täältä poistuvan säteilyenergian eroa.

Ilmastomalleilla voidaan arvioida ilmaston tilaa vuosikymmenten päähän. Joskus kuulee pohdittavan, miten tämä on ylipäänsä mahdollista, sillä jo muutamien vuorokausien päähän ulottuvat sääennusteet voivat jäädä toteutumatta. Kuinka luotettavia nämä ilmastonmuutoksen arviot sitten ovat? Ensinnäkin ilmastomallien ei tarvitse ennustaa päivittäistä säätä vuosikymmenten päähän, vaan niiden tarkoitus on kuvata kohtuullisella tarkkuudella ilmasto-olosuhteita eli sään tilastollisia piirteitä. Toiseksi voidaan todeta, että koska ilmastomallien fysikaalis-matemaattisten yhtälöiden avulla saadaan tuotettua verrattain totuudenmukainen kuvaus nykyisestä, *jo havaitusta* ilmastosta esimerkiksi viimeisen sadan vuoden ajalta, voidaan melko hyvin luottaa mallien kykyyn kuvata myös tulevaisuuden ilmastoa. Tosin luottamuksen aste, tai toisin sanottuna arvion epävarmuus, riippuu tarkasteltavasta suureesta ja toisinaan myös vuodenajasta. Esimerkiksi lämpötilan muutosarviot vaihtelevat Suomessa ilmastomallista toiseen vähemmän kuin sademäärää ja tuulen nopeutta koskevat tulokset. Ja kuten säämalleillakin, uuden sukupolven ilmastomallit ovat aina entisiä kehittyneempiä.

Ehdottomasti tärkeintä on ymmärtää, että muutoksen voimakkuus riippuu ratkaisevasti kasvihuonekaasupäästöjen määrästä. Vaikka esimerkiksi Suomessa osan ilmastonmuutoksen vaikutuksista voidaan ajatella olevan suotuisia vaikkapa maatalouden kannalta (pidempi kasvukausi, uusien hyötykasvilajikkeiden menestyminen), maailmanlaajuisesti suurin osa vaikutuksista on epäsuotuisia sekä ihmiskunnalle (esim. entistä voimakkaammat äärisääilmiöt, kuivuus ja nälänhätä) että maapallon muulle eliökunnalle. Koska kasvihuonekaasujen päästöt eivät tunne valtakuntien rajoja, päästöjen hillintä vaatii kansainvälisiä sopimuksia. Näistä tuorein on Pariisin ilmastosopimus vuodelta 2015, jota tarkastellaan lyhyesti myös tässä raportissa.

Pääkaupunkiseudun ilmastonmuutoksesta on tehty edellinen kattava raportti vuonna 2010 pohjautuen sekä havaittuun ilmastoon että edellisen ilmastomallisukupolven tuloksiin (HSY, 2010). Kyseinen raportti on edelleen monilta osin ajan tasalla. Tämä raportti pyrkii esittämään lyhyesti ja helposti ymmärrettävällä tavalla uusimpien skenaarioiden pohjalta tehdyt keskeisimmät pääkaupunkiseudun ilmastonmuutosta koskevien tietojen päivitykset. Suurin osa tuloksista perustuu seuraavissa hankkeissa tehtyyn tutkimukseen: Ilmastokestävä kaupunki (<http://ilmastotyokalut.fi/>), Sektoritutkimusohjelma SETUKLIM (<http://ilmatieteenlaitos.fi/setuklim>), Valtioneuvoston kanslian rahoittama ELASTINEN (Gregow et al., 2016; <http://ilmatieteenlaitos.fi/elastinen>) ja Suomen Akatemian rahoittama PLUMES (<http://en.ilmatieteenlaitos.fi/plumes>). Hankkeista saa lisätietoa Ilmatieteen laitoksen Ilmastokeskuksen www-sivuilta.<sup>3</sup> Lyhytkestoisten rankkasateiden tiimoilta tuloksia on tarkennettu erikseen tätä raporttia varten. Keskeisintä ilmastonmuutoksen, sen vaikutusten ja niihin sopeutumisen sekä muutoksen hillinnän aihepiirien tietoa päivitetään jatkuvasti Ilmasto-oppaan verkkosivustolle (<https://ilmasto-opas.fi/fi/>).

---

<sup>3</sup> <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastokeskus-hankkeet>  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastokeskus-paattyneet-hankkeet>

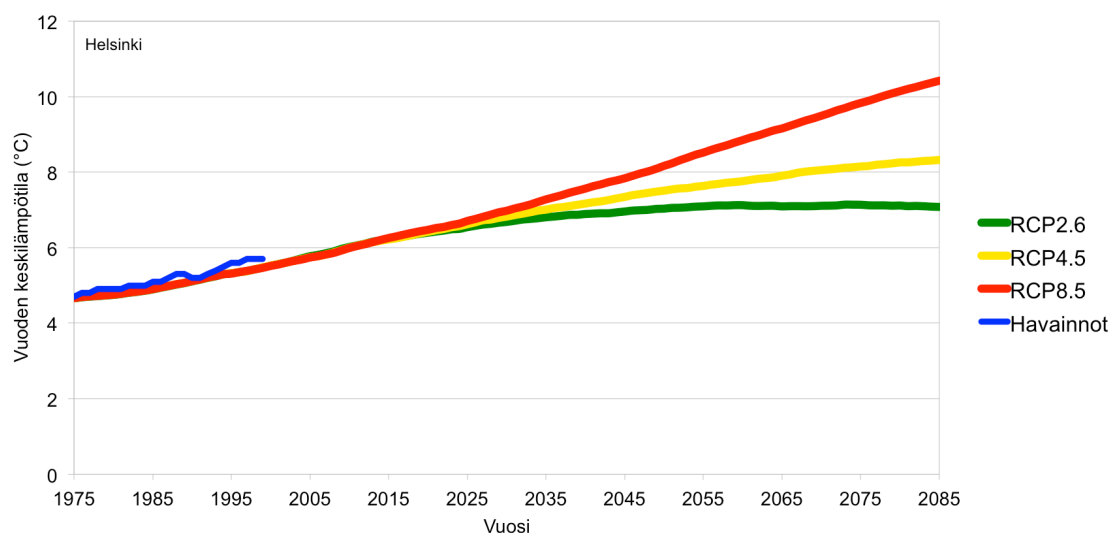
## 2 Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu

Jo pelkästään havaintojen pohjalta voidaan todeta keskilämpötilojen nousseen pääkaupunkiseudulla (kuva 2). Havaitut muutokset ovat hyvin sopusoinnussa ihmiskunnan kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaman lämpenemisen kanssa. Sää silti vaihtelee nyt ja tulevaisuudessakin: edelleenkin esimerkiksi yksittäinen Helsingin alueen talvi voi olla erittäin kylmä ja runsasluminen. Tällaiset talvet vain ovat nyt ja tulevaisuudessa yhä harvinaisempia.

Yksittäinen aikasarja jonkin sääsuureen muutoksesta vuosisadan aikana ei välttämättä kerro tarpeeksi vaikutuksista, joita kyseinen muutos tuo mukanaan. Esimerkiksi kasvukauden pituuden muutokset (kuva 3) näyttävät konkreettisesti, kuinka lämpötilan kohoaminen lyhentää viileän vuodenajan pituutta sekä syys- että kevätkuolella vuotta. Vaikka tulevaisuudessa yhä useampi talvi on vähäluminen, entistä pidempään sulana pysyvä meri voi tuottaa sopivissa säätilanteissa särkeita lumipyryjä ja runsaita lumikertymiä eri puolilla Suomen rannikkoa. Esimerkiksi Merikarviolla 8.1.2016 lunta kertyi vuorokaudessa 73 cm. Tällaisten tilanteiden yleisyydestä ei tosin voida toistaiseksi antaa tarkkoja lukuarvoja. Runsaslumisia talvia on esiintynyt 2000-luvun puolella myös Helsingissä (kuva 3).

Tuoreimpien ilmastomallitietojen pohjalta voidaan tiivistetysti todeta, että ilmasto muuttuu pääkaupunkiseudulla vuoteen 2100 mennessä seuraavasti (kuva 4):

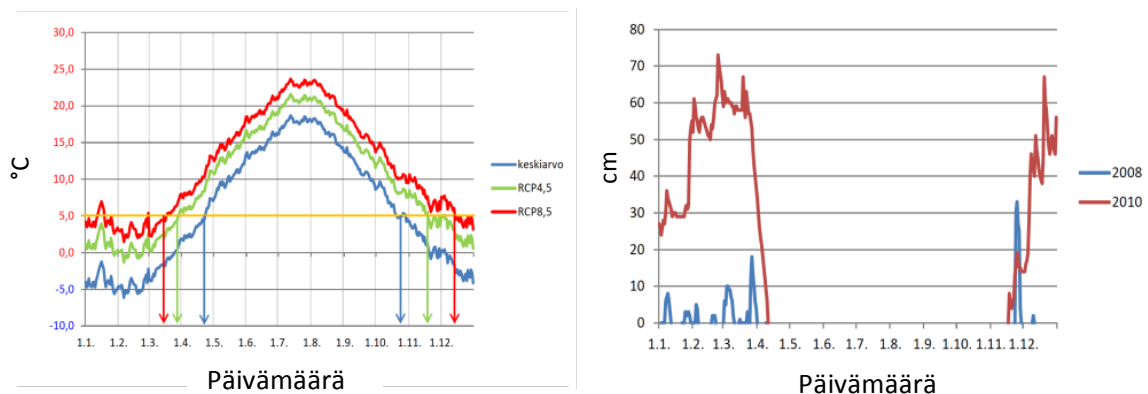
- Lämpötila nousee kaikkina vuodenaikoina, talvella kuitenkin enemmän kuin kesällä.
- Talvella sataa selvästi nykyistä enemmän ja aurinkoa nähdään harvemmin. Sekä keskimääräiset että suurimmat vuorokautiset sademäärät kasvavat, kuten myös sadepäivien määrä.



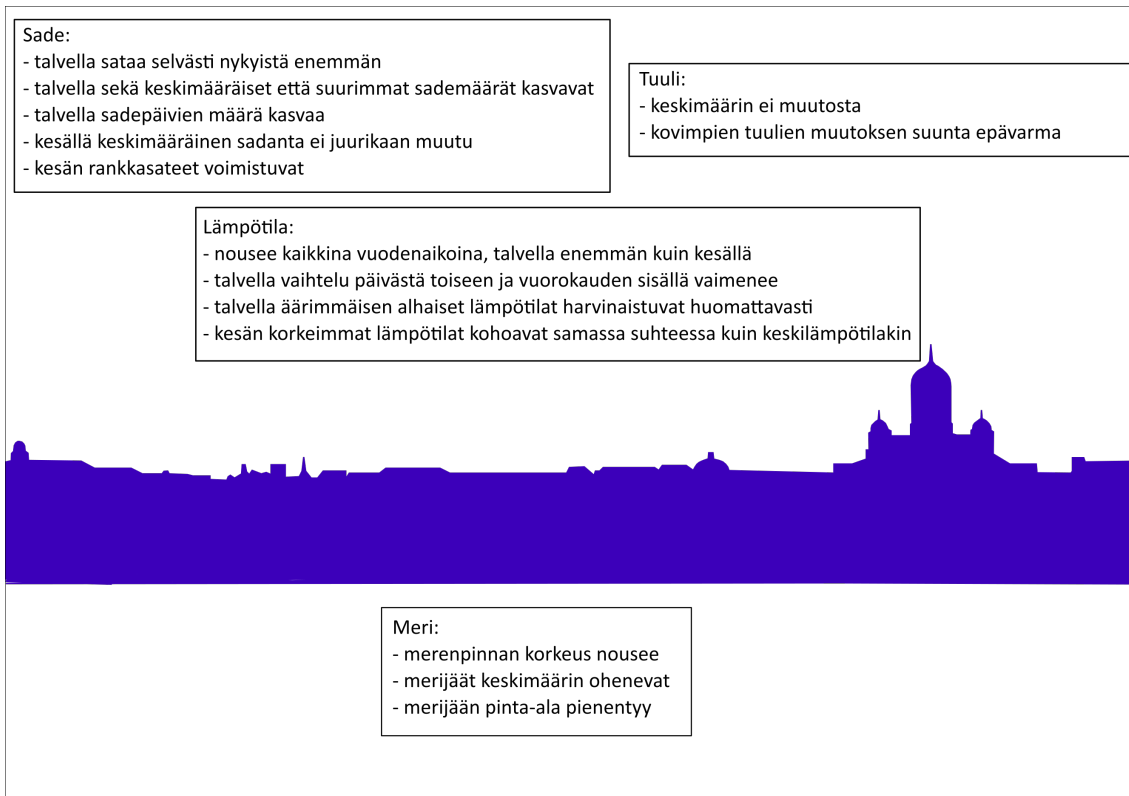
Kuva 2: Havaitut (sininen) ja arvioidut ilmastomalleihin pohjautuvat (punainen, keltainen ja vihreä) vuoden keskilämpötilat (30-vuoden liukuva keskiarvo) Helsingissä.

- Talvella lämpötilojen vaihtelu päivästä toiseen ja vuorokauden sisällä vaimentuu. Aikaa myöten tämä johtaa äärimmäisen alhaisten lämpötilojen voimakkaaseen harvinaistumiseen.
- Kesällä vuorokauden korkeimmat lämpötilat kohoavat likimain samaa tahtia kuin keskilämpötilatkin: jos vuoteen 2100 mennessä keskilämpötila on kohonnut esimerkiksi 3°C nykyilmastoon verrattuna, ylimmät mitatut kesälämpötilat ovat myös noin 3°C korkeampia kuin nykyään.
- Keskimääräiset tuulen voimakkuudet pysyvät likimain ennallaan. Voimakkaimpien tuulten osalta muutoksen suunta on epävarma.
- Kesällä keskimääräinen sademäärä ei muutu paljoa, mutta rankkasateiden arvioidaan voimistuvan runsaat 10 % sadassa vuodessa. 1900-luvun loppuvuosikymmeninä noin kerran 20 vuodessa koettu rankkasade koetaan 2000-luvun lopulla hiukan useammin kuin kerran kymmenessä vuodessa, ja kerran sadassa vuodessa koettu rankkasade noin kerran 30 vuodessa.
- Maan kohoamisesta huolimatta merenpinnan keskikorkeus Helsingin edustalla nousee useita kymmeniä senttimetrejä mannerjäätiköiden sulamisen, meriveden lämpölaajenemisen ja Itämeren tuuliolojen muutosten seurauksena. Paras arvio muutokselle on +33 cm (jaksolla 2000-2100).
- Merellä jäät keskimäärin ohenevat ja jään pinta-ala pienentyy. Kuitenkin yksittäisiä runsasjäisiäkin talvia esiintyy vielä lähivuosikymmeninä.

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään eri suureitten muutoksia tarkemmin.



Kuva 3: Vasen: havaittu (sininen) sekä RCP4.5- (vihreä) ja RCP8.5-skenaarioiden (punainen) mukaiset keskilämpötilat pääkaupunkiseudulla vuonna 2100. Keltainen vaakaviiva kuvaa kasvukauden lämpötilarajaa +5°C ja pystynuolet kasvukauden alkua ja loppua eri skenaarioiden mukaan. Oikea: lumensyvyys Helsingin Kaisaniemessä vuosina 2008 (sininen) sekä 2010 (punainen).



Kuva 4: Ilmastonmuutoksen todennäköisimmät vaikutukset pääkaupunkiseudulla vuonna 2100.

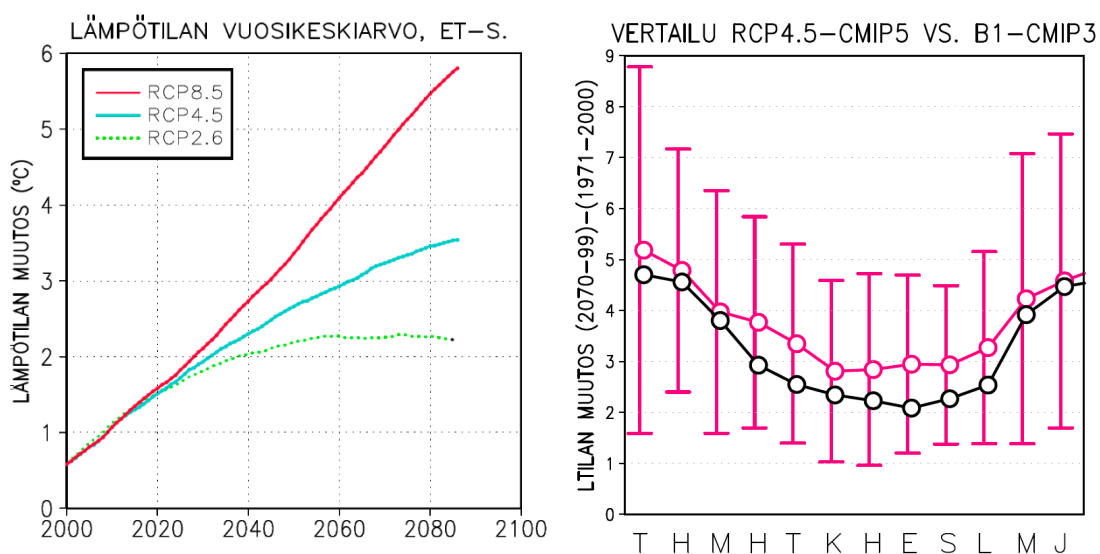
## 2.1 Lämpötila

Lämpötilat Suomessa nousevat vääjäämättä (kuva 5) aina noin vuosisadan pooleenväliin asti riippumatta kasvihuonekaasujen päästöjen muutoksista, mikä johtuu ilmakehään jo joutuneista päästöistä. Tämän jälkeen lämpeneminen sen sijaan riippuu suuresti päästöjen määrän kehityksestä. Enimmillään (RCP8.5-skenaario) vuoden keskilämpötila nousisi sadassa vuodessa lähes kuudella asteella, kun taas tiukalla päästöjen pudotuksella (RCP2.6-skenaario) lämpeneminen olisi kahden asteen luokkaa. Päästöjen onnistunutkin vähentäminen vaikuttaa kuitenkin lämpenemisen nopeuteen suhteellisen hitaasti.

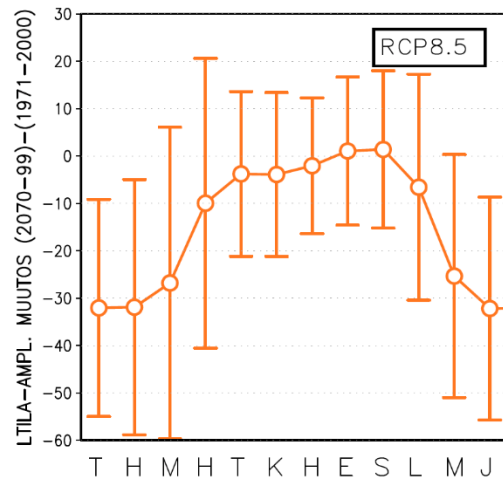
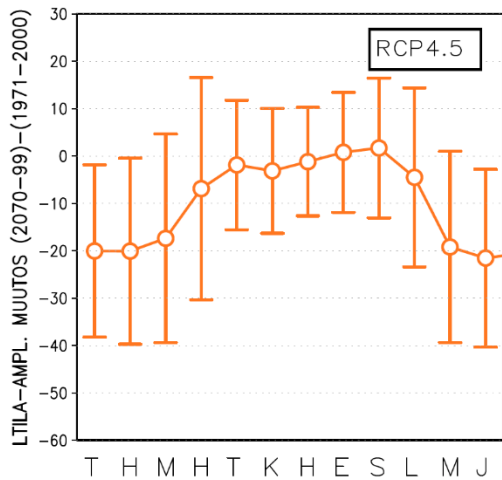
Suomessa ja muuallakin korkeilla pohjoisilla leveysasteilla lämpeneminen on voimakkaampaa kuin maapallolla keskimäärin. Tähän vaikuttavat monet tekijät, erityisesti seuraavat (IPCC, 2013, luku 12.4.3; Serreze ja Barry 2011):

- Maapallon erilainen maa-meri –jakautuma eteläisellä ja pohjoisella pallonpuoliskolla: maa-alueet, joita on enemmän pohjoisella pallonpuoliskolla, lämpenevät voimakkaammin kuin meret.
- Pohjoisten napa-alueiden lumi- ja jääpeite pienenee: tähän liittyvä pinnan heijastavuuden eli albedon putoaminen lisää auringonsäteilyn imeytymistä alustaan, kun säteily on aiemmin heijastunut tehokkaasti takaisin avaruuteen.

- Lämmentyneen ilmakehän vesihöyrypitoisuus kasvaa: ilmavirtausten napa-alueille tuoma lisäkosteus tiivistyy vesipisaroiksi ja jääkiteiksi, jolloin vapautuu runsaasti lämpöä. Samalla lisääntyvä pilvisuus hillitsee lämpösäteilyn karkaamista avaruuteen.
- Syksyllä ja alkutalvesta pohjoisten napa-alueiden meret pysyvät kauemmin jäätöminä, jolloin merestä siirtyy lämpöä ja kosteutta ilmakehään ja alailmakehä lämpenee.



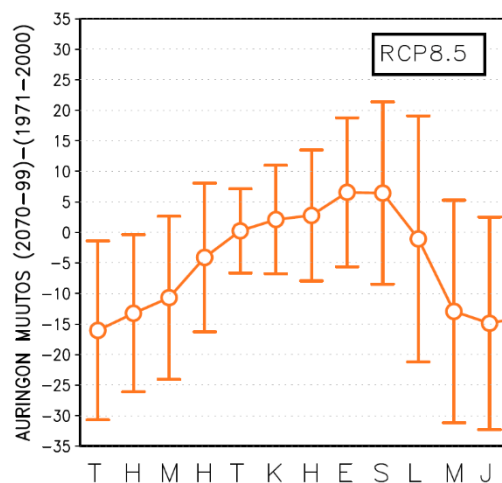
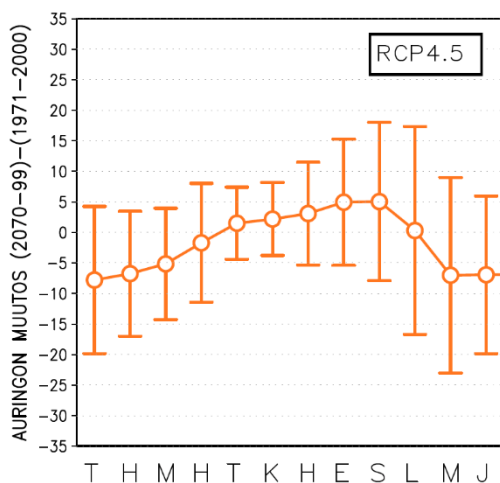
Kuva 5: Vasen: vuoden keskilämpötilan muutos pääkaupunkiseudulla eri päästöskenaarioiden mukaan. Oikea: lämpötilan muutos kuukausittain RCP4.5-skenaariota toteutuessa sekä vertailun vuoksi edellisen mallisukupolven RCP4.5:ta parhaiten vastaava skenaario (B1-CMIP3; musta väri). Punaiset pystyjanat kuvaavat 90%-luottamusväliä muutokselle. (Lisätietoa: Ruosteenoja et al., 2016).



Kuva 6: Vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan erotuksen muutos (prosentteina) Suomessa vuoden eri kuukausina siirryttäessä jaksosta 1971–2000 jaksoon 2070–2099. (Lisätietoa: Ruosteenoja et al., 2016).

Lämpeneminen ei jakaudu tasaisesti vuoden (kuva 5, oikea) eikä vuorokauden (kuva 6) ympäri. Uusien skenaarioiden mukaan kesälämpötilat nousevat jaksosta 1971–2000 jaksoon 2070–2099 jopa noin yhden asteen aiemmin arvioitua enemmän. Vuorokautinen vaihtelu pienenee talvella noin 20-30 % sadassa vuodessa, kun taas kesällä muutos on vähäinen. Syksyllä ja talvella myös auringonsäteily todennäköisemmin vähentyy runsaamman pilvisyyden takia, mutta kesällä aurinkoa ehkä saadaan hieman nykyistä enemmän (kuva 7).

Korkeimmat lämpötilat nousevat kesäisin suunnilleen saman verran kuin mitä kesän keskilämpötilakin. Jos tarkastellaan suuripäästöisintä RCP8.5-skenaariota, kesän keskilämpötila kohoaisi Helsingissä viidellä asteella. Tämä tarkoittaisi karkeasti sitä, että vuosisadan lopulla 35°C lämpötilojen yleisyys olisi likimain sama kuin 30°C



Kuva 7: Maan pinnalle tulevan auringonsäteilyn määrän muutos (prosentteina) Suomessa vuoden eri kuukausina siirryttäessä jaksosta 1971–2000 jaksoon 2070–2099. (Lisätietoa: Ruosteenoja et al., 2016).



lämpötilojen nykyilmastossa (1971-2000). RCP4.5-skenaariolla vastaava korkea lämpötila olisi noin 33°C. Sen sijaan talven kylmimmät lämpötilat harvinaistuvat ilmaston lämmitessä erittäin voimakkaasti.

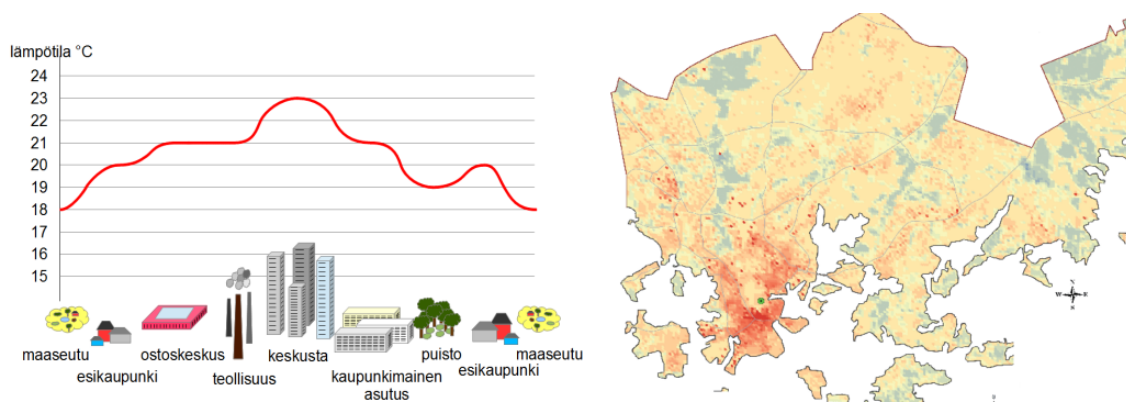
Kaupunkien lämpötiloihin vaikuttavat myös kaupungit itse (kuva 8). Niin kutsuttu kaupungin lämpösaareke syntyy auringonsäteilyn varastoitua kaupungin rakenteisiin, jotka sitten luovuttavat lämpöä ympäristöön, sekä kaupungin tuottamasta hukkalämmöstä (liikenne, rakennukset, teollisuus). Myös vähäisempi haihdunta kaupunkiympäristössä nostaa lämpötiloja (haihdunta sitoo lämpöenergiaa), kun sadevesi ohjautuu hulevesijärjestelmiä pitkin kaupungista pois. Kaupungin sijainnilla suhteessa vesistöihin ja paikallisilla maastonmuodoilla on oma vaikutuksensa ilmiön voimakkuuteen. Säätilalla ja etenkin tuulella on myös keskeinen vaikutus: tuulinen sää sekoittaa ilmaa ja tasoittaa lämpötilaeroja kaupungin ja ympäristön välillä. Tyynellä säällä lämpösaarekeilmiö on taas voimakkaampi heikomman sekoittumisen takia.

Maailmanlaajuisesti lämpösaarekeilmiön suurimmat haitat liittyvät pitkiin hellejaksoihin ja niiden vaikutuksiin, jolloin etenkin vanhukset ovat alttiina jopa ennenaikaiselle kuolemalle: esimerkiksi kesän 2003 hellejakson seurauksena Pariisissa arvioidaan kuolleen yli 10 000 ihmistä. Terveyshaitat kasvavat entisestään, jos hellejaksoon liittyy huono ilmanlaatu, pääkaupunkiseudulla esimerkiksi tuulen kuljettaessa tänne metsäpalojen savuja.

Mitä tapahtuu pääkaupunkiseudun lämpösaarekeilmiölle tulevaisuuden ilmastossa? Asia ei ole yksiselitteinen, koska kaupunkien energiankäytön sekä rakennetun ympäristön muutoksilla on keskeinen merkitys lämpösaarekkeen voimakkuuteen. Keskilämpötilojen noustessa hellejaksot tulevat joka tapauksessa olemaan entistä tukalampia pääkaupunkiseudullakin, mutta kaupungin itsensä aiheuttamaan lisälämmitykseen eli lämpösaarekkeen voimakkuuteen voidaan vaikuttaa kaupunkisuunnittelulla.

## 2.2 Sateet

Vuotuisten sademäärien arvioidaan kasvavan skenaariosta riippuen 7–18 %, mutta verrattuna lämpötilaan epävarmuus on huomattavasti suurempi ja muutoksen suunnastakin on epäselvyyttä (kuva 9). Keskitalvea tarkasteltaessa mallit ovat kuitenkin



Kuva 8: Vasen: kaaviokuva kaupungin lämpösaarekkeesta (Ilmasto-opas.fi). Oikea: vuoden 2009 heinäkuusta vuoden 2010 kesäkuuhun ulottuvan jakson lämpötilaerotuskartta Helsingissä. Punaisin väri esittää vähintään 4 astetta ympäristöä lämpimämpää aluetta (Drebs, 2011).

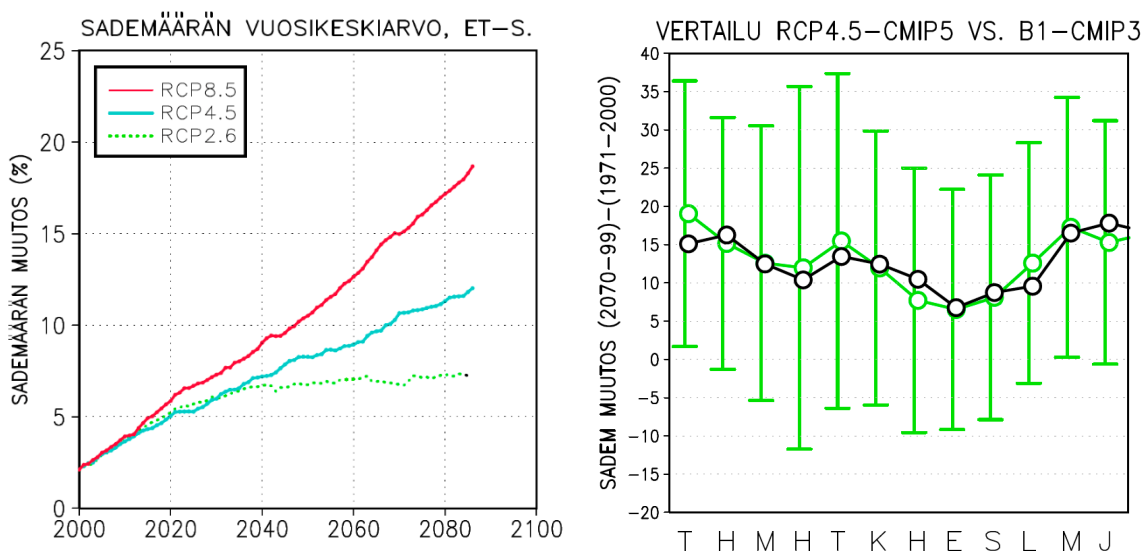


samaa mieltä siitä, että sademäärät kasvavat. Kesällä muutoksen suunta on jossain määrin epävarma, mutta todennäköisimmin sademäärät kasvavat jonkin verran tuolloinkin. Arvioidut muutokset sademäärissä ovat samankaltaisia kuin aiemman mallisukupolvenkin mukaan.

Negatiivisilta vaikutuksiltaan yksi merkittävimmistä sadeilmiöistä on rankkasade<sup>4</sup>. Mitä enemmän sataa lyhyessä ajassa, sitä suurempia taloudellisia menetyksiä ja haittoja yhteiskunnan toiminnoille kuten liikenteelle saattaa seurata. Kaupunkien rankkasadetulvista onkin pelottavia esimerkkejä viime vuosilta ympäri maailmaa sekä myös Euroopasta ja Pohjoismaistakin (mm. Kööpenhamina, Malmö, Pori). Rankkasateet (etenkin rajuimmat) liittyvät yleensä kuuopilviin ja rajuilmoihin. Suomessa suurin vuorokausisademäärä mitattiin 21.7.1944 Espoon Lahnuksesta; tällöin ukkossade tuotti pääasiassa yön aikana 198 mm vettä.

Rankkasateita esiintyy Suomessa vuosittain, mutta todennäköisyys tällaisen osumiselle kaupunkiin on pieni, koska Suomi on harvaanasuttu, kaupungit ovat pienehköjä, ja itse ilmiö on useimmiten pienialainen. Lisäksi rankkasateiden vaikutuksiin vaikuttaa keskeisesti ympäristö: esimerkiksi 20 mm/h sateen vaikutukset ovat täysin erilaiset Helsingin kantakaupungissa kuin keskellä metsäaluetta. Rankkasadevaroitusta annetaan kun sateen voimakkuus on vähintään 20 mm/h tai vähintään 50 mm/vrk.

Rankkasateiden havainnointia ja niiden esiintymistä nykyilmastossa sekä tulevaisuudessa voidaan luonnehtia seuraavasti:



Kuva 9: Vasen: vuotuisen sademäärän muutos pääkaupunkiseudulla eri päästöskenaarioiden mukaan. Oikea: sademäärän muutos kuukausittain RCP4.5-skenaario mukaan sekä vertailun vuoksi edellisen mallisukupolven vastaava skenaario (B1-CMIP3; musta väri). Vihreät pystyjanat kuvaavat 90%-luottamusväliä muutokselle. (Lisätietoa: Ruosteenoja ym. 2016).

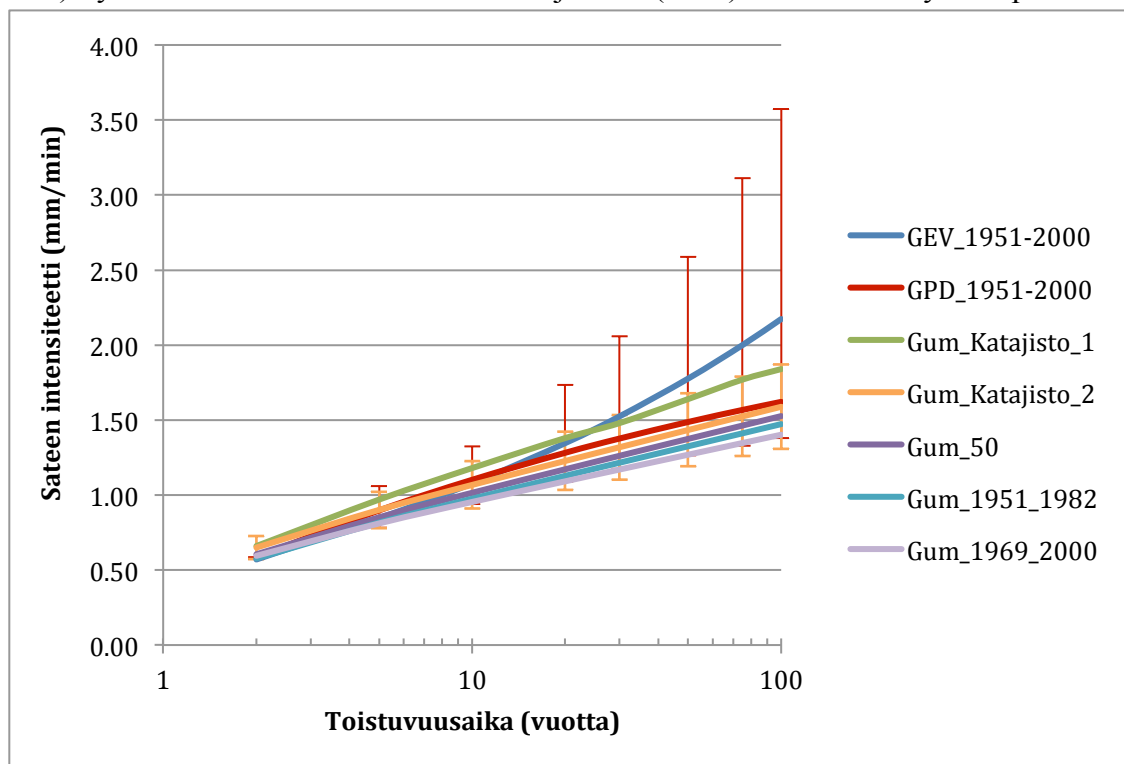
<sup>4</sup> Ilmatieteen laitos määrittää rankkasateeksi seuraavat sateen voimakkuudet: vähintään 2.5 mm / 5 min; 5.5 mm / 30 min; 7.0 mm / 1 h; 10 mm / 4 h; 15 mm / 12 h; 20 mm / 24 h.

- Havainnot ovat puutteellisia. Kuuro sade on ilmiönä niin pienialainen (läpimitta ~muutama kilometri) ja lyhytikäinen, että sellainen osuu vain harvoin sateen mittausaseman kohdalle. Nykyään säätutkahavainnot ovat ajallisesti ja paikallisesti erittäin tarkkoja, mutta ne eivät mittaa sadetta maan pinnalla vaan ilmakehässä pinnan yläpuolella.
- Konvektiiviset ilmiöt kuten rajuilmat ovat hankalia ilmastomalleille. Tämäkin liittyy ilmiöiden pieneen kokoon ja lyhyeen elinikään. Lisäksi on tärkeä ymmärtää, että maahan kertynyt sademäärä riippuu ilmiön rankkuuden lisäksi mm. pilven liikenopeudesta maan pinnan suhteen: sisäiseltä dynamiikaltaan kaksi yhtä voimakasta rajuilmaa voi kerryttää tiettyyn pisteeseen hyvin erilaiset sademäärät riippuen niiden viipymisestä kyseisen paikan yllä.

Koska havaitussa rankkasadeilmastossakin on epävarmuutta, tulevaisuuden arvioissa epävarmuutta on vielä enemmän. Erityisen haastavaa ilmastomalleille on käsitellä lyhyimpiä, alle vuorokauden pituisia sadetapahtumia.

Pääkaupunkiseudun havaittua rankkasadeilmastoa on tutkittu muutama otteeseen erilaisin menetelmin eri havaintojaksoilla. Katajisto (1969) määrittä laajassa tutkimuksessaan piirtävien sadeasemien havaintojen pohjalta lyhytkestoisten rankkasateiden voimakkuuksia ja toistumistiheyksiä Suomessa. Aineistossa oli mukana myös Helsingin Kaisaniemen sadeasema. Vaikka tuosta tutkimuksesta on jo aikaa, sen tulokset ovat edelleen käytössä mm. kaupunkisuunnittelussa.

Valtioneuvoston kanslian rahoittamassa ELASTINEN-hankkeessa (Gregow et al., 2016) yhtenä osiona tarkasteltiin Katajiston (1969) tulosten käyttökelpoisuutta



Kuva 10: Havaintoihin perustuvia rankkasateen toistuvuusajoja 10 minuutin sateille Helsingissä erilaisilla menetelmillä (Gumbel, GPD sekä GEV -ääriarvosovitteet) eri aikajaksoilla. Pystyjanat kuvaavat arvion epävarmuutta. (Saku et al., 2016).

nykypäivän ilmastossa (Saku et al., 2016). Tuloksista voitiin päätellä, että tuoreimmista havainnoista lasketut toistuvuudet vastaavat melko hyvin aiempia (kuva 10). Näin ollen esimerkiksi Ilmasto-opas.fi –sivustolla oleva rankkasateiden toistuvuustyökalu<sup>5</sup>, joka pohjautuu Katajiston (1969) tuloksiin, on käyttökelpoinen ainakin vielä toistaiseksi.

Ilmastonmuutoksen vaikutusta lyhytkestoisempien rankkasateiden esiintymiseen tutkittiin tässä työssä viiden alueellisesti tarkennetun ilmastomallin tuloksista (Strandberg et al., 2014). Alueellisesti tarkennettuja simulaatioita oli saatavilla kolmen tunnin aikaresoluutiolla ja  $0.11^\circ \times 0.11^\circ$  alueellisella tarkkuudella. Pitkälle menevien johtopäätösten tekemiseen mallijoukko on suppea, varsinkin kun alueellisessa tarkennuksessa oli kaikissa tapauksissa käytetty samaa RCA4-mallia, mutta vuorokautta lyhyempien ajanjaksojen sademäärien muutoksia Suomen alueella ei ole aiemmin tutkittu suoraan ilmastomallituloksista. Mallituloksia tarkasteltiin Helsingin ympäristössä olevan noin  $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$  alueen keskiarvona. Tuloksista laskettiin 30-vuotisiajaksojen (1970–1999 ja 2070–2099) keskimääräiset sademäärät sekä vuodenaajoittain ja vuosittain keskimäärin suurimmat vuorokausisademäärät ja kolmen tunnin sadekertymät. Suurimmille kolmen tunnin sadekertymille määritettiin lisäksi ääriarvoanalyysin mukaiset toistuvuustasot käyttäen GEV-ääriarvojakaumaa (Gilleland et al., 2005; Katz et al., 2005).

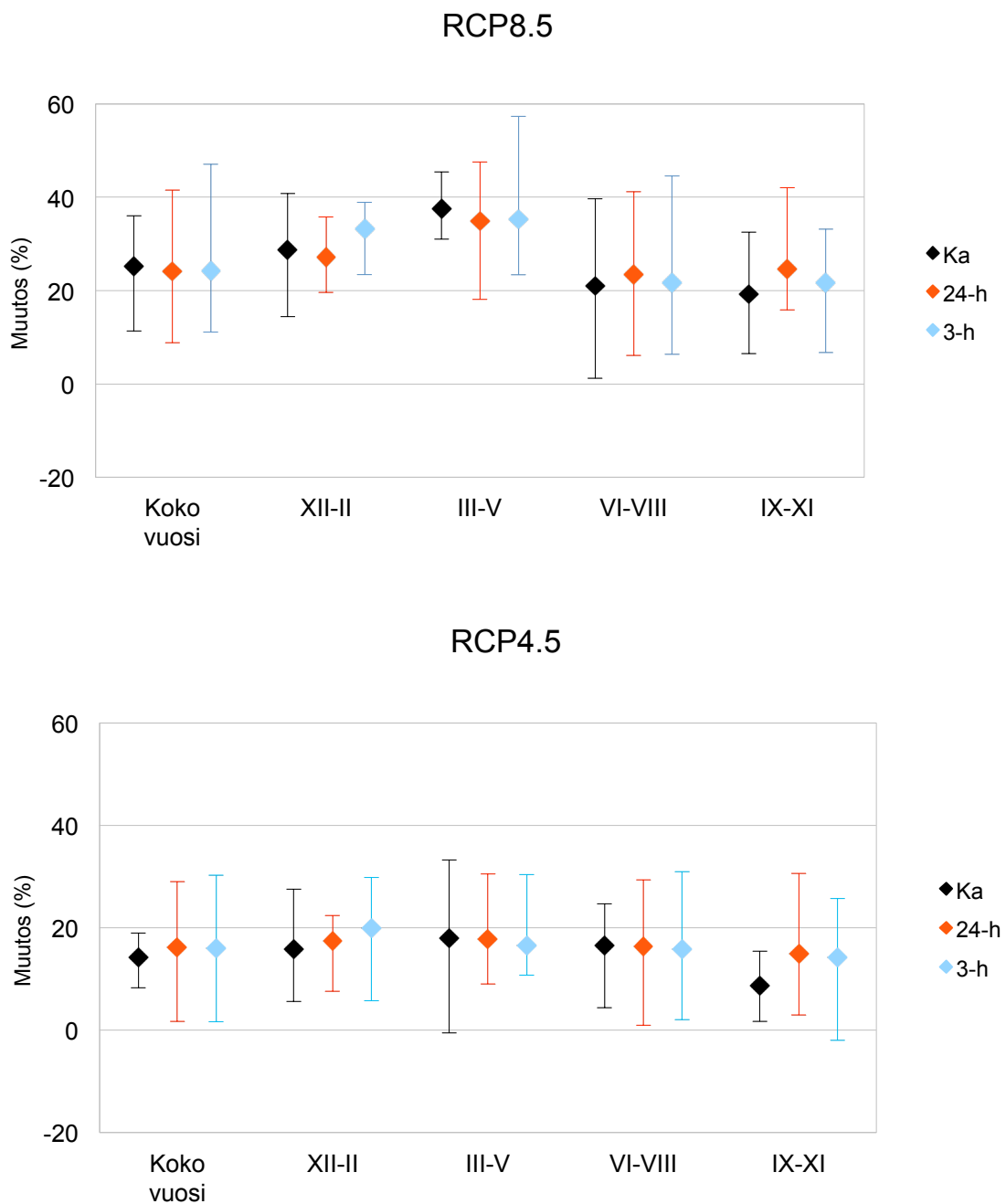
Maailmanlaajuisten ilmastomallien mukaan sademäärä lisääntyy Helsingin ympäristössä kuluvaan vuosisadan aikana kaikkina vuodenaikoina (kuva 9). RCP4.5-skenaariossa sademäärän lisäys on noin 10–20 %, mutta suurempien päästöjen RCP8.5-skenaariossa sademäärät lisääntyvät etenkin talvella ja keväällä vielä enemmän. Yleisesti ottaen sademäärän muutos Helsingin ympäristössä on valituissa viidessä alueellisesti tarkennetussa malliajossa samaa suuruusluokkaa kuin mitä saadaan isomman mallijoukon keskiarvona Etelä-Suomen alueella (kuva 9), joten valikoitua mallijoukkoa voi pitää edustavana. Tosin keväällä ja kesällä sademäärä kasvaa näiden malliajojen perusteella jonkin verran isomman mallijoukon keskiarvoa enemmän.

Aiemmin on ilmastomallitulosten perusteella todettu, että kesäpuolella vuotta erityisesti rankkasateet voimistuvat, kun taas talvella rankkasateiden voimistumisen lisäksi lisääntyvät myös sadepäivät. Tästä seuraa, että talvella kokonaissademäärä ja suurimmat vuorokausisademäärät kasvavat suunnilleen samassa suhteessa. Viiden alueellisen malliajon tulosten mukaan suurimmat vuorokausisademäärät kasvavat kaikkina vuodenaikoina likipitään yhtä paljon kuin keskimääräisetkin sademäärät (kuva 11). Myöskään lyhytkestoisempia rankkasateita paremmin kuvaavien suurimpien kolmen tunnin sadekertymien muutos ei näyttäisi poikkeavan suurimpien vuorokausisademäärien suhteellisista muutoksista.

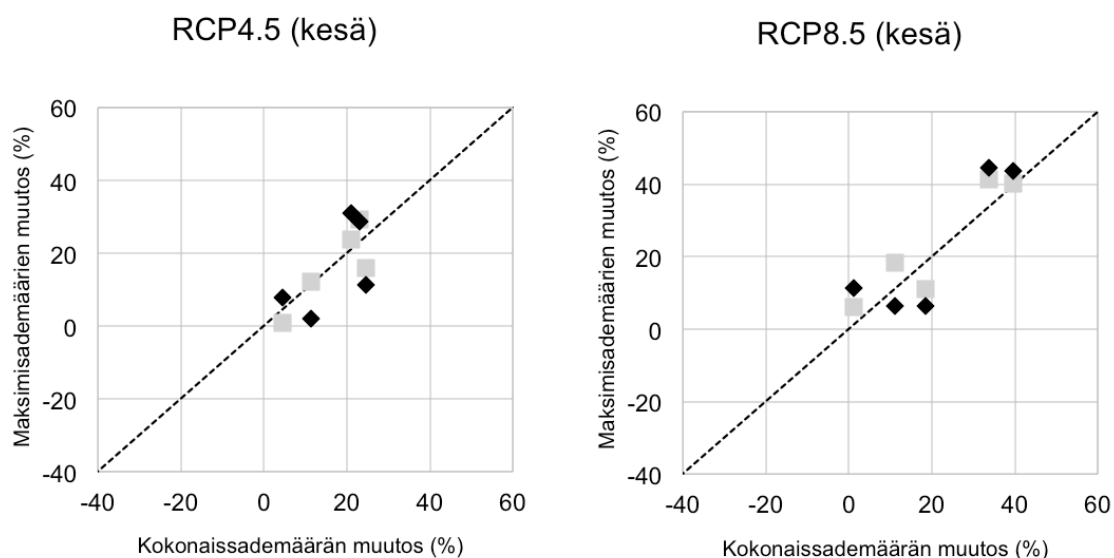
Sadepäivien lukumäärän muutosta ei ole tutkittu tässä mallijoukossa, mutta tulos indikoi, että RCA4-malli, jota käytettiin kaikkien viiden mallin alueellisessa tarkentamisessa, lisää myös sadepäivien lukumäärää kaikkina vuodenaikoina. Joka tapauksessa tässäkin mallijoukossa rankkimmat sateet voimistuvat kaikkina vuodenaikoina, mikä on sopusoinnussa aiempien tutkimusten kanssa. Kun simuloituja muutoksia tarkastellaan malli kerrallaan, rankimpien kesäsateiden muutokset näyttävät mukailevan hyvin kokonaissademäärän muutosta; malleissa, joissa sademäärä lisääntyy eniten, myös rankkasateet voimistuvat eniten (kuva 12). Myös suurimmat kolmen tunnin sadekertymät kasvavat kaikkien viiden mallin tulosten perusteella suunnilleen yhtä paljon kuin suurimmat vuorokausisademäärätkin.

---

<sup>5</sup> <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/videot-ja-visualisoinnit/-/artikkeli/b4df9633-7e1f-4389-9dd0-a0539588f211/visualisoinnit.html#rankkasateiden-toistuvuus>

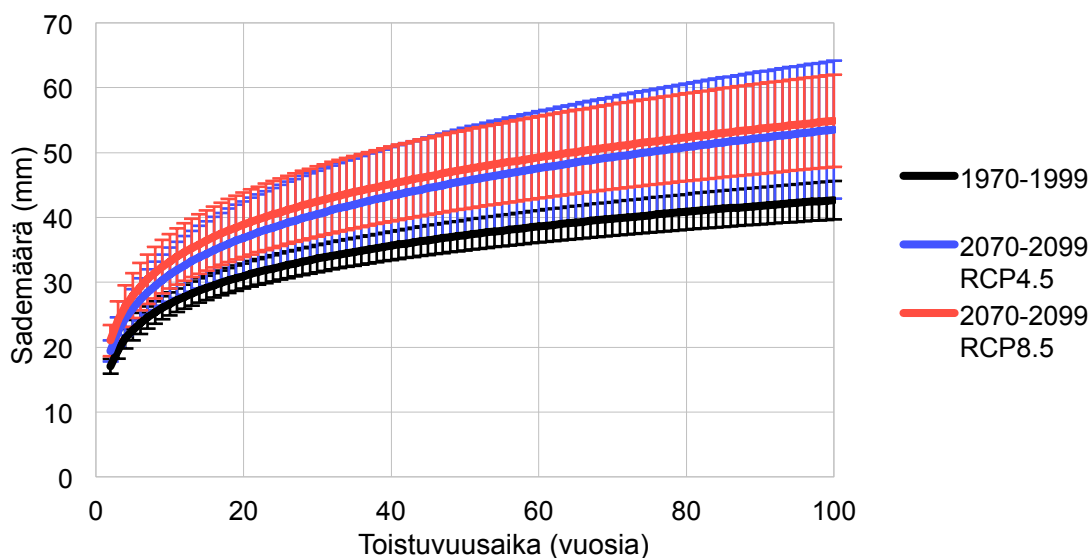


Kuva 11: Kokonaissademäärän (Ka; mustat pylväät), vuoden tai vuodenajan keskimäärin suurimman vuorokausisademäärän (24-h; punaiset pylväät) ja keskimäärin suurimman kolmen tunnin sadekertymän (3-h; siniset pylväät) muutokset prosentteina viiden alueellisen ilmastomalliajon tulosten perusteella Helsingin ympäristössä siirryttäessä jaksolta 1971–2000 jaksolle 2070–2099 RCP8.5- ja RCP4.5-skenaarioiden mukaisesti. Kuvissa on esitetty mallitulosten keskiarvo ja hajonta koko vuodelle ja erikseen eri vuodenaajoille (XII-II; joulukuu–helmikuu, III-V; maalisku–toukokuu, VI-VIII; kesä–elokuu ja IX-XI; syys–marraskuu).



Kuva 12: Kesän (kesä-elokuu) suurimpien vuorokausisademäärien muutos (harmaat neliöt) ja suurimpien kolmen tunnin sadekertymien muutos (mustat kallellaan seisovat neliöt) kokonaissademäärän muutoksen funktiona viiden RCA4-mallilla tarkennetun maailmanlaajuisen ilmastomallin tulosten perusteella RCP4.5- (vasemmalla) ja RCP8.5-skenaarioiden (oikealla) mukaisesti Helsingin ympäristössä siirryttäessä jaksolta 1970–1999 jaksoon 2070–2099.

### 3 tunnin sadesummien toistuvuustasot



Kuva 13: Suurimpien kolmen tunnin sadekertymien toistuvuustasot viiden RCA4-mallilla alueellisesti tarkennetun maailmanlaajuisen ilmastomallin tulosten perusteella Helsingin ympäristössä 30-vuotisjaksoilla 1970–1999 (musta käyrä) ja 2070–2099 (sininen käyrä; RCP4.5-skenaario ja punainen käyrä; RCP8.5-skenaario). Yhtenäiset käyrät kuvaavat mallitulosten keskiarvoa ja mallitulosten välinen keskihajonta on esitetty pylväillä.

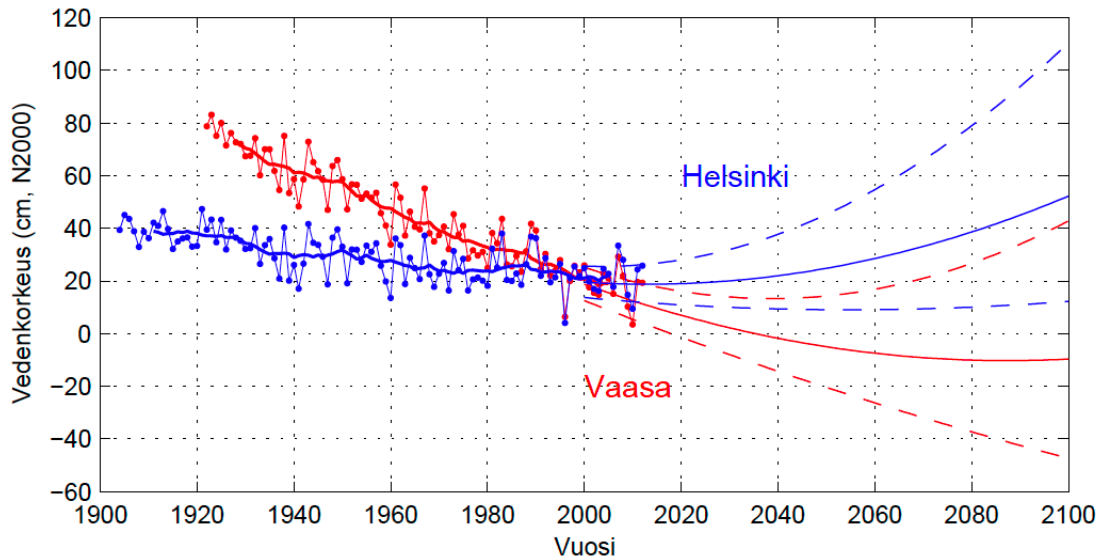
Kolmen tunnin sadekertymien mallinnetut toistuvuustasot on esitetty kuvassa 13. RCP8.5-skenaariossa toistuvuustasot kasvavat hieman enemmän kuin RCP4.5-skenaariossa. Mallinnetuissa toistuvuustasoissa on suurta mallitulosten välistä hajontaa, mutta mallitulosten keskiarvona toistuvuustasot kasvavat siten, että 1900-luvun loppuvuosikymmeninä esimerkiksi noin kerran 20 vuodessa koettu rankkasade koettaisiin 2000-luvun lopulla hiukan useammin kuin kerran kymmenessä vuodessa ja kerran sadassa vuodessa toistunut rankkasade voisi toistua noin kerran 30 vuodessa.

### 2.3 Merenpinnan korkeus ja merijää

Merenpinnan keskimääräinen korkeus eli keskivedenkorkeus Suomen etelärannikolla riippuu 1) maailmanlaajuisesta merenpinnan korkeudesta ja sen muutoksista, 2) keskimäärin vallitsevista tuulista sekä 3) maan kohoamisesta. Muutoksia ei ole mahdollista ennustaa tarkasti, etenkin koska ei ole lainkaan selvää, miten jäätiköiden sulaminen ja meriveden lämpölaajeneminen lopulta näkyvät merenpinnan korkeudessa ja miten nämä vaikutukset jakautuvat maapallon eri osiin. Tällä hetkellä arvioidaan, että merenpinta nousee lähellä sulavia mannerjäätiköitä (esim. Grönlanti) vähemmän kuin kauempana, koska jäätikön sulaminen paikallisesti hieman heikentää maan painovoimakenttää. Näin ollen esimerkiksi Itämerellä Grönlannin mannerjäätikön sulamisen vaikutukset ovat huomattavasti pienemmät kuin kauempana Grönlannista. Aihetta tutkitaan maailmalla laajasti, ja uutta tietoa on odotettavissa lähivuosina.

Ilmatieteen laitoksen aiemmassa raportissa (Kahma et al., 2014) sekä Johanssonin et al. (2014) artikkelissa on esitetty tuoretta tietoa merenpinnan korkeuden muutoksista Suomen rannikkoalueilla tämän vuosisadan loppuun mennessä huomioiden yllä mainitut tekijät 1-3. Vaikutukset ovat erilaisia Suomenlahdella ja Pohjanlahdella, kuten kuva 14 osoittaa. Helsingissä keskivedenkorkeuden arvioidaan nousevan (paras arvio muutokselle vuosina 2000-2100 on +33 cm), kun taas Vaasassa muutos on voimakkaamman maankohoamisen myötä laskeva (paras arvio -28 cm).

Merijään paksuus sekä laajuus pienenevät ilmaston lämmitessä. Ilmaston lämmitessä merikään ei enää jäädy yhtä laajasti kuin ennen, ja tämä näkyy jo lähivuosisikymmeninä. Toisaalta lähitulevaisuudessakin suuri vuosien välinen vaihtelu näkyy vielä siten, että kylmimpinä talvina jää on paksua ja sitä on laajalti. Vuosisadan loppupuolella RCP8.5-skenaarion mukaan tyypillisen talven aikana jää peittäisi kevättalvellakin enää 40 000 km<sup>2</sup> laajuisen alueen (huom.: tämä on vähemmän kuin vuonna 2008, jolloin jäätä on ollut tähän mennessä ennätysellisen vähän), ja RCP4.5-skenaarion mukaan keskimääräinen jään vuotuinen suurin laajuus olisi noin 70 000 km<sup>2</sup> (Luomaranta et al., 2014).



Kuva 14: Arvio keskimääräisen merenpinnan tason kehityksestä Helsingissä ja Vaasassa vuoteen 2100 mennessä. Yhtenäinen viiva kuvaa parasta arviota ja katkoviivat epävarmuusvälejä. Pisteet esittävät vedenkorkeuden tähänastisia havaittuja vuosikeskiarvoja. (Kahma et al., 2014).

### 3 Pariisin ilmastopimus

Pariisin sopimuksen<sup>6</sup> ensisijainen tavoite on vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä siten, että ilmaston lämpeneminen jää kahteen asteeseen, ja siinä tavoitellaan toimenpiteitä, joilla lämpeneminen voitaisiin rajata 1,5 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Hillinnän rinnalle tärkeäksi päämääräksi on noussut ilmastonmuutokseen sopeutuminen.

Suomen kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumisohjelma 2022 käyttää sopeutumiselle määritelmää: ”Ihmisen ja luonnon järjestelmien kyky toimia nykyisessä ilmastossa ja varautuminen tuleviin ilmaston muutoksiin ja niiden seurausvaikutuksiin. Sopeutumisella pyritään ehkäisemään tai lieventämään ilmaston vaihtelevuudesta ja muutoksesta aiheutuvia kielteisiä vaikutuksia ja hyötymään myönteisistä seurauksista. Sopeutuminen voi olla reagoimista tilanteisiin tai niitä ennakoivaa.” (MMM, 2014)

Pariisin sopimus kehottaa selvittämään sopeutumiskyvyn puutteita ja etsimään keinoja torjua ilmastonmuutosta. Kaikkien sopimuksen osapuolien (sekä kehitys- että teollisuusmaiden) odotetaan hallitsevan sää- ja ilmatoriskejä ja raportoivan sopeutumistoimista. Tämä tarkoittaa sekä vahinkoa aiheuttavien meteorologis-hydrologisten ilmiöiden että hitaasti etenevien muutosten huomioimista. Suomessa sopeutumista edistetään paitsi omilla toimillamme myös ottaen huomioon EU:n strategia ilmastonmuutokseen sopeutumisiksi (Euroopan komission tiedonanto, 2013).

Osana Valtioneuvoston vuoden 2015 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi) ELASTINEN-tutkimushankkeessa (Gregow et al., 2016) selvitettiin sää- ja ilmatorisken hallinnan tilaa Suomessa ja arvioitiin riskienhallinnan keinoja sekä eri toimijoiden roolia. Lisäksi tarkasteltiin, miten hallintakeinojen kustannuksia ja hyötyjä arvioidaan.

<sup>6</sup> <http://www.ym.fi/pariisi2015>

Yhteiskunnan toimivuuden ja turvallisuuden ylläpitäminen edellyttää myös kaupungeilta aktiivista varautumista vahinkoa aiheuttaviin sääilmiöihin. Varautumisessa tulee ottaa huomioon, että ilmastonmuutos voi muuttaa sään ääri-ilmiöitä sekä niiden esiintymistiheyttä ja voimakkuutta.

ELASTINEN-hankkeessa laadittiin myös kaupungeja koskevia suosituksia ja toimenpide-ehdotuksia, joilla sää- ja ilmatoriskien hallintaa voitaisiin parantaa ja sopeutumistyötä tukea.

- Kerätään ja jaetaan sää- ja ilmatoriskitietoa nykyistä kattavammin ja avoimemmin. Nykyistä monipuolisempi ja helpommin saatavilla oleva tieto parantaa mahdollisuuksia arvioida ja hallita sää- ja ilmatoriskejä sekä kykyä sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Tiedon käyttöönottoa edistää, jos useat eri tahot - julkinen ja yksityinen sektori sekä kansalaisyhteiskunta - osallistuvat tiedon tuottamiseen.
- Perustetaan ja ylläpidetään verkostoa, jonka puitteissa sää- ja ilmatoriskien hallintaa vahvistetaan ja edistetään taloudellisten arvioiden hyödyntämistä päätöksenteossa. Yhteistyötä vahvistamalla saadaan riskienhallinnan ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen osaamispotentiaali ja resurssit nykyistä

IPCC:n julkaiseman tuoreimman arviointiraportin pohjana on käytetty RCP-ilmastonmuutoskenaarioita. Kasvihuonekaasuista tärkeimmän eli hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) pitoisuuden kehitys on skenaarioissa seuraava (Ruosteenoja, 2013):

- RCP2.6: Ilmastopolitiikan täydellinen onnistuminen. CO<sub>2</sub>:n maailmanlaajuiset päästöt kääntyvät jyrkkään laskuun jo vuoden 2020 jälkeen ja ovat tämän vuosisadan lopulla lähellä nollassa. CO<sub>2</sub>:n pitoisuus on korkeimmillaan vuosisadan puolivälissä n. 440 ppm ja alkaa sen jälkeen laskea.
- RCP4.5: Ilmastopolitiikan osittainen onnistuminen. CO<sub>2</sub>:n päästöt kasvavat aluksi hieman mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 tienoilla. Vuosisadan loppupuolella pitoisuuden kasvu taittuu, ja tuolloin CO<sub>2</sub>:ta on ilmakehässä noin kaksinkertainen määrä teollistumista edeltävään tasoon verrattuna.
- RCP6.0: Päästöt pysyvät aluksi suunnilleen nykyisellä tasolla mutta ovat myöhemmin tällä vuosisadalla melko suuria. Tällainen kehityskulku vaikuttaa epärealistiselta, joten tätä skenaariota ei tässä raportissa tarkastella enempää.
- RCP8.5: Pyrkimys päästöjen rajoittamiseen kokee täydellisen haaksirikon. CO<sub>2</sub>:n päästöt kasvavat nopeasti ja kolminkertaistuvat vuoteen 2100 mennessä. CO<sub>2</sub>:n pitoisuus kohoaisi tuolloin yli kolminkertaiseksi teollistumista edeltävään aikaan verrattuna. Pitoisuus kasvaisi nopeasti vielä vuoden 2100 jälkeenkin.

Käytännössä RCP4.5-skenaariota toteuttaa vaatisi jo melko tiukkaa päästöjen rajoittamista. RCP2.6 skenaario olisi äärimmäisen haastava. Molemmissa tapauksissa on oletettu, että päästörajoitukset toteutuvat teollisuusmaissa nopeammin kuin kehitysmaissa.



tehokkaammin laajaan käyttöön. Kaupungeilla on omia verkostojaan, ja niiden kannattaa harkita osallistumista mahdollisiin uusiin, sää- ja ilmatoriskeitä käsitteleviin riskienhallinnan verkostoihin. Toimintatapoja voidaan kehittää lisäämällä riskienhallinta- ja sopeutumistoimien taloudellista arviointia päätöksenteon tukena, jolloin päästään entistä kustannustehokkaampiin ratkaisuihin.

#### **4 Ilmastonmuutoksen vaikutuksia pääkaupunkiseudulla**

Maailmanlaajuisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit kaupungille ovat merkittäviä, koska kaupungeissa väestötiheys on suuri: esimerkiksi yksittäisen voimakkaan sääilmiön kouriin saattaa kerralla joutua paljon ihmisiä sekä huomattava määrä rakennettua ympäristöä. Joidenkin toimintojen suhteen pääkaupunkiseutu on toisaalta turvallisempi kuin haja-asutusalueet. Tämä pätee esimerkiksi sähköverkkoihin, jotka pääkaupunkiseudulla kulkevat pitkälti maan alla eivätkä siten ole kovin herkkiä myrskytuulille.

Rankkasateiden aiheuttamien hulevesipiikkien hallinnan kehittämisen on todettu olevan etenkin Pohjoismaissa yksi keskeisimmistä lähivuosien toimenpiteistä sopeuduttaessa ilmastonmuutokseen. Korvaussummien kasvaessa vakuutusyhtiökin luultavasti tarkentavat korvausmenettelyitään ja saattavat edellyttää asiakkaalta oma-aloitteisuutta omaisuuden suojaamisessa.

Sateiden vastakohtana haasteita aiheuttavat myös kuivuus ja helleaallot. Suomessa pääkaupunkiseudulla tilanne ei tule olemaan yhtä vakava kuin esimerkiksi Etelä-Euroopassa, jossa jo nyt pitkät ennätykselliset hellejaksot ovat lisänneet kuolleisuutta ja terveysongelmia sekä aiheuttaneet ongelmia maataloudelle. Asuntojen viilentäminen yleistyy, mikä toisaalta lisää energian kulutusta ja hukkalämpöä tuottamalla lämmittää kaupunkia entisestään.

Ilmaston muuttuminen vaikuttaa vääjäämättömästi palvelurakenteeseen. Esimerkiksi tämän raportin luvussa 2 kuvattu talvien lämpeneminen ja lumipeitteen väheneminen eivät miellyttäne pääkaupunkiseudun talviurheilualalla toimivia, koska lumeen liittyvät virkistyspalvelut kärsivät. Toisaalta lumenpoistotarpeen vähentyessä kaupungit voivat siirtää voimavaroja muihin toimintoihin. Jos lumiharrastukset hankaloituvat, vapaa-ajan vieton kirjo voi muuttua, millä on vaikutusta koko yhteiskuntaan. Jos ihmiset matkaavat kauas lumen perässä, päästöt puolestaan kasvavat.

Kuten yllä kuvatuista yksinkertaisista esimerkeistä nähdään, vaikutusten paletti on laaja. Käytännössä jokainen Euroopan pääkaupunkiseutu on vastaavien haasteiden edessä, joskin ilmiöiden kirjo sekä voimakkuus vaihtelevat. Parhaiden esimerkkien huomioiminen, yhteistyö sekä yhteiset tavoitteet vaikuttavat kustannustehokkaimmilla ratkaisuilla, ja nämä asiat korostuvat etenkin Euroopan Unionin tutkimuspuite-ohjelmissa.

## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Ihmiskunnan ilmakehään päästämät kasvihuonekaasut vaikuttavat koko maapallon ilmastojärjestelmään lämmittävästi. Mitä enemmän hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) ja muita kasvihuonekaasuja ilmakehään pääsee, sitä suurempi ylimääräinen lämmitysvaikutus tästä aiheutuu. Koska päästöt vaikuttavat ilmastoon maapallonlaajuisesti, ilmastomuutoksen hillintä päästöjä vähentämällä vaatii kansainvälisiä sopimuksia. Koska lämpötila vaikuttaa keskeisesti lähes kaikkiin maa-meriekosysteemin osiin, on ilmastomuutoksen myötä kohonneilla lämpötiloilla kauaskantoisia vaikutuksia. Sen lisäksi ilmastomuutos vaikuttaa sademääriin, tuuliin ja erilaisten sään ääri-ilmiöiden esiintymiseen eri puolilla maapalloa.

Maapallon napa-alueet, ja korkeat leveysasteet yleensäkin, lämpenevät enemmän kuin maapallo keskimäärin. Tämä johtuu korkeiden leveysasteiden maa- ja merialueiden erityisestä käyttäytymisestä etenkin talvipuolella vuotta. Esimerkiksi lumen ja jään väheneminen pohjoisilla napa-alueilla muuttaa radikaalisti auringon säteilyn imeytymistä alustaan, koska lumi- ja jääpeite ei enää heijastakaan säteilyä takaisin avaruuteen. Myös Suomi kuuluu näihin keskimääräistä enemmän lämpeneviin alueisiin.

Ilmastomallit tuottavat arvioita tulevaisuuden ilmastosta maapallolla perustuen mm. ihmiskunnan aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin. Mallit siis pyrkivät arvioimaan, miten maapallon ilmastojärjestelmä reagoi esimerkiksi ihmiskunnan CO<sub>2</sub>-päästöihin ja kuinka pitkälle ajassa eteenpäin vaikutukset ulottuvat. Koska vaikutusten suuruus riippuu päästöjen määrästä, tarkastellaan useita vaihtoehtoisia päästöskenaarioita (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ja RCP8.5), jotka kuvaavat päästöjen suuruudesta aiheutuvaa lisälämmitystä. Ilmastomallit eivät ennusta säätä vaan sään keskimääräisiä ominaisuuksia pitkällä aikavälillä. Mitä pienempiä alueita tarkastellaan, sitä suurempi epävarmuus arvioilla on. Lisäksi jotkin suureet, kuten lämpötila, ovat malleilla helpompia ennustaa kuin jotkin toiset (esimerkiksi tuuli).

Ilmastomallien tulokset mahdollistavat myös muutosten arvioimisen kaupunkien ja kuntien tasolla, esimerkiksi pääkaupunkiseudulla. Tuoreimpien arvioiden mukaan pääkaupunkiseudun ilmasto lämpenee kaikkina vuodenaikoina, talvella kuitenkin enemmän kuin kesällä. Mikäli päästöjen rajoittamisessa onnistutaan kohtuullisesti (RCP4.5-skenaario), vuoteen 2100 mennessä tammikuun keskilämpötila on pääkaupunkiseudulla arvioiden mukaan reilut 5°C korkeampi kuin nykyään, ja heinäkuussa ero on noin 3°C nykyilmastoon verrattuna. Varsinkin äärimmäisen alhaiset lämpötilat harvinaistuvat. Sen sijaan kesäisin vuorokauden korkeimmat lämpötilat kohoavat samaa tahtia keskilämpötilan kohoamisen kanssa: jos vuoteen 2100 mennessä kesien keskilämpötila on kohonnut esimerkiksi 3°C nykyilmastoon verrattuna, korkeimmat mitattavat kesälämpötilat ovat myös noin 3°C korkeampia kuin nykyään.

Myös sateisuus muuttuu. Talvella sataa selvästi nykyistä enemmän ja aurinkoa nähdään harvemmin. Sekä keskimääräiset että suurimmat sademäärät kasvavat, kuten myös sadepäivien lukumäärä. Kesällä keskimääräinen sademäärä ei muutu paljoa, mutta rankkasateiden arvioidaan voimistuvan runsaat 10 % sadassa vuodessa. Esimerkiksi 1900-luvun loppuvuosikymmeninä noin kerran 20 vuodessa koettu rankkasade koetaan 2000-luvun lopulla hiukan useammin kuin kerran kymmenessä vuodessa, ja kerran sadassa vuodessa esiintynyt rankkasade noin kerran 30 vuodessa. Keskimääräiset tuulen voimakkuudet sen sijaan pysyvät likimain ennallaan, joskin eri mallitulosten välillä on paljon hajontaa.

Merenpinnan keskikorkeus Helsingin edustalla nousee muutamia kymmeniä senttimetrejä tämän vuosisadan loppuun mennessä. Merellä jäät keskimäärin ohenevat

ja jään pinta-ala pienentyy. Kuitenkin yksittäisiä runsasjäisiäkin talvia esiintyy vielä lähivuosikymmeninä.

On erittäin tärkeä ymmärtää, että ilmastonmuutoksen vaikutukset maapallollamme riippuvat kasvihuonekaasupäästöistä, jotka puolestaan riippuvat ihmisten toimista. Lisäksi jo nyt ilmakehään päässeet kasvihuonekaasupäästöt vaikuttavat siellä vielä kauan: vaikka päästöjen hillinnässä onnistuttaisiin lähivuosina erinomaisesti, lämpeneminen jatkuu vielä pitkään.

Tämä raportti soveltuu tausta-aineistoksi pääkaupunkiseudulla ja eri kaupungeissa tehtävässä ilmastonmuutokseen varautumistyössä. Muuttuvaan ilmastoon varautuminen lisää kaupunkiseudun vastustuskykyä ja joustavuutta sekä parantaa edellytyksiä turvalliseen ja viihtyisään kaupunkiympäristöön nyt ja tulevaisuudessa.

## **Kiitokset**

Kiitämme Helsingin seudun ympäristöpalveluita tämän raportin sisältöä koskevasta rakentavasta palautteesta.

## Kirjallisuusviitteet

Drebs, A., 2011: Helsingin lämpösaareke ajallisena ja paikallisena ilmiönä. Pro gradu, Helsingin yliopisto, <http://hdl.handle.net/10138/29123>

Euroopan komission tiedonanto, 2013: Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle EU:n strategia ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. COM (2013) 216 final. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0216&from=FI>

Gilleland, E., R.W. Katz ja G. Young, 2005: Extremes toolkit (extRemes): weather and climate applications of extreme value statistics. <http://www.esig.ucar.edu/extremevalues/extreme.pdf>

Gregow, H., K. Ruosteenoja, N. Pimenoff ja K. Jylhä, 2012: Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. *Int. J. Climatol.*, 32, 1834–1846. DOI: 10.1002/joc.2398.

Gregow, H., et al., 2016: Keinot edistää sää- ja ilmatoriskien hallintaa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja, 47/2016, 41 s.

HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä, 2010: Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu. Sopeutumisstrategian taustaselvityksiä. HSY:n julkaisuja 3/2010. 92 s. [https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/3\\_2010\\_paakaupunkiseudun\\_ilmasto\\_muuttuu.pdf](https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/3_2010_paakaupunkiseudun_ilmasto_muuttuu.pdf)

IPCC, 2013: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

Johansson, M., H. Pellikka, K. Kahma ja K. Ruosteenoja, 2012: Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. *J. Marine Syst.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.08.007>.

Kahma, K., H. Pellikka, K. Leinonen, U. Leijala ja M. Johansson, 2014: Pitkän aikavälin tulvariskit ja alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Suomen rannikolla. Raportteja, 2014:6, Ilmatieteen laitos. 48 s.

Katajisto, R., 1969: Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa. Helsinki: Rakennushallitus. Rakennushallituksen tiedotuksia.

Katz, R.W., G. Brush ja M. Parlange, 2005: Statistics of extremes: Modeling ecological disturbances. *Ecology*, 86(5), 1124-1134.

Luomaranta, A., K. Ruosteenoja, K. Jylhä, H. Gregow, J. Haapala, ja A. Laaksonen, 2014: Multimodel estimates of the changes in the Baltic Sea ice cover during the present century. *Tellus A* 66, 22617, doi:10.3402/tellusa.v66.22617.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM), 2014: Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022. Maa- ja metsä-talousministeriön julkaisuja 5/2014. 39 s. <http://bit.ly/2dgyoUk>

Ruosteenoja, K., 2013: Ilmastonmuutos pääkaupunkiseudulla – vuoden 2013 loppuun mennessä tehtyihin laskelmiin perustuvia arvioita. Ilmatieteen laitos. 11 s.

Ruosteenoja, K., K. Jylhä ja M. Kämäräinen, 2016: Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. Geophysica (Painossa).

Saku, S., A. Mäkelä A., K. Jylhä ja N. Niinimäki, 2016: Lyhytkestoisten sateiden rankkuus ja toistuvuus aika Suomessa. Ilmatieteen laitos. 15 s.

Serreze, M. C. ja R. G. Barry, 2011: Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. Global and Planetary Change 77, 85-96.

Strandberg, G., E. Kjellström, A. Poska, S. Wagner, ... ja R. Fyfe, 2014: Regional climate model simulations for Europe at 6 and 0.2 k BP: sensitivity to changes in anthropogenic deforestation. Climate of the Past, (10), 661-680.



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

**ILMATIETEEN LAITOS**

Erik Palménin aukio 1

00560 Helsinki

puh. 029 539 1000

**WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI**

ILMATIETEEN LAITOS

RAPORTTEJA 2016:3

ISBN 978-952-336-006-8

ISBN 978-952-336-007-5 (pdf)

ISSN 0782-6079

Erweko

Helsinki 2016

