



© Jussi Nuikari / Lehtikuva

PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMASTO MUUTTUU

Sopeutumisstrategian taustaselvityksiä

HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut
HRM Helsingforsregionens miljötjänster

Esipuhe

Ilmastonmuutoksen sopeutuminen tarkoittaa keinoja ja menetelmiä, joilla voidaan varautua ja sopeutua sään vaihteluun ja sen ääri ilmiöihin ja toisaalta korjataan äkkinäisten sääilmiöiden aiheuttamia vahinkoja. Sopeutumisella voidaan pienentää mahdollisia vaikutuksia tai hyötyä mahdollisista eduista.

Pääkaupunkiseudun kaupungeilla on jo menettelyjä, joilla toisaalta varaudutaan sään vaihteluun ja toisaalta korjataan sääilmiöiden aiheuttamia vahinkoja. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ei siten ole uusi asia. Muuttuva ilmasto voi kuitenkin olla totutusta poikkeava: sateisempi, tuulisempi, kuivempi, kuumempi tai ennako mattomampi. Sopeutumisstrategiatyössä tunnistetaan kaupunkiseudulle kohdistuvia alueellisia ilmastovaikutuksia ja määritellään pääkaupunkiseudun kaupunkien yhteiset linjaukset ja tarvittavat yhteiset toimet ennakkointiin.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä ovat ensisijaisia, jotta ilmaston lämpenemistä voitaisiin hidastaa ja välttää vaarallinen ilmastonmuutos. Aiemmat ja nykyiset kasvihuonekaasujen päästöt ilmakehään tarkoittavat kuitenkin sitä, että ilmasto lämpenee vielä kauan ja sopeutuminen ja ennakkointi ovat välttämättömiä.

Pääkaupunkiseudun kaupunkien Helsingin, Espoon, Kauniaisten ja Vantaan yhteisen ilmastonmuutokseen sopeutumisen strategian valmistelu käynnistyi vuoden 2009 alussa. Strategia on alueellinen ja kaupunkien yhteinen ja se keskittyy kaupunkiympäristön ja rakennetun ympäristön sopeutumiseen muuttuvaan ilmastoon. Keskeistä työssä on riskien tunnistaminen ja hallinta. Työssä arvioidaan myös ilmastonmuutoksen vaikutusten ja sopeutumisen kustannuksia seudulla mahdollisuuskansien mukaan.

Tämä raportti kokoaa yhteen sopeutumisstrategiaa varten tehtyjä selvityksiä. Ilmatieteen laitos on vastannut pääkaupunkiseudun ilmastotietojen ja skenaarioiden tuottamisesta. Suomen ympäristökeskuksessa on mallinnettu jokitulvien riskiä Vantaan ja Espoonjoilla. Lopuksi luodaan katsaus ilmastonmuutoksen vaikutuksiin pääkaupunkiseudulla. Raportin aineistosta kootut, yhtenäiset pääkaupunkiseudun kartta aineistot julkaistaan erillisenä liitteenä vuoden 2010 aikana.

Sopeutumisstrategian laatiminen on osa kahta EU rahoitteista hanketta. HSY Seututieto vastaa EU Life+ Julia 2030 hankkeesta (Ilmastonmuutos Helsingin seudulla hillintä ja sopeutuminen), jonka yksi osaprojekti on ilmastonmuutokseen sopeutuminen. HSY Seututieto ja Helsingin kaupungin ympäristökeskus ovat kumppaneina Baltic Sea Region ohjelman BaltCCA hankkeessa (Climate Change: Impacts, Costs and Adaptation in the Baltic Sea Region), jossa kehitetään ilmastonmuutokseen sopeutumisen menettelyjä pääkaupunkiseudulle. Molemmat hankkeet alkoivat vuoden 2009 alussa ja kestävät vuoden 2011 loppuun.

HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymä edistää ja seuraa kaupunkien yhteisen Pääkaupunkiseudun ilmastostrategia 2030:n toteuttamista ja raportoi toimien etenemistä sekä laskee pääkaupunkiseudun kasvihuonekaasupäästöt vuosittain. HSY jatkaa ilmastotyötä ilmastonmuutokseen sopeutumisen strategian valmistelulla yhteistyössä kuntayhtymän jäsenkaupunkien kanssa. Työtä ohjaa pääkaupunkiseudun kaupunkien yhteinen ohjausryhmä, jossa ovat edustettuina sopeutumisen kannalta avoimialat kustakin HSY jäsenkaupungista. Ohjausryhmän puheenjohtajana on Helsingin kaupungin nsinööri Matti Pekka Rasilainen.

HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymä
Seututieto
Opastinsilta 6 A, PL 100, 00066 HSY
www.hsy.fi

Euroopan unionin osittain rahoittama
(Euroopan aluekehitysrahasto ja ympäristöalan rahoitusväline Life+)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Raimo Inkinen
Toimitusjohtaja
HSY

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Irma Karjalainen
Tietopalvelujohtaja
HSY



Tiivistelmä

JULKAISIJA:
HSY HELSINGIN SEUDUN
YMPÄRISTÖPALVELUT
-KUNTAYHTYMÄ

PÄIVÄMÄÄRÄ:
 21.5.2010

JULKAISUN NIMI:
 Pääkaupunkiseudun
 ilmasto muuttuu.
 Sopeutumisstrategian
 taustaselvityksiä.

Meneillään oleva maailmanlaajuinen ilmastonmuutos vaikuttaa väistämättä myös Suomen ilmastollisiin olosuhteisiin. Muutoksen suuruus ja sen myötä vaikutukset riippuvat ilmakehän kasvihuonekaasujen määrästä: mitä enemmän niitä on ilmakehässä, sitä enemmän ilmasto lämpenee.

Suomen osalta muutoksia on odotettavissa etenkin lämpötila- ja lumioloissa. Kuluvan vuosisadan aikana Suomen ilmaston arvioidaan lämpenevän 3,2–6,4 astetta. Ilmaston luonnollinen vuodesta toiseen tapahtuva vaihtelu kuitenkin säilyy. Talvilämpötilat nousevat kesälämpötiloja enemmän. Lämpenemisen myötä talvinaiset lyhenee ja muut vuodenaikat pitenevät. Talvien lämpeneminen johtaa lumipeitteen vähenemiseen ja roudan ohenemiseen. Itämerellä talvinen merijää ja jääpäivien määrä vähenevät. Kesälämpötilan nousu kuluvan vuosisadan aikana johtaa mm. kuumien päivien määrän lisääntymiseen ja hellejaksojen pidentymiseen. Suomen vuotuisen sademäärän arvioidaan lisääntyvän tasaisesti kuluvan vuosisadan aikana. Vuosisadan loppuun mennessä sademäärä kasvaa skenaariosta riippuen 12–24 prosenttia. Myös rankkasateiden arvioidaan voimistuvan Suomessa.

Keskimääräisen merenpinnan korkeuden muutoksiin Itämerellä ja Suomen rannikolla vaikuttavat pääasiassa valtameren pinnan nousu sekä maan kohoaminen. Valtameren pinnan nousun tämänhetkiset arviot vaihtelevat 10 senttimetrillä 2 metrin vuoteen 2100 mennessä. Epävarmuutta aiheuttaa esimerkiksi mannerjäätöiden sulamisnopeudessa tapahtuvien muutosten vaikeus ennustettavuus. Itämerellä merenpinnan korkeuden lyhytaikaisiin vaihteluihin ja ääriarvoihin vaikuttavat pääasiassa ilmanpaine, tuulet, Itämeren ominaisheilahtelu sekä kokonaisvesimäärän muutokset. Aiemmin laskettiin, että Helsingissä +230 cm vedenkorkeustaso saavutettaisiin kerran seuraavien 200 vuoden aikana. Nykyisten skenaarioiden valossa näyttää siltä, että tuo arvio ylittyy.

Ilmastonmuutos vaikuttaa merkittävästi tulvien yleisyyteen ja ajoitukseen Suomessa. Vantaanjoen pääuomassa tulvien arvioidaan keskimäärin pienenevän ilmastonmuutoksen vaikutuksesta lumen määrän vähenemisestä johtuen. Sen sijaan Vantaanjoen pienemmissä sivuhaaroissa Keravanjoessa ja Lepsämänjoella sekä Espoonjoella tulvat kasvavat hieman tulevaisuudessa johtuen lähinnä rankkojen sateiden ja talvitulvien lisääntymisestä. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat kuitenkin vielä epävarmoja ja esimerkiksi rankkojen sateiden muuttuminen nyt arvioitua enemmän voi muuttaa tuloksia. Havaintojen perusteella laaditut tulvakartat ovat kuitenkin käytännöllisiä myös ilmastonmuutos huomioon ottaen. Tarvittaessa ilmastonmuutokseen voidaan varautua ottamalla suunnittelussa käyttöön entistä suurempaa toistumisaikaa vastaava tulvakartta. Kerran 100 vuodessa toistuva tai sitä suurempi tulva toteutuessaan merkittäviä vahinkoja.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset kaupunki- ja rakennettuun ympäristöön ovat pääosin kielteisiä, mutta tutkimustieto aiheesta on melko vähäistä. Vaikutuksia tarkasteltaessa on tärkeää huomioida sekä välittömät että välilliset vaikutukset. Pääkaupunkiseudulla ilmastonmuutoksen asettamat haasteet liittyvät muun muassa hulevesitulviin, rakennusten kosteusvaurioihin, energianjakelun turvaamiseen, tietoliikenneverkkojen ylläpitoon ja sään ääri-ilmiöihin. Ilmanlaatu voi heikentyä, liukkaat nollakelit lisääntyä, ja myös muuhun maailmaan kohdistuvat ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat heijastua Suomeen esimerkiksi kansainvälisen turvallisuuden kautta.

AVAINSANAT: ilmastonmuutos, sopeutuminen, skenaariot, tulvat, vaikutukset, pääkaupunkiseutu

SARJAN NIMI JA NUMERO: HSY:n julkaisuja 3/2010

ISSN (nid.) 1798 6087

ISSN (pdf) 1798 6095

Kieli: suomi

ISBN (nid.) 978 952 6604 04 6

ISBN (pdf) 978 952 6604 05 3

Sivuja: 92

HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, PL 100, 00066 HSY, puhelin 09 156 11, faksi 09 156 1011

Sammandrag

UTGIVARE:
HRM SAMKOMMUNEN
HELSINGFORSREGIONENS
MILJÖTJÄNSTER

DATUM:
 21.5.2010

PUBLIKATIONENS TITEL:
 Huvudstadsregionens
 klimat förändras.
 Utredningar för
 anpassningsstrategin.

Den pågående globala klimatförändringen påverkar ofrånkomligen även Finlands klimatologiska förhållanden. Förändringens storlek och därmed dess effekter beror på mängden växthusgaser i atmosfären: ju mera det finns av dem i atmosfären, desto varmare blir klimatet.

För Finlands del kan förändringar förväntas i synnerhet i temperatur- och snöförhållanden. Under innevarande århundrade uppskattas Finlands klimat bli 3,2–6,4 grader varmare. Klimatets naturliga variation från år till år behålls dock. Vintertemperaturerna stiger mer än sommartemperaturerna. I och med uppvärmningen förkortas den termiska vintern och övriga årstider blir längre. Att vintrarna blir varmare leder till att snötäcket minskar och tjälarna blir grundare. På Östersjön minskar vinterns havsis och antalet isdygn blir färre. Sommartemperaturerna ökar under innevarande århundrade leder bl.a. till att antalet heta dagar ökar och de heta perioderna blir längre. Finlands årliga regnmängd beräknas öka i jämn takt under innevarande århundrade. Fram till slutet av århundradet ökar regnmängden, beroende på scenario, med 12–24%. Även slagregnen beräknas bli kraftigare i Finland.

Tilländringar i det genomsnittliga havsvattenståndet i Östersjön och längs Finlands kust inverkar huvudsakligen att vattennivån i oceanen stiger, samt landhöjningen. Prognoser för höjningen av oceanens vattennivå för närvarande varierar från 10 centimeter till 2 meter fram till år 2100. Osäkerhet framkallas till exempel av svårigheten att förutsäga förändringarna i den hastighet som inlandsisen smälter med. Det som i huvudsak inverkar på kortsiktiga variationer och extrema värden för havsytans nivå i Östersjön är lufttryck, vindar, Östersjöns specifika fluktuation, samt förändringar i totalvattenmängden. Tidigare räknade man ut, att man i Helsingfors skulle nå vattennivån +230 cm en gång under de följande 200 åren. I ljuset av nutida scenarier ser det ut, som om detta värde överskrids.

Klimatförändringen inverkar avsevärt på vanligheten med och tidpunkten för översvämningar i Finland. I Vanda ås huvudfåra beräknas översvämningarna i genomsnitt minska genom inverkan av klimatförändringen, på grund av att mängden snö minskar. I Vanda ås mindre biflöden däremot, i Kervo å och Lepsämänjoki, samt i Esbo å ökar översvämningarna något snarast på grund av en ökning av slagregn och vinteröversvämnningar. Klimatförändringens verkningar är dock fortfarande osäkra och resultatet kan förändras av till exempel en större förändring av slagregn än nu beräknats. Översvämningsskottor, som har utarbetats på basen av observationer, är dock användbara även med beaktande av klimatförändringen. Vid behov kan man bereda sig för klimatförändringen genom att i planeringen ta i bruk en översvämningsskarta motsvarande en större frekvens än tidigare. En vart 100:de år återkommande översvämning eller ännu större skulle, då den inträffar, förorsaka betydande skador.

Klimatförändringens verkningar på stads- och bebyggd miljö är huvudsakligen negativa, men forskningskunskapen i ämnet är tämligen liten. Vid betraktandet av verkningarna är det viktigt att observera såväl direkta som indirekta verkningar. I huvudstadsregionen berör utmaningarna som klimatförändringen ställer bland annat dagvattenöversvämningar, fuktskador i byggnader, säkerställandet av energi-distribution, upprätthållandet av kommunikationsnät och extrema väderleksfenomen. Luftkvaliteten kan försämrats, nollgradigt före med halka öka och klimatförändringens globala effekter kan även reflekteras på Finland, till exempel via den internationella säkerheten.

NYCKELORD: klimatförändring, anpassningsstrategier, översvämningar, effekter, huvudstadsregionen

PUBLIKATIONSSERIENS TITEL OCH NUMMER: HRM publikationer 3/2010

ISSN (hft.) 1798 6087

ISSN (pdf) 1798 6095

Språk: finska

ISBN (hft.) 978 952 6604 04 6

ISBN (pdf) 978 952 6604 05 3

Sidantal: 92

HRM Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster, PB 100, 00066 HSY, tfn: 09 156 11, fax: 09 156 12011

Abstract

PUBLISHED BY:
HSY HELSINKI REGION
ENVIRONMENTAL SERVICES
AUTHORITY

DATE OF PUBLICATION:
21.5.2010

TITLE OF PUBLICATION:
Climate is changing in
the Helsinki Metropolitan
Area Background studies
for the Adaptation Strategy

Global climate change will unavoidably have an impact on the climate in Finland. The magnitude of change depends on the amount of greenhouse gases in the atmosphere: the higher the concentration the warmer the climate becomes.

In Finland, remarkable changes in temperature and snow conditions are to be expected. During this century, the mean temperature in Finland is expected to rise between 3.2 to 6.4 degrees. However, the natural climate variability will remain. Winter temperatures will rise more than summer temperatures. Due to the warming, winter will become shorter while the other seasons will be extended. This will lead to reduced snow cover and the thinning of ground frost. The Baltic Sea ice cover will diminish and ice free periods will be prolonged. The rise in summer temperatures is expected to lead to a higher number of hot days and longer heat waves. Annual rainfall is expected to grow steadily during this century: by 12-24% depending on the scenario. Furthermore, heavy rains are expected to intensify.

The mean sea level in the Baltic Sea and on the coast of Finland is affected mainly by the rise of water level in the oceans and local land uplift. Current estimates of the water level rise in the oceans vary from 10 cm to 2 m by the end of the century. The equivocal results of the melting of the continental ice sheets give rise to the large uncertainties. The most important factors affecting the short term fluctuations in the water level in the Baltic Sea are air pressure, wind, currents through the Danish Straits, and the seiche oscillation. In Helsinki, the minimum height for buildings recommended previously was +260 cm (N60), including the influence of waves. It was calculated then that the water level will reach +230 cm statistically once during the next 200 years. According to the current scenarios, however, it seems that the earlier estimates will be exceeded. The most important factor affecting the projections is the global sea level rise that was previously predicted to remain less than 2 m up to 2200. Nowadays, the highest estimates reach the level of 2 m already in the end of 21st century.

Climate change will significantly affect the frequency and timing of floods in Finland. In the Vantaa river, floods are estimated to decrease under climate change conditions due to reduced amounts of snow. Meanwhile in the smaller tributaries of the river in the Espoo river floods are expected to increase to some extent in the future due to the growth of heavy rains and winter floods. The impact of climate change on flooding is still uncertain. For example, if the occurrence of heavy rains increases more than expected in this modelling, the results would be different. However, flood maps that have been prepared based on observations are useful also under the conditions of climate change. To prepare for changes, a flood map corresponding to a greater return period can be used in planning. A once in a century or greater flood would cause major damage in the river basin areas.

The impact of climate change on the urban and built environment is primarily negative. However, there has been little research on the issue thus far. It is essential to consider both the direct and indirect impact. The challenges of climate change that the Helsinki Metropolitan Area will face include extreme weather, storm water management, moisture damage in buildings, securing energy distribution and the maintenance of telecommunication networks. Air quality may worsen, slippery road conditions may increase, and the impact of and climate change in other parts of the world may well have consequences for Finland, for example through international security.

KEY WORDS: climate change, adaptation, scenarios, floods, impacts, Helsinki Metropolitan Area

PUBLICATION SERIES TITLE AND NUMBER:

ISSN (print) 1798 6087

ISSN (pdf) 1798 6095

Language: Finnish

ISBN (print) 978 952 6604 04 6

ISBN (pdf) 978 952 6604 05 3

Pages: 92

HSY Helsinki Region Environmental Services Authority, P.O. Box 100, 00066 HSY, phone: +358 9 156 11, fax: +358 9 156 2011

Sisällys

OSA A:

PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMASTOTIETOJA JA -SKENAARIOITA

1. Kuvaus pääkaupunkiseudun ilmastosta.....	12
2. Ilmastomuutos pääkaupunkiseudulla.....	16
3. Johtopäätöksiä.....	35

OSA B:

TULVIEN MUUTTUMINEN VANTAANJOELLA JA ESPOONJOELLA

1. Johdanto.....	42
2. Alueen kuvaus.....	43
3. Käytetty menetelmä.....	45
4. Ilmastoskenaariot.....	46
5. Hydrologinen malli.....	49
6. Tulokset.....	50
7. Johtopäätöksiä.....	55

OSA C:

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET PÄÄKAUPUNKISEUDULLE

1. Johdanto.....	60
2. Vaikutukset yhdyskuntiin.....	61
3. Liikenne.....	65
4. Luonto ja kulttuuriympäristö.....	68
5. Vesistö ja rannikkoalueet.....	71
6. Terveysvaikutukset.....	72
7. Sosiaaliset vaikutukset.....	74
8. Talous.....	76
9. Turvallisuus.....	77
10. Muualla tapahtuvat vaikutukset.....	79
11. Johtopäätöksiä.....	80

LÄHDELUETTELO.....	79
--------------------	----

KUVAT JA TAULUKOT.....	83
------------------------	----

LIITE: Olemassa olevia ilmastomuutokseen sopeutumiseen liittyviä ohjelmia ja säädöksiä.....	86
---	----



PÄÄKAUPUNKISEDUN ILMASTOTIETOA JA -SKENAARIOITA

OSA A

Ari Venäläinen, Milla Johansson, Juha Kersalo
Hilppa Gregow, Kirsti Jylhä, Kimmo Ruosteenoja
Leena Neitiniemi-Upola, Helena Tietäväinen
Natalia Pimenoff

Ilmatieteen laitos 2009

Sisällysluettelo, osa A

1. KUVAUS PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMASTOSTA

1.1	Yleistä Uudenmaan ilmastosta.....	12
1.2	Lämpötilat.....	12
1.3	Sateet.....	13
1.3.1	Kesäsateiden ilmastollisia piirteitä.....	13
1.4	Lumiolot.....	14
1.5	Termiset vuodenaajat ja kasvukausi.....	15

2. ILMASTONMUUTOS PÄÄKAUPUNKISEUDULLA

2.1	Ilmastomallit ja skenaariot.....	16
2.2	Ääri-ilmiöt ja vaihtelevuus.....	17
2.3	Lämpötilan muutos.....	20
2.4	Muutokset sademäärissä.....	22
2.5	Pilvisyys.....	25
2.6	Lumisuus.....	25
2.7	Merenpinnan nousu.....	27
2.8	Termiset vuodenaajat.....	29
2.9	Tuuli.....	30
2.10	Merijää.....	31
2.11	Routa.....	32

3. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

3.1	Lämpötila ja lumi.....	33
3.2	Sade.....	33
3.3	Meriveden pinnan korkeus.....	33

LIITE	Ilmastollisia perustietoja.....	34
-------	---------------------------------	----

1. Kuvaus pääkaupunkiseudun ilmastosta

1.1 YLEISTÄ UUDENMAAN ILMASTOSTA

Ilmastollisesti suuri osa Uuttamaata on eteläboreaalista luonnonvyöhykettä, mutta maakunnan eteläisin osa kuuluu ns. hemiboreaalseen eli tammivyöhykkeeseen. Tämän vyöhykkeen pohjoisreuna kulkee Lohjanjärveltä itäkaakkoon. Koko Uudenmaan alue kuuluu peräti neljään eri kasvien menestykselliseen vyöhykkeeseen. Hankoniemen seutu on edullisinta laavyöhykettä, lounaisvyöhyke ulottuu Sattuniemi-Helsinki-linjalle asti, sen pohjoispuolinen alue on II vyöhykettä ja aivan koillisrajalla (Mäntsälä-Lapinjärvi-akseli) ollaan jo III vyöhykkeellä (Kersalo ja Pirinen, 2009).

Suurin Uudenmaan ilmastoon vaikuttava tekijä on läheinen Suomenlahti, joka viilentää rannikkoseutuja keväällä ja alkuksella, syksyllä ja alkutalvella lämmittää. Yleisesti ottaen meren vaikutus pienenee lounaasta sisämaahan siirryttäessä, mutta vaikutus tuntuu koko maakunnan alueella. Myös maaston kohoamisella rannikolta sisämaahan on huomattava vaikutus sateisiin ja talvisiin lumiolosuhteisiin. Kaakon ja etelän välisillä tuuilla talviajan (loka-huhtikuu) sademäärä on korkeimmilla seuduilla jopa 1,5-kertainen rannikkoseutuihin verrattuna. Erityisesti Lohjanharju ympäristöineen on oma ilmastollinen erikoisalueensa. Uudenmaan pohjoisimmat osat ovat Salpausselän vaikutuspiirissä.

Vuoden keskilämpötila vaihtelee Hangon saariston noin +6 ja pohjoisimpien osien runsaan +4 °C välillä. Kylmin kuukausi on tavallisimmin helmikuu, jolloin keskilämpö vaihtelee siten, että se on Hangon seudulla noin 4, muualla rannikolla noin 5 ja kauempana sisämaassa lähes 7 °C. Heinäkuun keskilämpötila on laajoilla alueilla maakuntaa 16,5-17,0 °C, mutta rannikolla on hieman viileämpää kuin sisämaassa.

Vuotuinen sademäärä kohoaa useimmiten yli 600 mm:n, läntisellä Uudellamaalla jopa vähän yli 700 mm:n. Lohjanharju ja Nuuskion ylänköalue ovat keskimäärin maamme sateisinta aluetta. Kevät on tavallisesti vuoden kuivinta aikaa varsinkin rannikolla, sillä esimerkiksi toukokuun sademäärä on

TAULUKKO 1. Uudenmaan lämpötilaennätyksiä

Korkein lämpötila		Kylmin lämpötila	
Helsinki, Ilmala 18.7.1945	33,1 °C	Vihti, Maasoja 17.1.1940 ja 3.2.1966	43,1 °C
Helsinki, Ilmala 28.2.1943	11,8 °C	Espoo, Otaniemi 9.7.1975	2,8 °C

TAULUKKO 2. Uudenmaan sade-ennätyksiä

Suurin vuotuinen sademäärä	Pienin vuotuinen sademäärä	Suurin kuukausisademäärä	Suurin vuorokausisademäärä
Espoon Nupuri 1981, 1109 mm	Hanko Russarö 1959, 287 mm	Kärkölä heinäkuu 1970, 249 mm	Espoo Lahus 21.7.1944, 198 mm

30-35 mm. Elokuu on sateisin kuukausi noin 80 millimetrin sateillaan. Kuitenkin etenkin rannikolla myös loka- tai marraskuu on varsin sateinen (70-80 mm). Matalapainetoiminta ja lämmin meri yhdessä ovat syinä tähän. Niinpä syys (syysmarraskuu) on rannikoilla kesää (kesä-elokuu) sateisempi.

1.2 LÄMPÖTILAT

Uudenmaan lämpötilat ovat rannikolla ja sisämaassa erilaiset. Vertailukauden 1971-2000 havaintotietojen (Drebs ym. 2002) mukaan vuoden kylmimmän ja lämpimmän kalerikeruukauden keskilämpötilojen ero on Helsingin Kaisaniemessä 22 °C ja Hyvinkäällä noin 23 °C. Vuotuisten ääriämpötilojen ero on puolestaan Helsingin Kaisaniemessä 65 °C ja Hyvinkäällä 70 °C luokkaa.

Pääkaupunkiseudun mitattu kylmyysennätys vuoden 1959 jälkeen on 37,7 °C (Vantaan Tammisto 31.1.1967). Eri kuukausista voidaan mainita, että helmikuun koko maan lämpöennätys 11,8 °C mitattiin Helsingin Ilmalassa vuonna 1943 ja maaliskuun ennätys 17,5 °C vuonna 2007 Helsinki-Vantaan lentokentällä (taulukko 1). Myös toukokuun koko maan ylin lämpötila 31,0 °C havaittiin Lapinjärvellä vuonna 1995 ja lokakuun ylin lämpötila 19,4 °C Helsingin Malmilla vuonna 1985.

Uudeltamaalta löytyy hallanarkoja paikkoja jopa yllättävän läheltä rannikkoa. Espoon Otaniemessä oli alin maanpinta lämpötila 2,8 °C ja Pernajassa 2,7 °C 9.7.1975. Yleisesti ottaen halla on sisämaan muutamia seutuja lukuun ottamatta heinä- ja elokuussa peräti harvinainen ilmiö. Vuosina 1971-2000 esimerkiksi Helsinki-Kaisaniemessä ja Lohja-Porlassa (lämpöoloiltaan hyvin suotuisa paikka Lohja-järven läheisyydessä) ei ole ollut keskimäärin yhtään halla-öitä kesä-elokuun aikana, kun taas Vihti-Maaojassa niitä on jopa 9 kpl, näistä tosin vain yksi heinäkuussa. Hellepäiviä puolestaan esiintyy touko-elokuun aikana Kaisaniemessä keskimäärin 7 ja Helsinki-Vantaalla 14.

1.3 SATEET

Sateiden suhteen Uusimaa pitää hallussaan useita Suomen ennätyksiä (taulukko 2). Maininnanarvoisin lienee koko maan suurin yhden vuoden aikana mitattu sademäärä 1109 mm, Espoon Nupurissa v.1981. Yli 1000 millimetrin on päästy myös v. 1944, kun Lohjan Porlassa satoi 1056 mm ja Kirkkonummen Pikkalassa 1051 mm. Itä-Uudellamaan suurin lukema 986 mm on peräisin Loviisasta vuodelta 1904. Kaisaniemen sateisin vuosi on ollut 1974, jolloin sadetta saatiin 880 mm. Pienimmät vuosisateet on tilastojen mukaan havaittu rannikolla. Tiettävästi kuivin vuosi on ollut 1959 Hangon Russarössä, jolloin sadetta kertyi ainoastaan 287 mm. Helsingin Ilosaareissa satoi vuonna 2002 294 mm. Nämä ovatkin ainoat 300 mm:n alitukset. Myös Kaisaniemessä oli vuosi tasolla kuivinta vuonna 2002 sademäärän jäädessä täpärästi alle 400 milliin (399 mm).

Sateisin kuukausi on ollut vuoden 1970 heinäkuu Nummi-Pusulan Kärkölässä, kun sadetta kertyi 249 mm. Seuraavina tilastossa tulevat Hyvinkään Mutilan 245 mm heinäkuussa 2004 ja Vihdin Hiiskulan 228 mm lokakuussa 2006. Eri kuukausien "Suomen ennätyksiä" ovat helmikuun 119 mm vuonna 1990 Pohjankurussa, lokakuun Vihdin Hiiskulan lukema, marraskuun 223 mm Tuusulan Ruotsinkylässä vuonna 1996 sekä joulukuun 159 mm Pohjankurussa vuonna 1974.

Myös vuorokauden suurin maassamme mitattu sademäärä on Uudeltamaalta, sillä 21. heinäkuuta 1944 Espoon Lahuksessa vettä ryöpytti 198 mm. Tunnettu on kaatosade 25.7.1960, jolloin satoi muutamassa tunnissa Lapinjärvellä 90 mm ja Helsingin Ilmalassa 88 mm. Kaisaniemen ennätys 79,3 mm on mitattu 24.7.1993.

Sateisin kuukausi on ollut vuoden 1970 heinäkuu Nummi-Pusulan Kärkölässä, kun sadetta kertyi 249 mm. Seuraavina tilastossa tulevat Hyvinkään Mutilan 245 mm heinäkuussa 2004 ja Vihdin Hiiskulan 228 mm lokakuussa 2006. Eri kuukausien "Suomen ennätyksiä" ovat helmikuun 119 mm vuonna 1990 Pohjankurussa, lokakuun Vihdin Hiiskulan lukema,

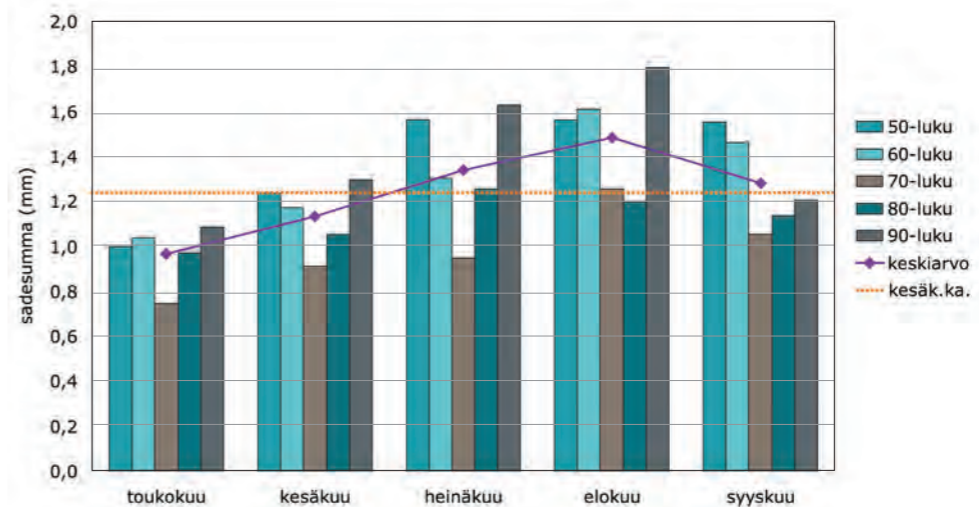
marraskuun 223 mm Tuusulan Ruotsinkylässä vuonna 1996 sekä joulukuun 159 mm Pohjankurussa vuonna 1974.

Myös vuorokauden suurin maassamme mitattu sademäärä on Uudeltamaalta, sillä 21. heinäkuuta 1944 Espoon Lahuksessa vettä ryöpytti 198 mm. Tunnettu on kaatosade 25.7.1960, jolloin satoi muutamassa tunnissa Lapinjärvellä 90 mm ja Helsingin Ilmalassa 88 mm. Kaisaniemen ennätys 79,3 mm on mitattu 24.7.1993.

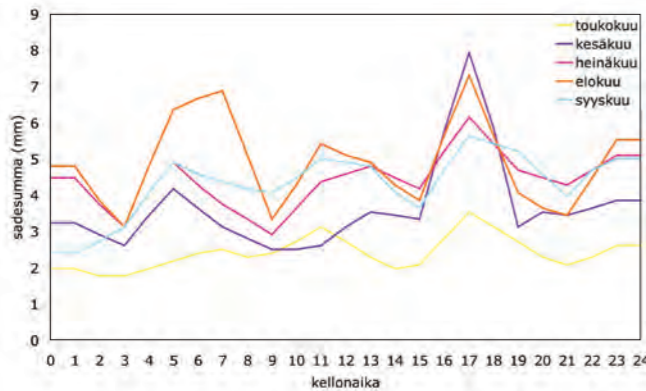
1.3.1 KESÄSATEIDEN ILMASTOLLISIA PIIRTEITÄ

Useiden vuosikymmenien ajan on Suomessa muutamilla mittausasemilla mitattu sadetta tavallisten sadekeräysastioiden lisäksi myös piirtävillä sademittareilla. Piirtävä sademittari rekisteröi sateen intensiteettiä jatkuvasti, mikä mahdollistaa myös sateen lyhytaikaisten vaihteluiden ja erillisten sadetapahtumien tutkimisen. Pitkää kaisesta aineistosta on mahdollista saada edustava kuva mittauspaikan sateen ilmastollisista piirteistä. Helsingin kesäsateiden ilmastollisia piirteitä tutkittiin Helsingin Kaisaniemen mittausaseman piirtävän sademittarin tuottamasta aineistosta 50 vuoden ajalta (1951-2000) (Kilpeläinen, 2006; Kilpeläinen et al. 2008). Ilmastollisissa piirteissä havaittiin huomattavia eroja eri kesäkuukausien välillä.

Toukokuussa sademäärä on Helsingin Kaisaniemen mittausasemalla selvästi pienempi kuin muina kesäkuukausina. Toukokuun sateet kestävät yhteensä noin 25 tuntia. Sadetapahtumat ovat toukokuussa suhteellisen pitkäkestoisia, koska kylmä meri ja viileä ilma vähentävät kuorolunteisten sateiden osuutta ja matalapaineisiin liittyvät rintamasateet hallitsevat sadantaa. Sateettomat jaksot kestävät keskimäärin 32 tuntia kerrallaan. Sadetapahtumien sadesummat ovat pieniä (kuva 1) ja myös sateen keskimääräinen intensiteetti on pieni, 0,014 mm/min. Todennäköisintä sade on toukokuussa klo 04-10 ja 16-22. Viileän meren johdosta sadesumma ja sateen intensiteetti eivät vaihtelee vuorokauden kuluessa paljon. Suurimmat sadesummat kertyvät klo 10-12 ja 16-18 (kuva 2). Sateen intensiteetti on kuitenkin suurin kello 08-10. Suurimmat sadesummat ja -nten



KUVU 1. Yksittäisten sadetapahtumien keskimääräinen sadesumma eri kesäkuukausina ja vuosikymmeninä Helsingin Kaisaniemessä (Kilpeläinen 2006). Punainen viiva kuvaa kuukausikeskiarvoa, turkoosilla viivalla on esitetty kaikkien kesäkuukausien keskiarvo 50 vuoden ajalta.



KUVA 2. Sateen vuorokausivaihtelu Helsinki-Vantaan havaintoasemalla kesäkuukausina (Kilpeläinen 2006). Vaaka-akselilla on kellonaika, pystyakselilla kahden tunnin sadesumma.

sateet ajoittuvat eri kellonajoille, mikä tarkoittaa, että intensiteetiltään voimakkaimmat sateet ovat usein lyhytkestoisia ja suurimmat sadesummat kertyvät pidempikestoisissa sateissa.

Kesäkuun sadesumma on kesäkuukausista toiseksi pienin, vaikka silloin sadepäiviä on yhtä paljon kuin heinäkuussa. Keskimäärin kesäkuun aikana sataa yhteensä noin 30 tuntia ja kerrallaan noin 60 minuuttia. Sateettomat jaksot kestävät keskimäärin 24 tuntia. Sadetapahtumien sadesummat ovat melko pieniä. Sateen keskimääräinen intensiteetti kesäkuussa, 0,019 mm/min, on selvästi toukokuuta korkeampi. Sade on todennäköisintä klo 18-20. Sadesummalla on selvä iltapäivä maksimi ja toinen pienempi maksimi klo 04-06, mutta muuten sadesumman vuorokautinen vaihtelu on pientä. Sateen intensiteetti iltapäivämaksimi ei ole suhteellisesti yhtä voimakas kuin sadesumman iltapäivämaksimi, ja intensiteetien vuorokautinen kulku on pääpiirteiltään tasaista. Rankkojen sateiden todennäköisyys kasvaa kesäkuun loppua kohden.

Heinäkuussa kuukauden sadesumma on melko suuri. Keskimäärin heinäkuun aikana sataa yhteensä noin 30 tuntia. Sade kestää kerrallaan noin 50 minuuttia, ja sateettomat jaksot kestävät noin 22 tuntia. Sadetapahtumien sadesummat ovat suurempia kuin alkukesän sateissa. Sade on todennäköisintä klo 16-20. Heinäkuussa sadesumman vuorokausivaihtelu on alkukesää suurempaa ja iltapäivällä on selvä maksimi. Suurin sadesumma kertyy klo 16-18. Sateen keskimääräinen intensiteetti on melko suuri, 0,023 mm/min. Intensiteetin vuorokausivaihtelu on melko tasaista, ja siinä ei iltapäivällä havaita selvää maksimia.

Elokuussa kuukauden sademäärä on kesäkuukausista suurin. Yksittäisessä sadetapahtumassa kertyvä sadesumma on elokuun sateissa myös kesän suurin. Elokuun aikana sataa noin 34 tuntia. Yksi sadetapahtuma kestää noin 60 minuuttia. Sateen keskimääräinen intensiteetti, 0,026 mm/min, on kesäkuukausista suurin. Sateen todennäköisyys on melko suuri läpi vuorokauden. Suurimmat sadesummat kertyvät klo 04-08 ja 16-18 (kuva 2). Konvektiiviset sadekuurot selittävät sadesumman iltapäivämaksimin, joka havaitaan myös sateen intensiteeteissä. Aamun sadesummamaksimi voi mahdollisesti

liittyä maatuuli ilmiöön. Rankimmat sateet ovat todennäköisesti elokuussa klo 12-16.

Syyskuussa sademäärä on kesäkuukausista toiseksi suurin. Syyskuun aikana sataa yhteensä noin 45 tuntia, eli sateiden osuus on selvästi suurempi kuin muina kesäkuukausina. Keskimäärin sade kestää kerrallaan 70 minuuttia ja sateeton jakso 16 tuntia. Yksittäisessä sadetapahtumassa sademäärä on yhtä suuri kuin heinäkuussa (kuva 1). Keskimääräinen intensiteetti on noin 0,019 mm/min, eli sateet eivät ole yleisesti rankkoja. Sade on kaikista todennäköisintä klo 06-08 ja 16-20. Vuorokausivaihtelu on pientä, koska konvektiivisten sateiden osuus on syyskuuhun mennessä selvästi pienentynyt. Sadesumma on kuitenkin läpi vuorokauden melko suuri, koska sade liittyy useimmiten matalapaineisiin, jotka ylittävät mittauspisteen satunnaisen vuorokauden aikaan (kuva 2). Suurimmat intensiteetit havaitaan klo 20-22. Intensiteetiltään voimakkaita sateita esiintyy syyskuussa melko harvoin.

Yhteenvetona kesäsateista voidaan sanoa, että havaintojen mukaan Helsingin Kaisaniemessä sataa touko-syyskuussa keskimäärin noin 5 % kokonaisajasta, ja yksittäisen sadetapahtuman kesto on noin 60 min. Sateettomat jaksot kestävät keskimäärin 21 tuntia. Sadetapahtuman keskimääräinen kesto on konvektiivisten sateiden myötä lyhimmillään heinäkuussa ja laaja alaisiin rintamasateisiin liittyen pisimmillään touko-kuussa sekä syyskuussa. Toukokuussa on kuitenkin vähemmän sadetapahtumia kuin syyskuussa, mikä seurauksena sateen kokonaiskesto on toukokuussa huomattavasti syyskuuta pienempi. Sadesumma ja sateen intensiteetti ovat suurimmillaan iltapäivällä ja etenkin elokuussa myös aamulla. (Kilpeläinen 2006; Kilpeläinen et al. 2008)

1.4 LUMIOLOT

Uudenmaan ilmaston merellisyys vaikuttaa oleellisesti talvisen lumipeitteen tuloon. Erityisen oleellista lumen tulo on silloin, kun merivesi on lämmintä ja samalla lounaasta liikkuu matalapaineita tuoden mukanaan lauhaa ilmaa. Tällainen tilanne on vallinnut useina viime talvina. Keskimääräisoloja tarkasteltaessa talven ensimmäinen lumipeite saadaan Hyvinkään ja Nummi-Pusulan tienoilla jo marraskuun 5. päivän tienoilla, rannikolla taas 15. 20. marraskuuta. Ero sisämaan ja rannikon välillä on parisen viikkoa. Vielä suuremmaksi ero muodostuu pysyvän lumipeitteen tulossa, sillä vastaava ero on jopa kuukauden luokkaa. Vuosina 1971-2000 tämä ajankohta oli keskimäärin Nurmijärvellä 8.12., Ruotsinpyhtäällä 15.12., Helsinki-Vantaalla 25.12., Helsingin Kaisaniemessä 30.12. ja Hangon Tvärminnessä 5. tammikuuta. Alkutilvella sopivien sääolosuhteiden vallitessa (lämmintä meri, rannikon suuntainen itätuuli) lunta voi tulla runsaasti. Esimerkiksi 20.11.2004, kun Helsingin Kaisaniemessä satoi lunta muutamassa tunnissa noin 30 cm. Melko aikainen ensimmäinen ehjä lumipeite tuli 29.10.1979, kun esimerkiksi Malmilla lunta kertyi 25 cm.

Eri talvien välillä on suuria eroja juuri alkutalven sääoloista riippuen. Ennätysleutona talvena 2007-2008 Helsingin Kaisaniemessä lumipeite pysyi maassa pisimmillään vain 9 päivää:

27.11. 5.12.2007 ja 2.3. 10.3.2008. Toisaalta pisimmillään talven lumipeite on pysynyt jopa yli 5 kuukautta. Pitkä lumitalvi koettiin v. 1995-96, kun lumi saatiin 28.11. ja se hävisi 14.4. keuhet tyään 138 päivää. Talvella 1965-66 lumipeite kesti jopa 162 pv. (15.11. 25.4.). Viime vuosisadan alussa pitkäkestoisia lumitalvia olivat mm. 1901-02, 1921-22 ja 1925-26. Keskimääräinen pysyvän lumipeitteen pituus vaihtelee Hangon noin 70 vuorokaudesta luoteisen Uudenmaan ylänköseudun n. 110 vuorokautteen.

Myös lumensyvytyt vaihtelevat Uudellamaalla suuresti lumitalven tyypistä riippuen. Suuri lumensyvyys, 106 cm, mitattiin 29.3.1966 Lohjan Porlassa. Tuusulan Ruotsinkylässä oli 3. 4.4.1970 lunta 105 cm ja itäisellä Uudellamaalla Lapinjärven Ingermanninkylässä 100 cm 9.2.1984.

Kauempaa menneisyydestä löytyy vielä suurempia lukemia. Kaisaniemen suurin lumensyvyys 109 cm mitattiin 23. maaliskuuta 1941, jolloin kahden päivän lumipyry antoi lunta 55 cm. Erittäin luminen on ollut talvi 1899-1900, jolloin Lohjanharjulla oli maaliskuun lopulla lunta jopa noin 140 cm. Tarkkoja arvoja tuolta ajalta ei ole juurikaan käytettävissä; Kaisaniemen suurin arvo oli kuitenkin tuona talvena 88 cm. Vähälumisina talvina lumensyvytyt jäävät etenkin rannikolla jopa alle 20 cm:n. Keskimäärin lunta on runsaimmillaan maaliskuun alkupuolella, jolloin lumensyvyys vaihtelee Hankoniemen noin 20 cm:stä Lohjanharjun lähes 40 cm:iin. Pysyvä lumipeite katoaa Hangon seudulla keskimäärin 25.3. tienoilla, pääkaupunkiseudulla maaliskuun huhtikuun vaihteessa ja luoteisilla ylänköseuduilla huhtikuun 10. päivän vaiheilla.

1.5 TERMISET VUODENAJAT JA KASVUKAUSI

Suomenlahden vaikutus Uudenmaan lämpöoloihin näkyy myös ns. termisissä vuodenaajoissa, eniten talven tulossa. Terminen syksy alkaa maakunnan pohjoisosassa jo hieman ennen syyskuun puoliväliä, mutta rannikolla ja saaristossa vasta syyskuun 20. ja 25. päivän välillä. Vuorokauden keskilämpötila painuu pysyvämmin pakkasen puolelle, ts. termien talvi alkaa Lapinjärveltä Nummi-Pusulaan ulottuvalla alueella 15.11. tienoilla, rannikolla ja sisäsaaristossa 20. 25.11., mutta Hankoniemellä ja ulkosaaristossa vasta joulukuun alkupäivinä. Syksystä muodostuu näin ollen kauimpana lounaassa jopa yli kahden kuukauden mittainen. Toisinaan, kuten vuosina 1993, 2005 ja 2007, talven tulo venyy aina tammikuun puolivälin tienoille saakka. Toisaalta esimerkiksi vuonna 2002 talvi tuli sisämaahan jo loka-kuun puolivälissä ja rannikollekin loka-marraskuun vaihteessa.

Terminen kevät saapuu suurimpaan osaan maakuntaa maaliskuun loppupäivinä, pohjoisimmassa osassa maaliskuun huhtikuun vaihteessa. Terminen kesä puolestaan alkaa sisämaan lämpimillä paikoilla jo heti toukokuun puolivälin jälkeen, rannikolla ja saaristossa 20. 25. toukokuuta. Kylmänä pysyvä merivesi hidastaa kesän tuloa, ja alkukesällä ajoittain puhaltava merituuli pitää rannikkoseudut viileinä, kun kauempana sisämaassa ollaan jo kesäisissä oloissa.

Terminen kasvukausi alkaa sisämaassa huhtikuun loppupäivinä, mutta rannikolla ja saaristossa vasta toukokuun alku-päivinä, mikä johtuu kylmästä ja osittain vielä jääpeitteisestä merestä. Terminen kasvukauden päättymiseen meren lämmöllä on taas huomattava hidastava vaikutus, sillä maakunnan pohjoisrajalla vuorokauden keskilämpötilan 5 °C raja arvo alittuu keskimäärin 15.10. ja ulkosaaristossa vasta 25.10. jälkeen. Niinpä terminen kasvukausi on rannikkoseuduilla hieman pitempi kuin sisämaassa. Tehoisan lämpötilan summa on vertailukaudella 1971-2000 keskimäärin 1 250 1 350 °C vrk, mutta nousi vuoden 2006 poikkeuksellisen suotuisana kesänä paikoin yli 1 750 °C vrk:een.

TAULUKKO 3. Termisten vuodenaikojen keskimääräiset alkuaikojen kohdat

Paikka	Kevät	Kesä	Syksy	Talvi
Helsinki-Vantaan lentoasema	25.3.	17.5.	4.9.	6.11.
Helsingin Kaisaniemi	23.3.	18.5.	24.9.	21.11.

2. Ilmastonmuutos pääkaupunkiseudulla

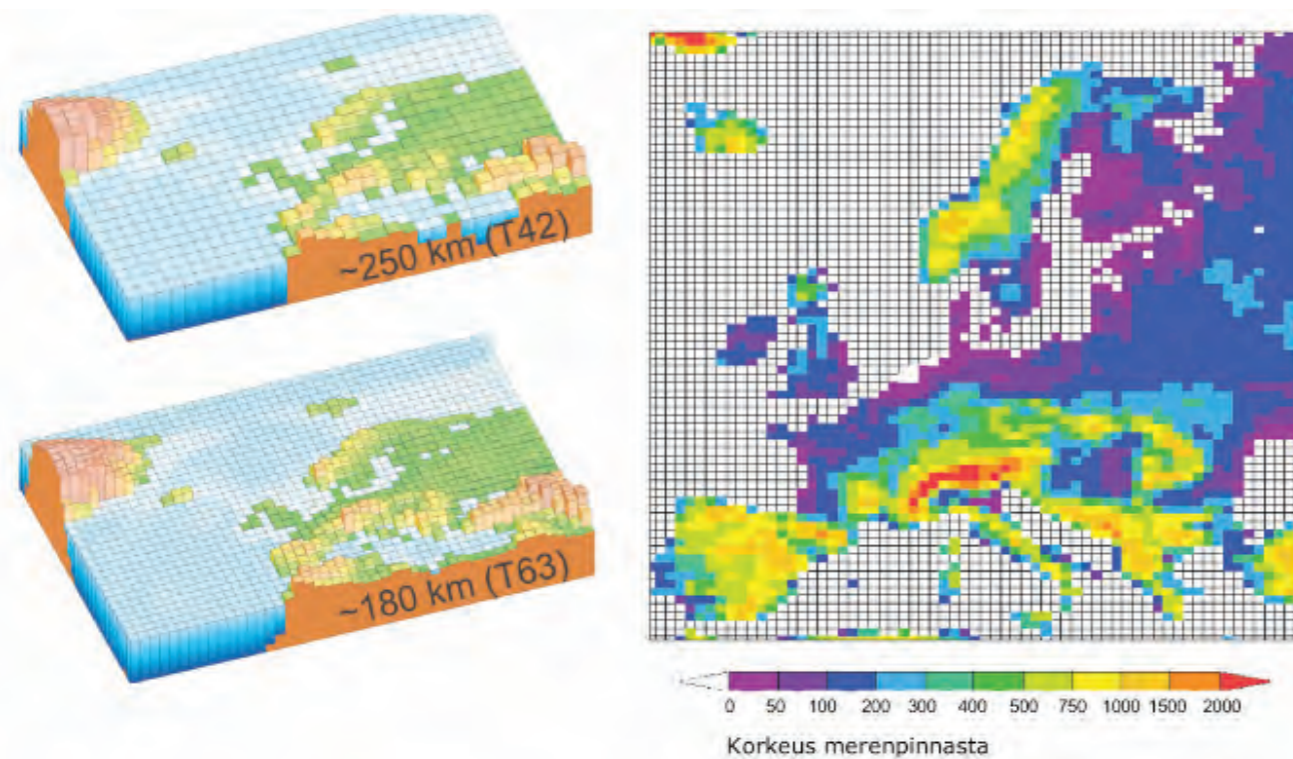
Ihmiskunnan toiminta muuttaa planeettamme ilmahan koostumusta. Kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, pitoisuus ilmakehässä on nousussa. Kasvihuonekaasujen lisääntyminen näkyy jo ilmastossa. Hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) mukaan ilmaston lämpeneminen on kiistatonta. Havainnot osoittavat, että maapallon keskilämpötila on noussut ja valtameret lämmenneet, lumen ja jään sulaminen kiihtynyt ja merenpinta noussut.

2.1 ILMASTOMALLIT JA -SKENAARIOT

Ilmastomalli rakentuu puhtaasti maapallon ilmastoa säätelevien fysiikan lakien pohjalta, joita mallin laskentaan käytettävää tietokoneohjelmaa laadittaessa kylläkin täytyy yksinkertaistaa. Ilmaston mallittamisessa ei siten ole kysymys tulevaisuuden ennustamisesta tilastollisella keinolla ilmaston tähänastisten havaintujen vaihtelujen perusteella. Malleissa ilmahan, meren ja maanpinnan tila kuvataan tasavälein sijaitsevilla ns. hilapisteillä. Kussakin hilapisteessä voidaan laskea mallin yhtälöitten avulla kullekin suurelle muutosnopeus ajan suhteen. Tämä riippuu eri suureitten arvoista kyseisessä hilapisteessä ja naapuripisteissä.

Epävarmuutta ilmastonmuutosennusteissa aiheuttavat ilmaston luonnollinen vaihtelu, epävarmuus kasvihuonekaasujen tulevien päästöjen määrästä sekä itse mallien yksinkertaistukset, esimerkiksi puutteet mallien erotuskyvyssä. Tietokoneitten suorituskyky asettaa rajansa sille, kuinka paljon hilapisteitä malliin voidaan ottaa mukaan. Tällä hetkellä useimmissa maailmanlaajuisissa ilmastomalleissa hilapisteitten välimatka on vaakasuunnassa n. 200 km, pystysuunnassa yhden kilometrin luokkaa. On selvää, että tällaisella erotuskyvyllä ei pystytä tutkimaan ilmastossa tapahtuvia muutoksia esimerkiksi Suomessa tietyn maakunnan sisällä. Maailmanlaajuisien ilmastomallien lisäksi käytössä on myös alueellisia ilmastomalleja, joiden avulla mallinnetaan jonkin tietyn maantieteellisen alueen ilmastoa. Näissä alueellisissa malleissa hilapisteiden välimatka lyhenee huomattavasti ollen 25-50 km (kuva 3). Tulevaisuudessa tietokoneitten suorituskyvyn kasvaessa mallien laskentatarkkuutta voidaan entisestään parantaa.

Malliajo etenee askel kerrallaan. Kun alkutilaa vastaavat hilapistearvot on annettu, mallin yhtälöitten avulla voidaan laskea eri suureille muutosnopeudet kussakin hilapisteessä. Lisäämällä



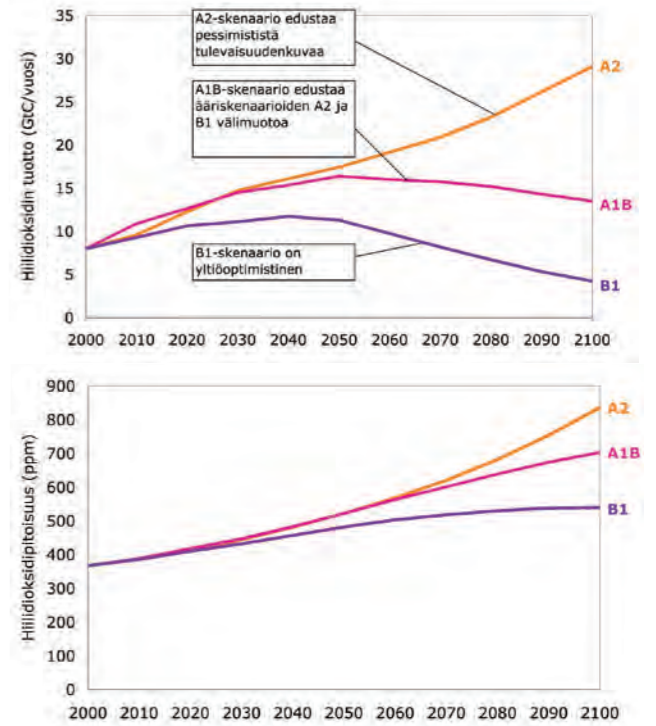
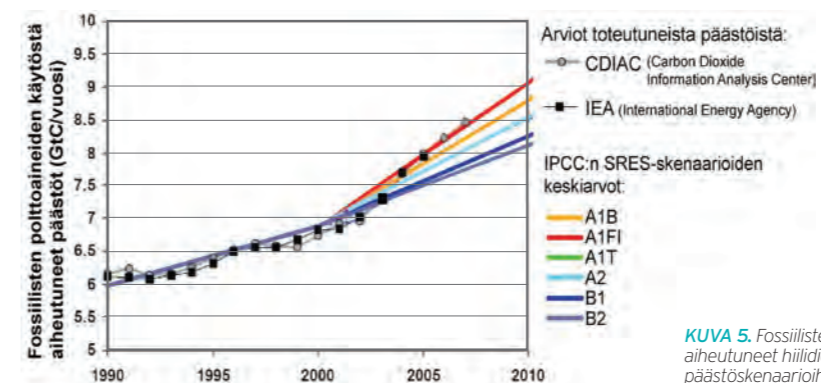
KUVA 3. Useimpien globaalien ilmastomallien (kuva vasemmalla) erotuskyky tänä päivänä on noin 200 km luokkaa. Maapallonlaajuiset ilmastomallit ovat kehittyneet, mutta usein niiden tuloksia on välttämätöntä tarkentaa alueellisilla ilmastomalleilla, joissa (kuva oikealla) laskentaväli on 25-50 km.

lasketut muutokset alkutilaan voidaan laatia lyhyt, esimerkiksi 20 minuutin mittainen "ennustus". Tälle uudelle ennustetulle tilalle voidaan jälleen laskea muutosnopeudet, jolloin saadaan uusi ennuste jälleen yksi askel eteenpäin. Laskemista toistetaan aika askel kerrallaan. Näin voidaan simuloida järjestelmän kehitystä tunnista, päivästä ja vuodesta toiseen.

Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen sekä pienhiukkasten pitoisuuksien annetaan kasvaa vastaavalla tavalla malliajon alkuhetkestä (esim. vuodesta 1800 lähtien) aina nykyhetkeen asti. Nykyhetkestä eteenpäin kaasujen pitoisuudet voidaan ottaa skenaariosta. Nykyisin ilmastomallien pohjana käytetään yleisesti IPCC:n SRES kasvihuonekaasuskenaarioita (lyhenne SRES viittaa IPCC:n (2000) päästöskenaarioreporttiin "Special Report on Emission Scenarios"). SRES skenaariot voidaan jakaa kahteen ryhmään: kulutusyhteiskuntaskenaariot (A skenaariot) ja kestävä kehitys skenaariot (B skenaariot). Malliajoissa on eniten käytetty näistä skenaarioista kolmea:

- Pessimistisen A2 skenaarion kuvaamassa maailmassa teollisuus ja kehitysmaiden tulo ja kehityserot säilyvät suurina. Tällöin väestönkasvu jatkuu kehitysmaissa nopeana ja maapallon väkiluku kasvaa räjähdysmäisesti. Myös siirtyminen fossiilista polttoaineista päästöttömiin energianlähteisiin on hidasta.
- Yhtiöoptimistisen B1 skenaarion toteutuessa oletetaan teollisuus ja kehitysmaiden hyvinvointierojen tasaantuvan, mikä saa väestönkasvuun talttumaa kehitysmaissakin. Kestävä kehitys on arvossaan, ja ympäristölle ystävällisen teknologian kehittämisen ja käyttöönotto on nopeaa.
- A1B skenaario edustaa näitten kahden ääripään välimuotoa.

Skenaarioiden erot päästöjen kehityksessä ovat suuria (kuva 4). A2 skenaarion toteutuessa sekä hiilidioksidin että metaanin päästöt suurin piirtein kolminkertaistuvat tämän vuositodan aikana, ja ovat selvässä kasvussa vielä vuoden 2100 tienoillakin. Kahdessa muussa skenaariossa päästömäärät kääntyvät laskuun vuositodan puoliväliä lähestyttäessä. B1 skenaariossa pudotus on voimakkaampaa. Tämän skenaarion toteutuessa hiilidioksidipäästöt olisivat vuositodan lopussa enää puolet vuoden 2000 määrästä. Metaanin päästöt olisivat puolet kolmanneksella. CDIAC:n (Carbon Dioxide Information Analysis Center) sekä BP:n julkaisemien tutkimustulosten perusteella maailmanlaajuiset hiilidioksidipäästöt olivat vuosina



KUVA 4. Ihmiskunnan hiilidioksidipäästöjen (vasemmalla) ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden (oikealla) kehitys kolmen SRES-skenaariota mukaan.

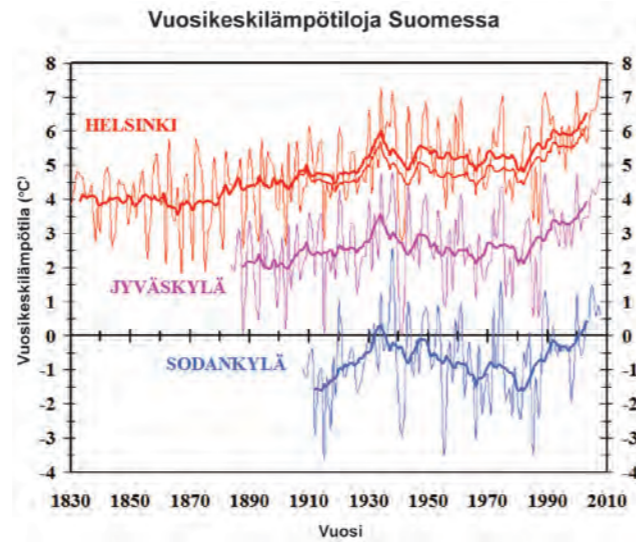
2006, 2007 ja 2008 kuitenkin yhtä suureksi tai jopa hieman suuremmiksi kuin IPCC:n suurimpien päästöjen A1FI skenaariossa (Allison ym. 2009, kuva 5).

Ilmakehän katoittisen luonteen vuoksi sääolosuhteet vaihtelevat vuodesta toiseen varsin paljon. Jonkun yksittäisen vuoden sääolosuhteet eivät siis anna kestävästi paikkakunnan ilmastosta, vaan sitä varten on tarkasteltava pitempiä aikoja keskiarvoa. Käytännössä ilmastotilastot lasketaan 30 vuoden säätilastoista ja niitä verrataan ilmastomallien tuloksista laskettuun 30 vuoden keskiarvoon. Ilmastomallin kyky kuvata menneitä ilmastovaihteluita ei kuitenkaan ole koko totuus sen kyvystä ennustaa tulevaa ilmastoa, sillä odotettavissa oleva ilmastomuutos vie maapallon ilmaston tilaan, jollaisesta meillä ei välttämättä ole havaintoja. Ilmastonmuutosennusteiden epävarmuuden mittana käytetään usein ilmastomuutoksen vaihtelua eri mallien välillä.

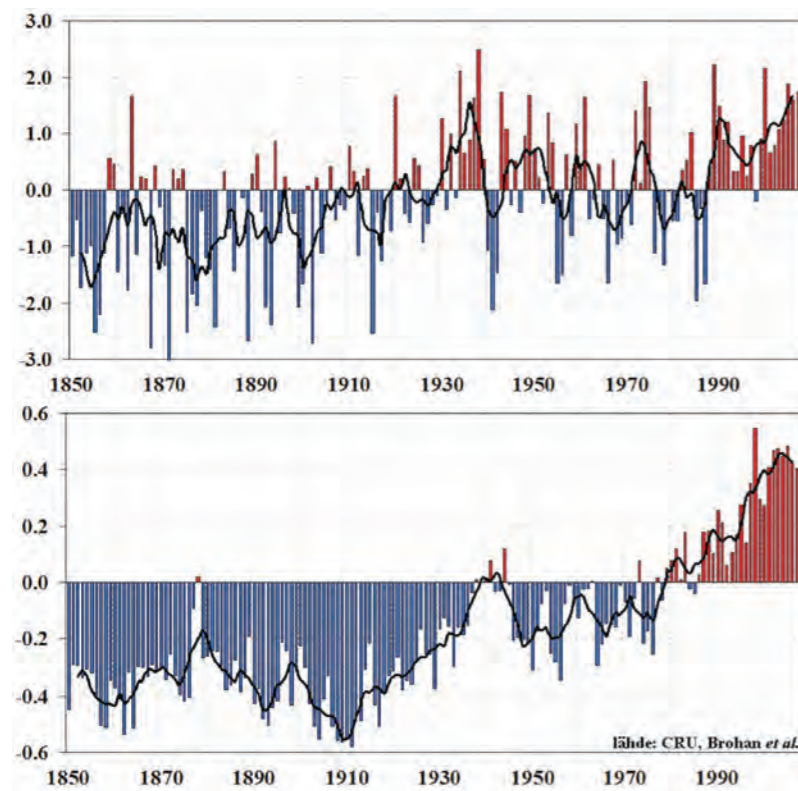
KUVA 5. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja sementin valmistuksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt: toteutuneet päästöt verrattuna IPCC:n päästöskenaarioihin (Allison ym. 2009).

Pitkät havaintosarjat kuvaavat hyvin ilmastomme voimakasta luontaista vaihtelua (kuvat 6-7). Ilmastomallien tuloksia tulkit taessa tulee tarkastella kymmenien vuosien aikakeskiarvoja, ei esimerkiksi jonkun tietyn vuoden keskilämpötilaa. Vaikka vuotuinen vaihtelu ei näy vuosikymmenten tasoitetuissa keski arvoissa, on hyvä muistaa, että vaihtelu tulee kuulumaan ilmas toomme myös jatkossa.

Tietokoneilla lasketuissa ilmastomuutosennusteissa epävar muutta aiheuttavat siis ilmaston luonnollinen vaihtelu, epävar muus tulevaisuuden päästöjen määrästä sekä itse mallien yksinkertaistukset. Puutteistaan huolimatta mallit ovat osoitta neet, että tiettyjä ilmiöitä niillä voidaan ennustaa. Jo IPCC:n ensimmäisessä arviointiraportissa (Houghton et al. 1990) esi tettiin mallilaskelmia Arktisen alueen voimakkaasta lämpene misestä, ja 1990 luvun alun jälkeen ilmastomallit ovat entises tään kehittyneet ja tarkentuneet. Arviot ilmastomuutoksesta muuttuvat sitä epävarmemmiksi, mitä pidemmälle tulevai suuteen ennustetaan ja mitä pienempään mittakaavaan (es m. yksittäiseen maakuntaan) arviot tehdään. Ennusteisiin liittyvän epävarmuuden esille tuomiseksi ilmastomuutosennusteiden yhteydessä yleensä mainitaan, poikkeavatko tulokset suuresti eri mallista toiseen. Lisäksi voidaan tuoda esille usean eri mallin tulokset ja näistä lasketut keskiarvot sekä ylä- ja alarajat. Esi merkiksi maapallon keskilämpötilan nousun ennuste kuluvalle vuosisadalle vaihtelee eri malleilla ja päästöskenaarioilla las kettaessa 1,1 °C:sta (alaraja B1 skenaariolle) 6,4 °C:seen (yläraja A1FI skenaariolle).



KUVA 6. Vuosiskeskilämpötilat Helsingin Kaisaniemessä vuosilta 1830-2009, Jyväskylästä 1884-2009 ja Sodankylästä 1908-2009. Vuotuiset arvot ovat ohuella viivalla ja kymmenen vuoden liukuva keskiarvo paksulla. Helsingin lämpötiloista mukana myös arvio siitä, miten paljon kaupungistuminen on kohoittanut lämpötilaa (kymmenen vuoden liukuva keskiarvo, keskijaksu viiva).



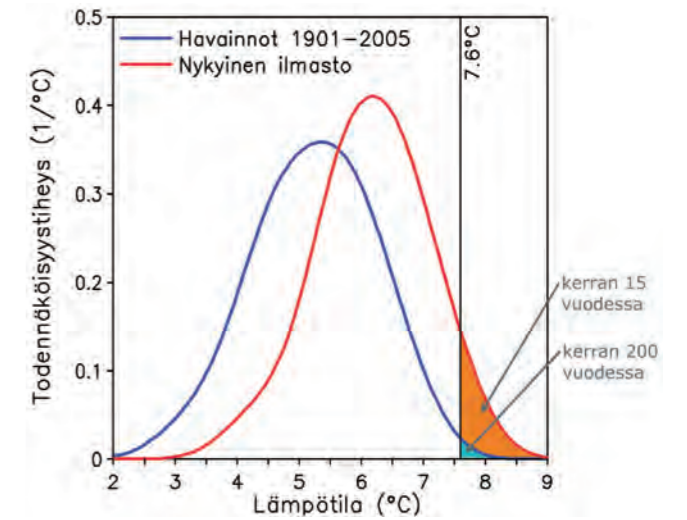
KUVA 7. Suomen vuosiskeskilämpötilan poikkeamat jakson 1971-2000 keskiarvosta (°C), vuosina 1847-2009. Kymmenen vuoden liukuva keskiarvo on esitetty mustalla käyrällä. Suomen keskilämpötila oli noin 1,9 °C jaksolla 1971-2000.

2.2 ÄÄRI-ILMIÖT JA VAIHTELEVUUS

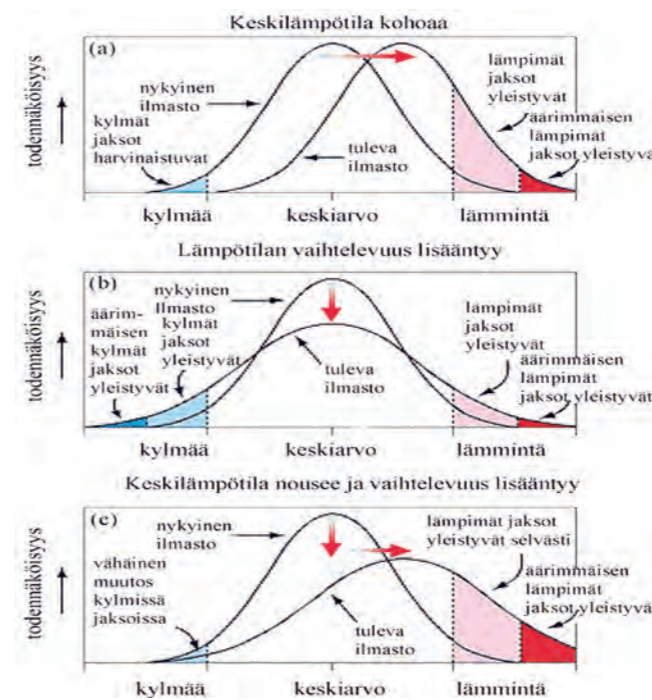
Ilmastollisen suureen, kuten tietyn alueen tai paikkakunnan keski lämpötilan vuosien välistä vaihtelua voidaan kuvata todennäköi syysjakaumalla. **Kuvassa 8** on kuvattu sinisellä käyrällä vuosi keskilämpötilan todennäköisyysjakauma Helsingissä vuosien 1901-2005 havaintojen mukaan. Keskilämpötilan ääriarvojen hyv n kylmien ja hyvin korkeiden keskilämpötilojen esi nymistä kuvaavat todennäköisyysjakauman ääripäät ("hännät").

Ääriarvojen yhteydessä käytetään usein termejä toistuvuus aika ja toistuvuus taso. Toistuvuus aika on ilmiön käänteinen todennä köisyys, ja se kuvaa aikaa, jonka kuluessa ilmiön odotetaan esiin tyvän keskimäär n kerran. Toistumistaso kertoo ilmastollisen suureen arvon, joka keskimäär n ylittyy tai alittuu kerran määrä tyssä toistumisajassa. **Kuvan 8** havainto hin perustuvan toden näköisyysjakauman (sininen käyrä) perusteella Helsingin vuosi keskilämpötila on korkeampi tai yhtäsuuri kuin +7,6 °C (toistumistaso) kerran 200 vuodessa (toistuvuus aika).

Ilmaston muuttuessa myös vuosien välistä vaihtelua kuvaavat todennäköisyysjakaumat muuttuvat, mikä vaikuttaa myös ääri ilmiöiden esiintymiseen. Ilmaston vaihtelevuudessa ja ääri ilmiöissä tapahtuvien muutosten ymmärtämistä hankaloittaa keskiarvon ja keskihajonnan muutosten vuorovaikutus. Vuoro vaikutuksen luonne vaihtelee muuttujasta toiseen, riippuen kun k n muuttujan tilastollisesta jakaumasta. Es merk ksi lämpötilojen jakauma muistuttaa usein normaalijakaumaa, jossa jakauman muutos ajan myötä voi johtua keskiarvon tai keskijajonnan muutoksista. Muuttua voivat jakauman keskiarvo tai keskijajonta tai molemmat.



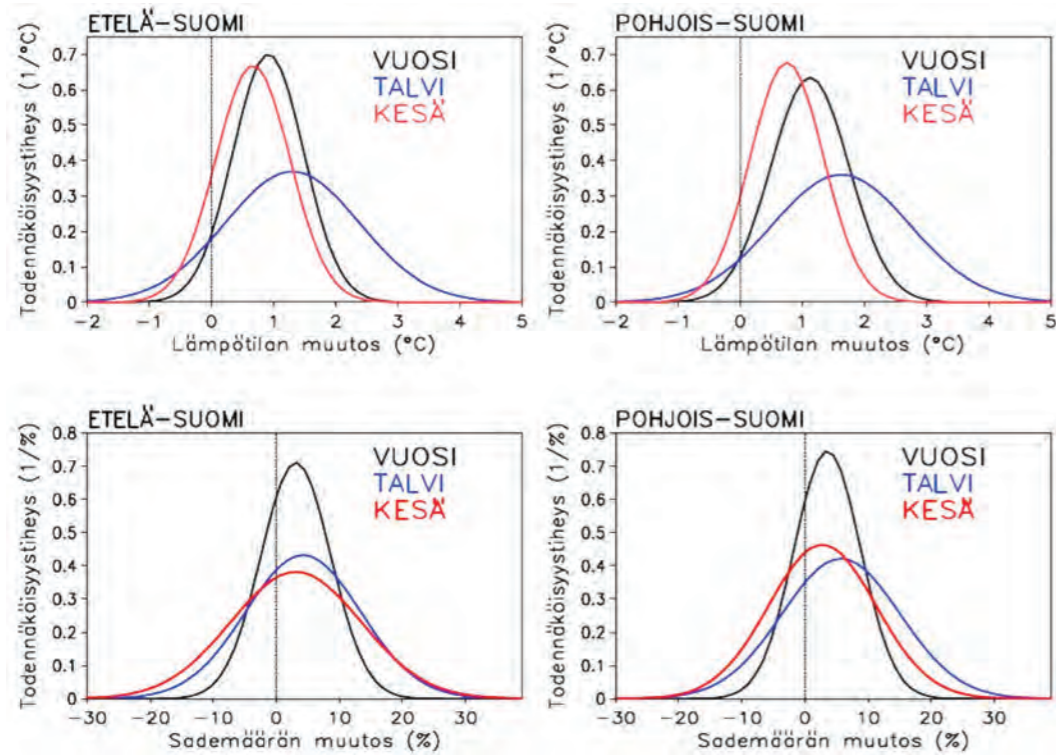
KUVA 8. Vuosiskeskilämpötilan todennäköisyysjakauma Helsingissä vuosien 1901-2005 havaintojen mukaan (sininen käyrä) sekä ilmastomallien tulosten avulla arvioitu nykyistä ilmastoa kuvaava jakauma (punainen käyrä). Vuoden 2008 havaittu keskilämpötila (+7,6 °C) on merkitty kuvaan pystyviivalla (Räsänen 2009).



KUVA 9. Sään ääri-ilmiöiden esiintyminen muuttuu sääsuureen keskiarvon ja vaihtelevuuden muuttuessa.

Kuva 9 havainnollistaa a) keskilämpötilan kohoamisen, b) hajonnan kasvun ja c) sekä keskilämpötilan kohoamisen että hajonnan kasvun yhteistä vaikutusta korkeitten/alhaisten lämpötilojen esiintymiseen. Mikäli vain (**kuten kuvassa 9a**) keskiarvo muuttuu, ei vahteluväli kuumimpien ja kylmimpien lämpötilojen välillä muutu. Mikäli vain hajonta kasvaa (**kuvassa 9b**), silloin sekä hyvin kuumien että hyvin kylmien ääriarvojen todennäköisyys kasvaa, mutta keskiarvossa ei tapahdu muutosta. Keskiarvon ja keskihajonnan samanaikainen kasvu (**kuvassa 9c**) vaikuttaa kuumien ja kylmien ääriarvojen todennäköisyyteen siten, että korkeat ääriämpötilat yleistyvät suhteessa enemmän kuin alhaiset lämpötilat harvinaistuvat. Vaikka havaintojen perusteella ääri arvoissa olisi nähtävissä muutoksia, on usein epävarmaa, johtuvatko muutokset keskiarvon, keskihajonnan vai kummankin muutoksista.

Kuvassa 10 on esitetty ennusteita lämpötilan ja sademäärän ja kaumiennustamisesta Suomessa vuosina 2011-2020 (Ruokola ja Räsänen 2007). Lämpötilan osalta suurimmat muutokset ovat odotettavissa talvilämpötiloissa: äärimmäisen kylmien jaksosten ennustetaan vähenevän ja tavanomaista lämpimämpien jaksosten ennustetaan lisääntyvän. **Kuvassa 8** on esitetty vuosiskeskilämpötilan todennäköisyysjakauma Helsingissä vuosien 1901-2005 havaintojen mukaan (sininen käyrä) sekä ilmastomallien



KUVA 10. Todennäköisyysjakaumien muutos Suomessa. Ennustettu muutos lämpötilan ja sademäärän jakaumissa 2011-2020 (Ruokolainen ja Räisänen 2007).

lien tulosten avulla arvioitu nykyistä ilmastoa kuvaava jakauma (puna nen käyrä). Vuoden 2008 havaittu keskilämpötila (+7,6 °C) on merkitty kuvaan pystyviivalla. Ilmastomallien tulosten perusteella nykyilmastossa vuoden keskilämpötila olisi +7,6 °C tai sen yli kerran 15 vuodessa, kun vuosien 1901-2005 lämpötilojen tilastollisen jakauman perusteella näin olisi tapahtunut vain kerran 200 vuodessa.

2.3 LÄMPÖTILAN MUUTOS

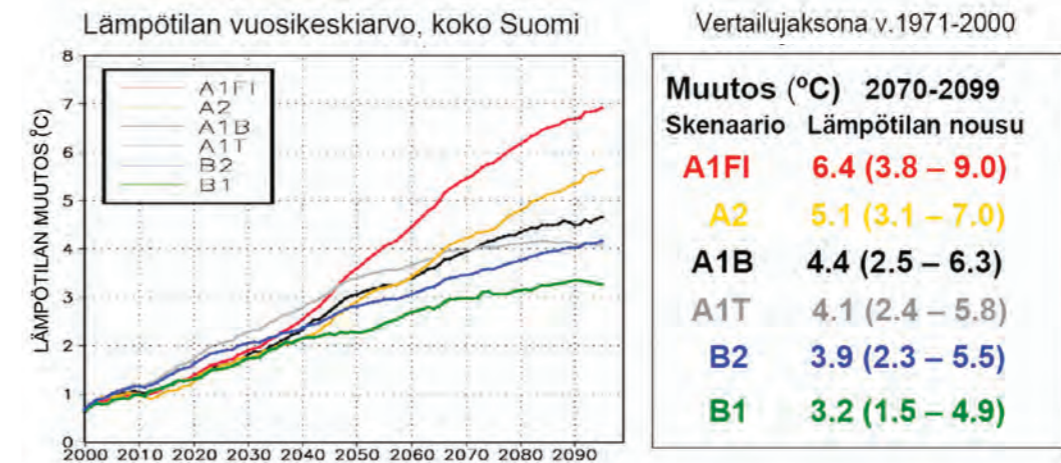
Lähi vuosikymmenä mallit ennustavat maapallon keskilämpötilan nousevan noin 0,2 asteella kymmenessä vuodessa. Tätä nousua ei voida enää estää, vaikka kasviuonekaasujen päästöjä rajoitettaisiin. Lämpeneminen jatkuu optimistisen B1 skenaarion tapauksessakin ensi vuosisadan puolelle saakka. Lämpötilan nousu ei kuitenkaan jakaannu tasaisesti maapallolle. Voimakas lämpeneminen on maa-alueilla ja erityisesti pohjoisen palonpuoliskon korkeilla leveysasteilla.

Suomessa vuosikeskilämpötilan nousunopeuden arvioidaan olevan tällä vuosisadalla 0,4 ± 0,1 °C vuosikymmentä kohti. Kuluva vuosisadan loppuun mennessä lämpötilan arvellaan noussevan 3,2-6,4 astetta (kuva 11). Malleista ja käytetyistä skenaarioista a heuttavien epävarmuustekijöiden merkitys kuitenkin kasvaa sitä suuremmaksi mitä pidemmälle ennusteet ulottuvat. Lähi vuosikymmenä lämpötilan kehitys eri päästöskenaarioiden toteutuessa on likipitään sama, mutta tämän vuosisadan lopulla päästöskenaarioiden väliset erot ovat jo pari astetta. Kuten aiemmin todettiin, tällä hetkellä toteutuneet päästöt ovat

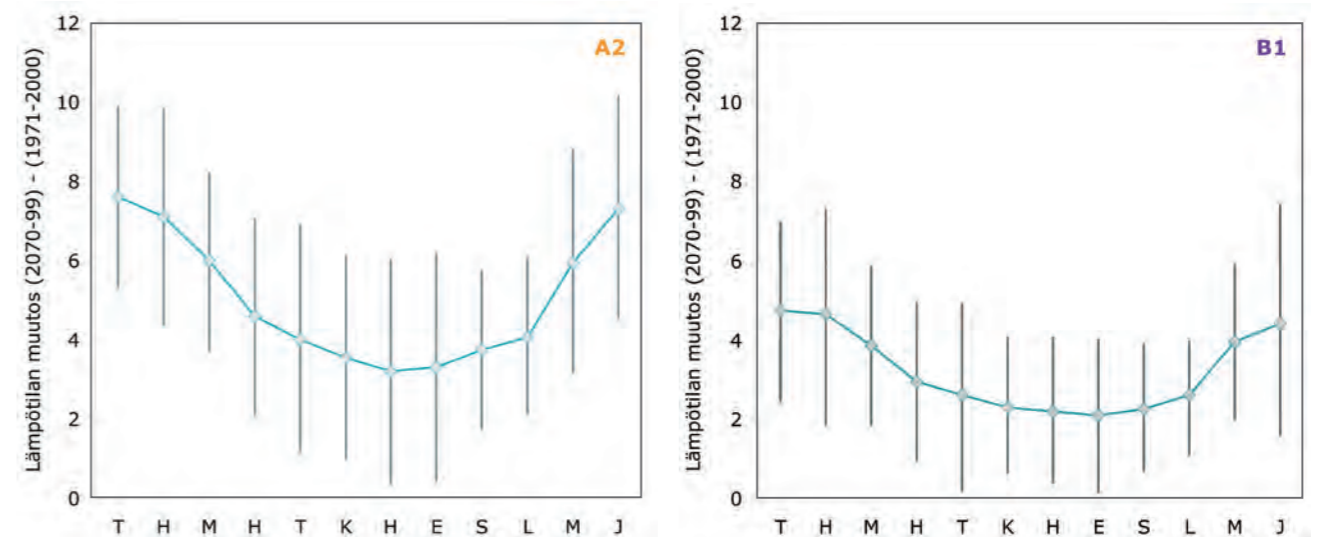
lienen tulosten avulla arvioitu nykyistä ilmastoa kuvaava jakauma (puna nen käyrä). Vuoden 2008 havaittu keskilämpötila (+7,6 °C) on merkitty kuvaan pystyviivalla. Ilmastomallien tulosten perusteella nykyilmastossa vuoden keskilämpötila olisi +7,6 °C tai sen yli kerran 15 vuodessa, kun vuosien 1901-2005 lämpötilojen tilastollisen jakauman perusteella näin olisi tapahtunut vain kerran 200 vuodessa.

jopa suuremmat kuin IPCC:n suurimpien päästöjen skenaariossa. Talvilämpötilat nousevat kesälämpötiloja enemmän (kuva 12), mutta nousun voimakkuus riippuu käytetystä skenaariosta. Kuvassa 13 nähdään Pohjois- ja Etelä-Suomen välisen lämpenemisen eroja A1B skenaarion mukaan. Jaksoon 2020-2049 tultaessa talvikuukausien keskilämpötila nousee Etelä-Suomessa 2,5-3 astetta jaksoon 1971-2000 verrattuna. Pohjois-Suomessa lämpeneminen on hieman voimakkaampaa. Kesäkuukausina Etelä-Suomen lämpeneminen on 1,5 asteen luokkaa.

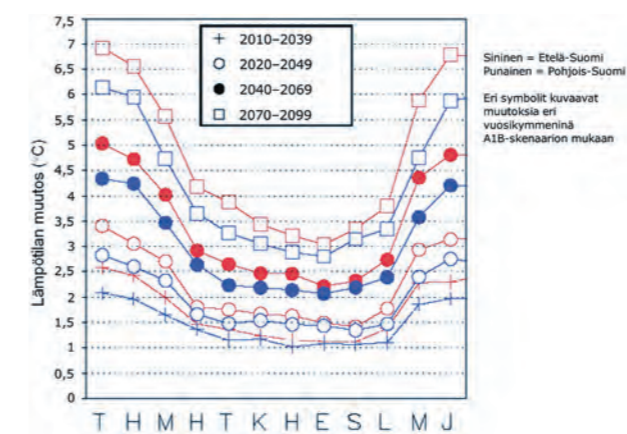
Lämpötilan noustessa hellepäivien määrä lisääntyy. Kuumien päivien (vuorokauden keskilämpötila korkeampi kuin 20 °C) määrä lisääntyy selvästi jo lähi vuosikymmeninä (Ruosteenoja 2009a ja kuva 14). Vuosisadan puolivälin jälkeen niitä on lämpötilan nousun keskiskenaarion toteutuessa nykyiseen verrattuna 2,4-3 kertaa, vuosisadan lopulla 3-4 kertaa enemmän. Ilmaston lämmetessä pitenee myös kesän pisin yhtenäinen kuuma jakso (kuva 15). Perusjakson (1971-2000) aikana tällainen hellejakso kestää tyypillisenä kesänä pääkaupunkiseudulla (kuva 15, Helsinki ja Vantaa) 16 vrk, kuumimpina kesinä 9-14 vrk. Vuosisatamme loppuvuosikymmeninä kesto vastaavasti on tavallomaisena kesänä 6-17 vrk, kuumimpina kesinä 30:stä jopa yli 40 vuorokautteen. Tutkimustulosten mukaan lämpötilan muutosalue on erilainen eri ilmastossa ja suomalaiset ovat sopeutuneet kylmään paremmin kuin eteläeurooppalaiset. Tämän vuoksi helle lisää kuolleisuutta suomalaisten keskuudessa enemmän kuin monessa muussa maassa (Hassi ym. 2005).



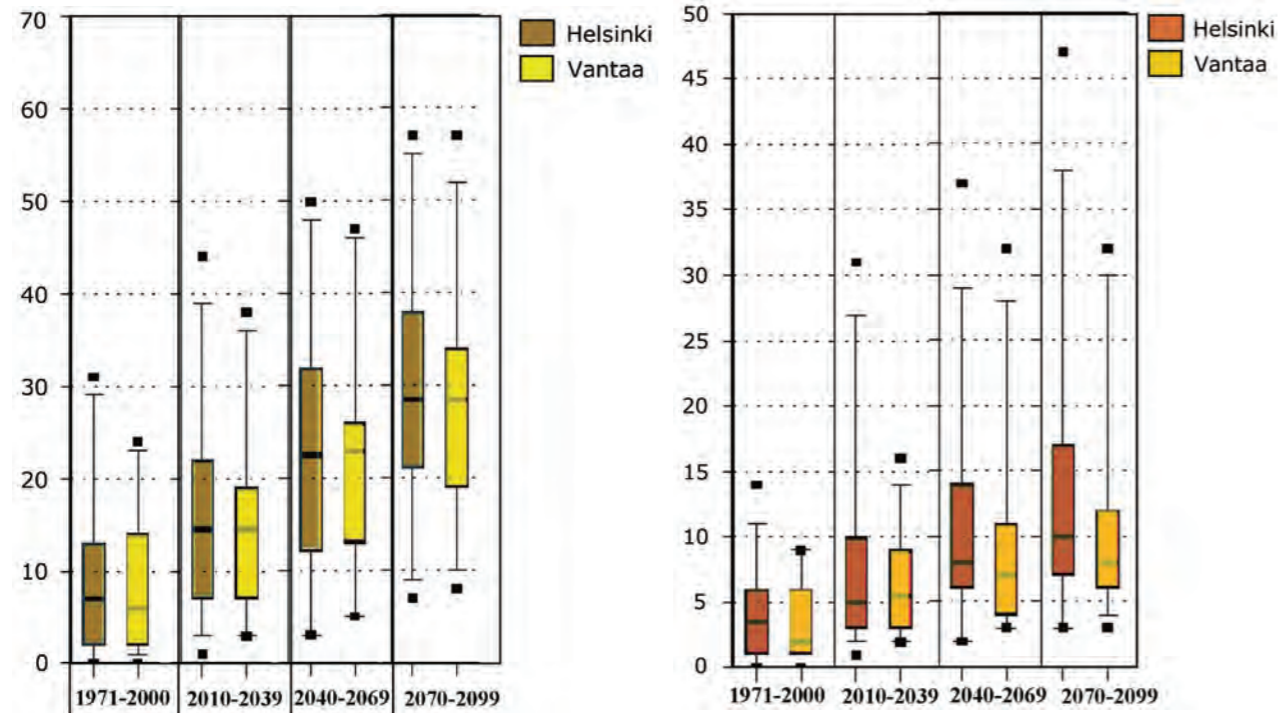
KUVA 11. Yhdeksäntoista ilmastomallin antama paras arvio (sulussa eri mallien tulosten perusteella laskettu 90 %:n todennäköisyysväli) Suomen lämpötilan vuosikeskiarvon muutoksesta eri SRES-skenaarioiden mukaan kuluva vuosisadan aikana verrattuna ilmastolliseen normaalijaksoon 1971-2000 keskiarvoon.



KUVA 12. Keskilämpötilojen muutos Suomessa kaudesta 1971-2000 kauteen 2070-2099 vuoden eri kuukausina. Käyrä esittää 19 eri ilmastomallin ennustamien muutosten keskiarvoa, pystypalkit muutoksen 90 % todennäköisyysväliä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on annettu pessimististä A2-, oikeanpuoleisessa optimistista B1-skenaariota vastaavat muutokset.



KUVA 13. Vuoden eri kuukausien keskilämpötilojen muutoksen aikataulu Etelä- ja Pohjois-Suomessa.



KUVA 14. Kuumien päivien (keskilämpötila yli 20 °C) lukumäärän vaihtelu kesästä toiseen Helsingissä (violetti) ja Vantaalla (keltainen): havaittu jakauma v. 1971-2000 sekä ennustettu jakauma vuosina 2010-2039, 2040-2069 ja 2070-2099; lämpötilan muutokselle on käytetty mallitulosten keskiarvoa (Ruosteenoja 2009a). Pylvään ylä- ja alapää esittävät frekvenssijakauman ala- ja yläkvartiilia (25 % ja 75 % piste), pylvään sisällä oleva poikkiviiva lukumääräjakauman mediaania. Tikkujen pää ilmaisee 5. ja 95. prosenttipisteen. Mustat pisteet kertovat jakauman ääriarvot, ts. kuumien päivien lukumäärän jakson kaikkein koleimpana ja helteisimpänä kesänä.

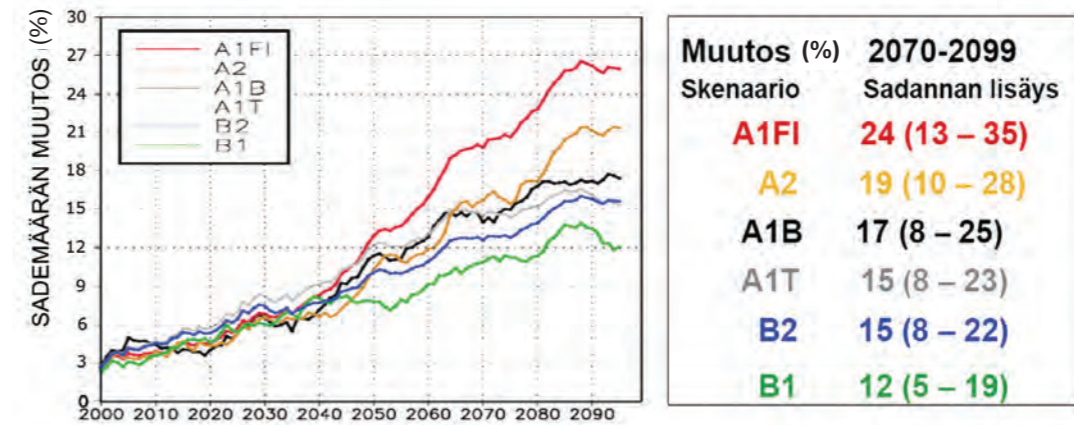
KUVA 15. Kesän pisimmän yhtenäisen kuumien jakson (keskilämpötila koko ajan yli 20 °C) kesto: tilastollinen jakauma Helsingissä (violetti) ja Vantaalla (keltainen) v. 1971-2000 (havaittu), 2010-2039 (ennustettu), 2040-2069 (ennustettu) ja 2070-2099 (ennustettu) (Ruosteenoja 2009a). Lämpötilan muutokselle on käytetty mallitulosten keskiarvoa.

2.4 MUUTOKSET SADEMÄÄRISSÄ

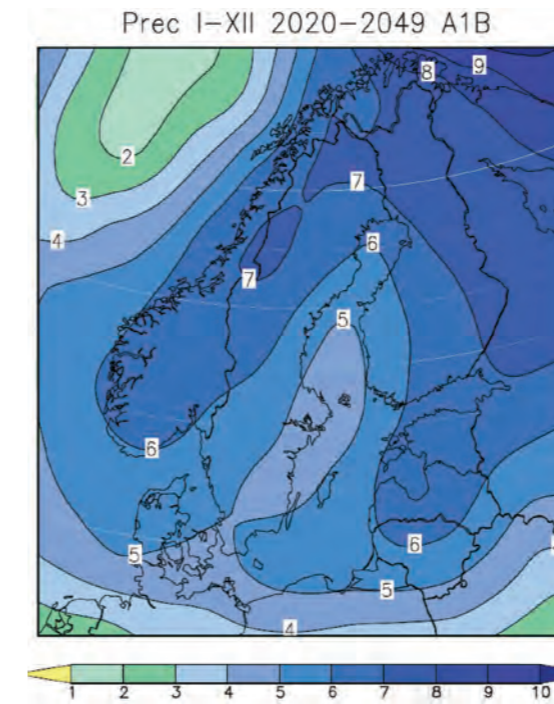
Suomen vuotuisen sademäärän arvioidaan lisääntyvän tasaisesti kuluvaan vuosisadan aikana. Vuosisadan loppuun mennessä sademäärä kasvaa jaksoon 1971-2000 verrattuna skenaariosta riippuen 12-24 % (kuva 16). Pohjois-Suomessa sademäärä näyttää lisääntyvän jonkin verran nopeammin kuin maan eteläosissa (kuva 17). Sademäärä todennäköisesti lisääntyy kaikkina vuodenaikoina, kesällä vähemmän kuin talvella. Kesäsateet pysyvät kuitenkin talvisateita runsaampana jatkossakin (kuva 18).

Alueellisten ilmastomallitulosten mukaan myös rankkasateet voimistuvat Suomessa. Kuvassa 19 on esitetty kesäkauden (touko-syyskuu) suurimman vuorokautisen sademäärän muutos jaksoista 1961-1990 jaksoon 2071-2100 kahden eri mallin ja skenaarioiden mukaan. Tulosten mukaan vuorokauden maksimisateet kasvavat suurella osalla Suomessa 10-30 %. Muutosten alueellisten jakaumien yksityiskohtiin ei ole syytä kiinnittää suurta huomiota, sillä ne vaihtelevat huomattavasti mallikokeesta toiseen (Aaltonen ym. 2008, 88).

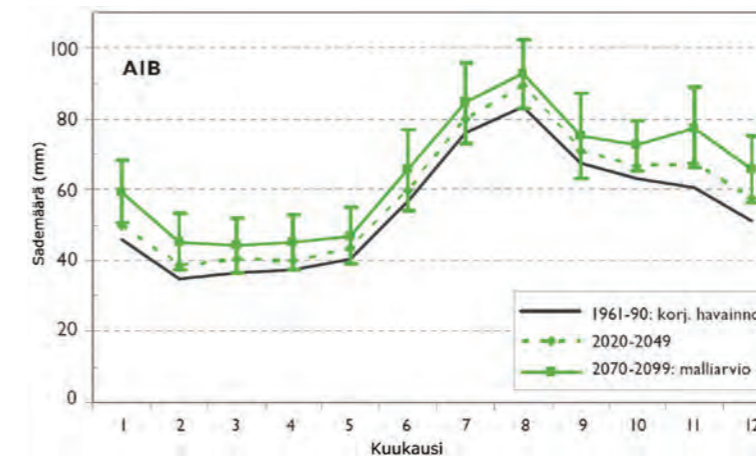
Ilmastoennusteet eivät anna selvää näyttöä siitä, pidentyvätkö kesän kuivat jaksot Suomessa. Seitsemän ilmastomallin tulokset ovat tässä suhteessa keskenään erimielisiä (kuva 20). Esimerkiksi Etelä-Scandinaviassa sen sijaan enemmistö ilmastomalleista ennakoii kesän pisimmän sateettoman jakson pitenevän ilmastomuutoksen myötä.



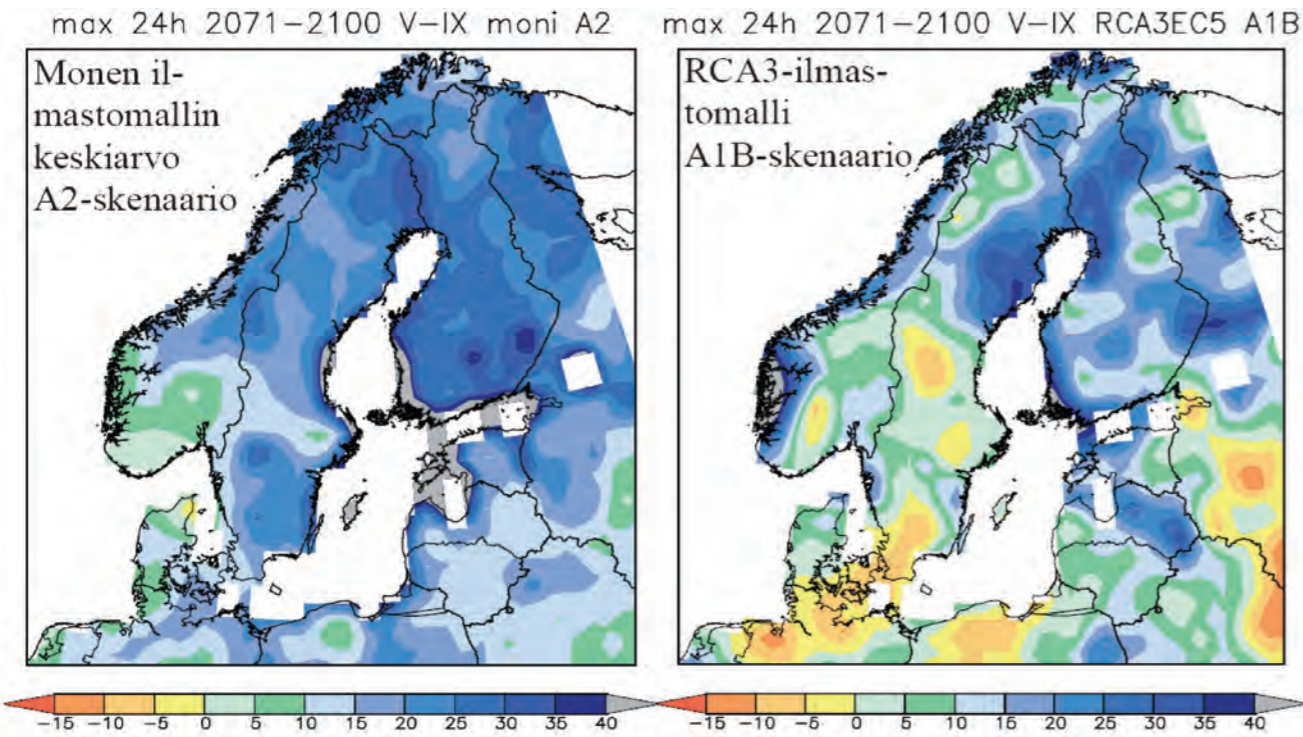
KUVA 16. Yhdeksäntoista ilmastomallin antama paras arvio (suluissa eri mallien tuloksien perusteella laskettu 90 %:n todennäköisyysväli) Suomen vuotuisen sademäärän muutoksesta eri SRES-skenaarioiden mukaan kuluvaan vuosisadan aikana verrattuna ilmastollisen normaalijakson 1971-2000 keskiarvoon.



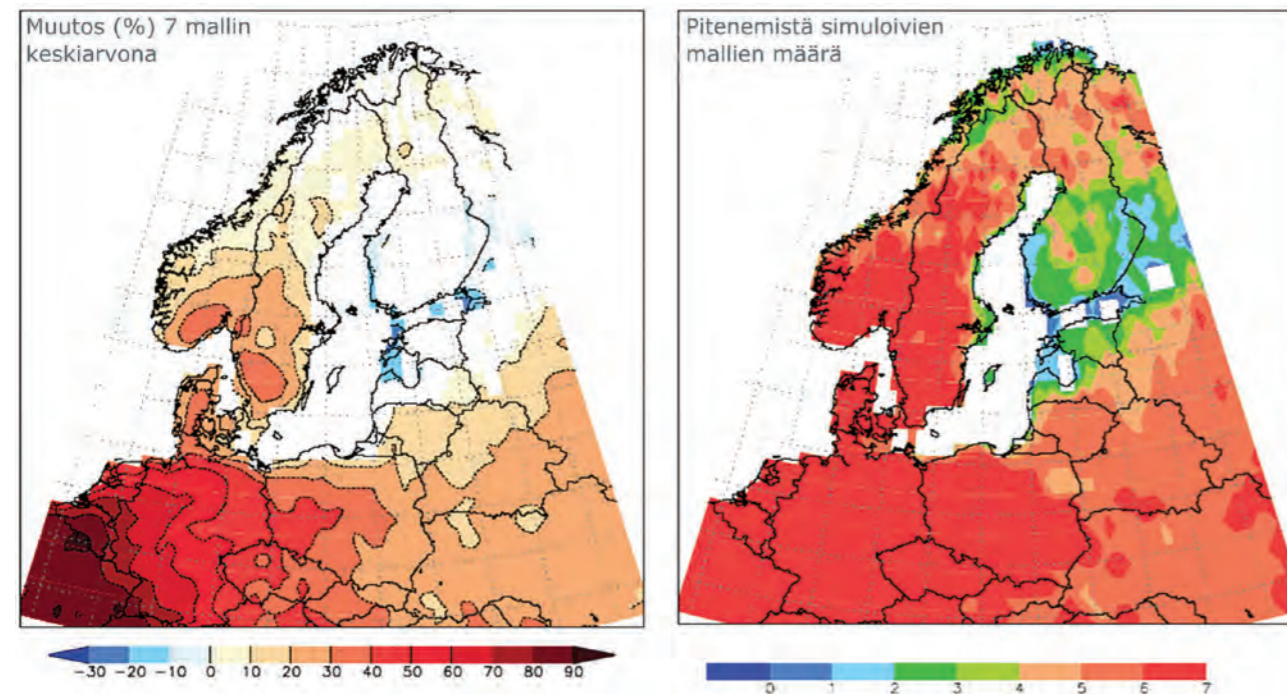
KUVA 17. Koko vuoden sademäärän muutos (%) kaudesta 1971-2000 kauteen 2020-2049 A1B-skenaarioiden mukaan.



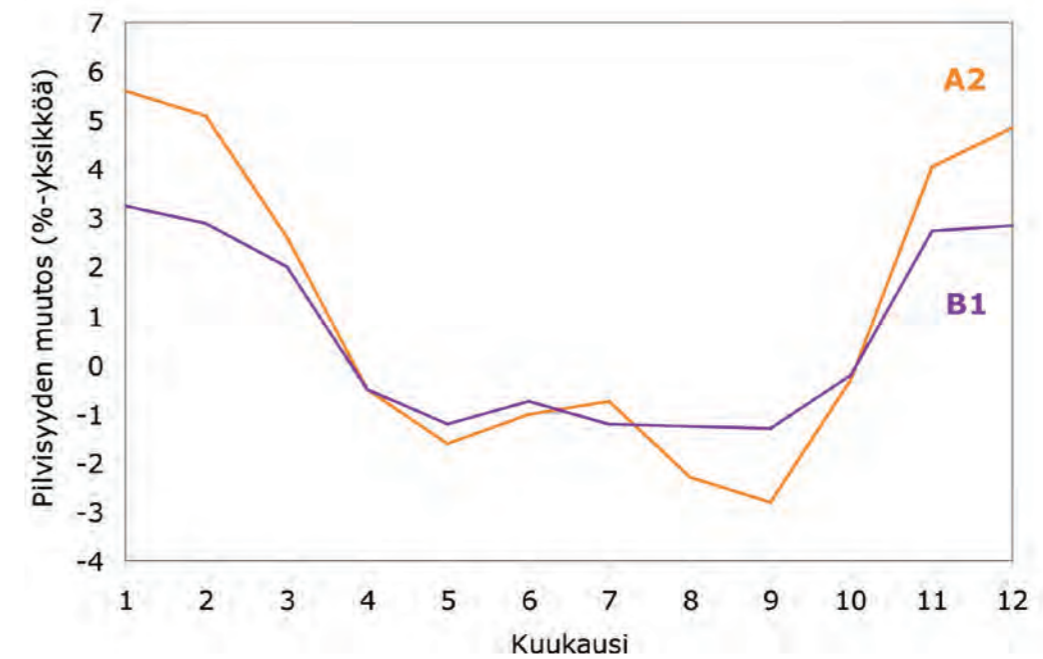
KUVA 18. Suomen keskimääräinen sademäärä eri kuukausina Suomessa vuosina 1961-1990 (havaittu) sekä arvio tulevasta keskimääräisestä vuotuisesta sademäärästä vuosina 2020-2049 ja 2070-2099 A1B-skenaarioiden toteutuessa. Arviot perustuvat 19 ilmastomallin keskiarvoon kullekin kalenterikuukaudelle. Virherajat esittävät mallitulosten eroihin perustuvaa 90 %:n todennäköisyysväliä jaksolle 2070-2099. (Aaltonen ym. 2008). Koko vuoden sademäärän muutos (%) kaudesta 1971-2000 kauteen 2020-2049 A1B-skenaarioiden mukaan.



KUVA 19. Rankkojen sateiden esiintymisestä Suomessa tulevaisuudessa (Aaltonen ym. 2008). Touko-syyskuun suurin vrk-sade, muutos (%) kaudesta 1961-1990 kauden 2071-2100. Vasemmanpuoleisessa kuvassa usean ilmastomallin keskiarvo A2-skenaarion perusteella. Oikeanpuoleisessa kuvassa RCA3 ilmastomallin ennustamamuutos A1B-skenaariossa. Kaksi erilaista ilmastomallia tuottavat erilaisia tuloksia, mutta Suomessa sateet voimistuvat kummassakin tapauksessa. Kuvissa valkoisille alueille ei ole määritetty rankkojen sateiden esiintymisen muutosta (merialueet ja Laatokka).



KUVA 20. Kesän pisin sateeton jakso - Suomessa ei selvää muutosta. Vasemmanpuoleisessa kuvassa seitsemän ilmastomallin tulosten keskiarvo kesä-elokuun pisimmän sateettoman jaksosta muutoksesta (%) kaudesta 1961-1990 kauden 2071-2100 A2-skenaarion mukaan. Oikeanpuoleisessa kuvassa on sateettoman jaksosta pitenemistä simuloivien mallien lukumäärä. Valkoisilla maa-alueilla mallit ovat erimielisiä muutoksen suunnasta. Punaisilla maa-alueilla enemmistö malleista ennakoit sateettomien jaksosten pidentymistä, sinisillä vastaavasti lyhentyvän. Vihreillä alueilla kumpikaan vaihtoehto ei ole enemmistönä. Lisätietoja: Jylhä ym. (2007).



KUVA 21. Prosentteina ilmaistun kokonaispilvisyyden muutos Keski-Suomessa (62,25 °N, 26,25 °E) vuoden eri kuukausina; verrattu jaksoa 2070-2099 jaksoon 1971-2000 (Jylhä ym. 2009). Kuva perustuu 19 maapallonlaajuisen ilmastomallin tuloksiin. Punainen käyrä ilmaisee A2-skenaariota, vihreä B1-skenaariota vastaavan muutoksen.

2.5 PILVISYYS

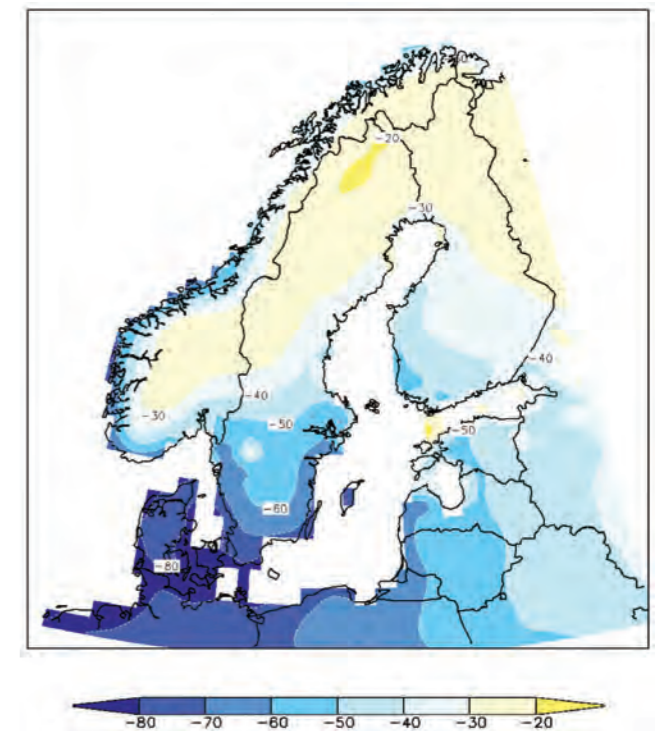
Kuvassa 21 on esitetty kokonaispilvisyyden muutos Keski-Suomessa vuoden eri kuukausina vertaamalla jaksoa 2070-2099 jaksoon 1971-2000. Punaiset käyrät ilmaisevat A2-skenaariota, vihreät B1-skenaariota vastaavat muutokset. Kuva perustuu 19 ilmastomallin tuloksiin.

Pilvisuus näyttäisi talvisin selvästi lisääntyvän. Koska pilvisuus on jo tätä nykyä alkua ja keskitalvesta 80 %:n luokkaa, ennustettu noin viiden prosenttiyksikön lisääntyminen vähentäisi selkeän taivaan osuutta jopa neljänneksellä. Muutos synkempään suuntaan on siis varsin huomattava. Tämän vastapainoksi kesäpuolella vuotta pilvisuus saattaisi aavistuksen vähentyä, joskaan tästä mallit eivät ole kovin yksimielisiä.

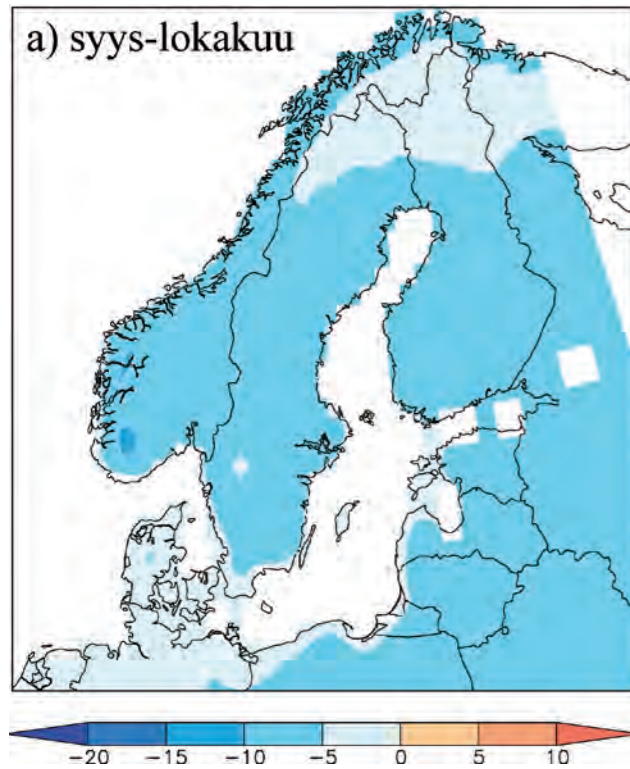
Sopu-soinnussa pilvisyyden lisääntymisen kanssa myös aurion säteily vähenee talvisin. Esimerkiksi joulukuussa pudotus on jopa 20 %:n luokkaa. Pinnalta heijastunut auringonsäteily vähenee vieläkin enemmän, maan eteläosissa yli 30 %. Tähän vaikuttaa pilvistymisen ohella säteilyä heijastavan lumipeitteen väheneminen.

2.6 LUMISUUS

Alueellisten ilmastomallien tulosten mukaan lämpötilan noususta lumipeitepäivien lukumäärä vähenee (Gregow ym. 2008 ja kuva 22), vaikka talvisin sateet lisääntyvätkin. Lämpötilan nousun myötä yhä suurempi osa sateesta tulee talvellakin vetenä. Lumipeitepäivien väheneminen on voimakkainta Etelä- ja Lounais-Suomessa. Lumipeitepäivät vähenevät eniten syksyllä, vuosisadan loppuun mennessä jopa yli 70 %, toiseksi eniten

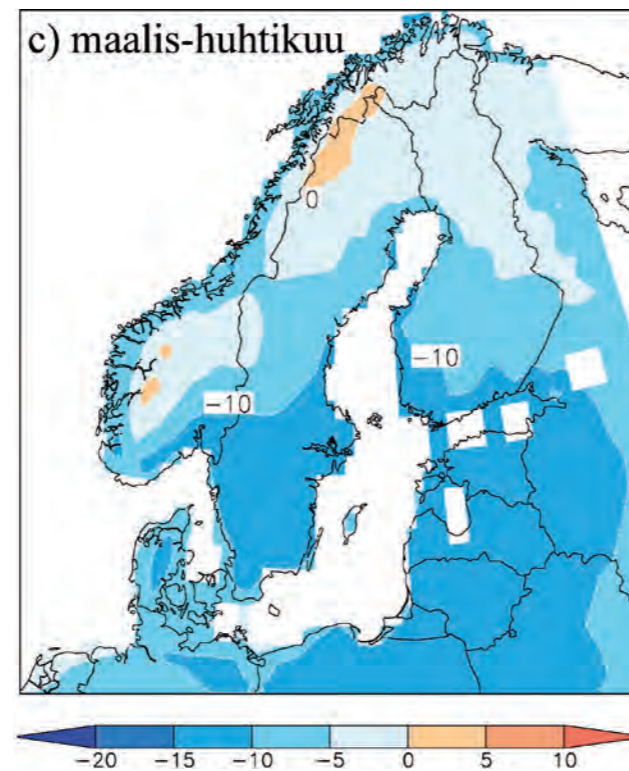
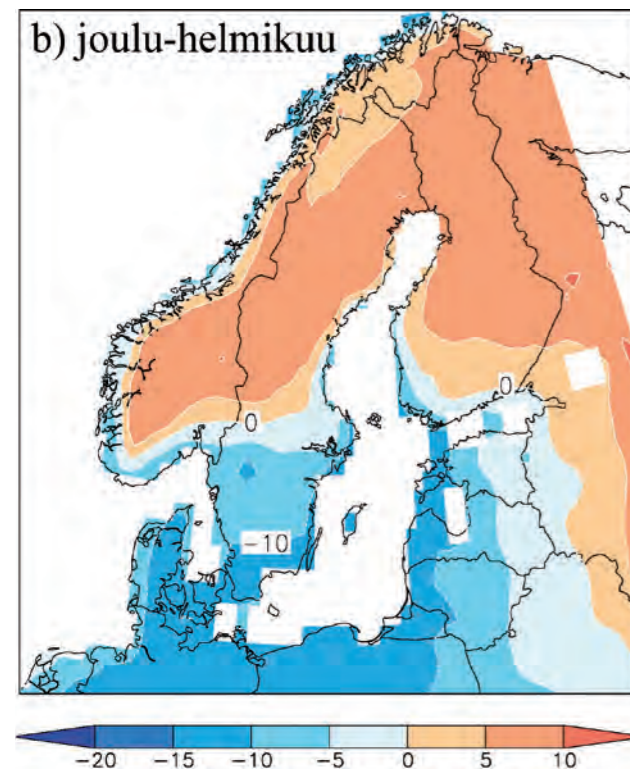


KUVA 22. Lumipeitepäivien keskimääräisen vuotuisen lukumäärän muutos (%) kaudesta 1961-1990 kauden 2071-2100 (Gregow ym. 2008).



vähentymistä tapahtuu huhtikuussa. Talvi siis lyhenee kummatkin päästä. Myös syksyn ensimmäinen pakkanen lykkäytyy ja kevään viimeinen pakkanen aikaistuu.

Kuvassa 23 on esitetty nollarajan ohituspäivien (jolloin vuorokauden alin lämpötila on alle nolla ja ylin yli nolla astetta) määrän ennustettu muutos vuosisadan loppuun mennessä A2 skenaarion mukaan. Tällaiset päivät lisääntyvät sisämaassa keskitalvella, eli lämpötila siis "sahaa" nollan molemmin puolin tulevana talvina yhä useammin. Toisaalta tällaisia päiviä on harvemmin syksyllä ja keväällä. Etelä- ja Lounais-Suomen rannikolla nollanohituspäivien lukumäärä on kuluvan vuosisadan lopulla nykyistä pienempi myös keskitalvella (Jylhä ym. 2008).

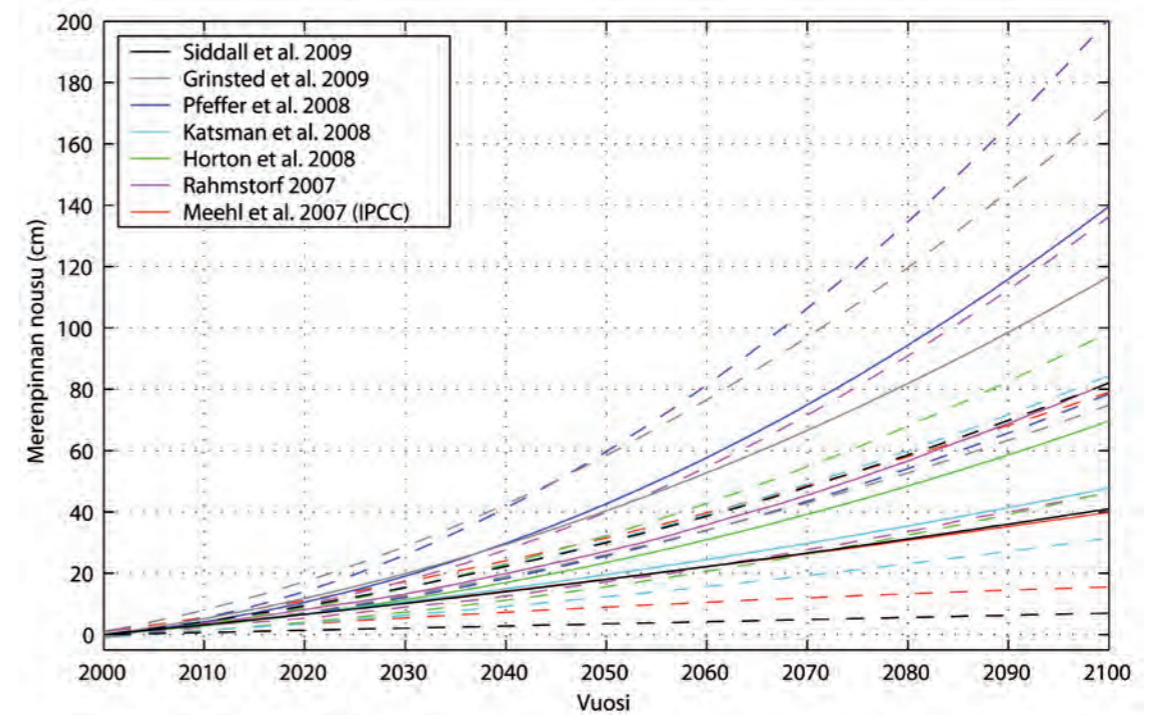


KUVA 23. Nollarajan ohituspäivien muutos (vuorokausina) kaudesta 1971-2000 kauteen 2071-2100 A2-skenaarion toteutuessa syys-lokakuussa (ylin kuva), jouluhelmikuussa (vasemmanpuoleinen kuva) ja maaliskuuhuhtikuussa (oikeanpuoleinen kuva). Lisätietoja: Jylhä ym. 2008.

2.7 MERENPINNAN NOUSU

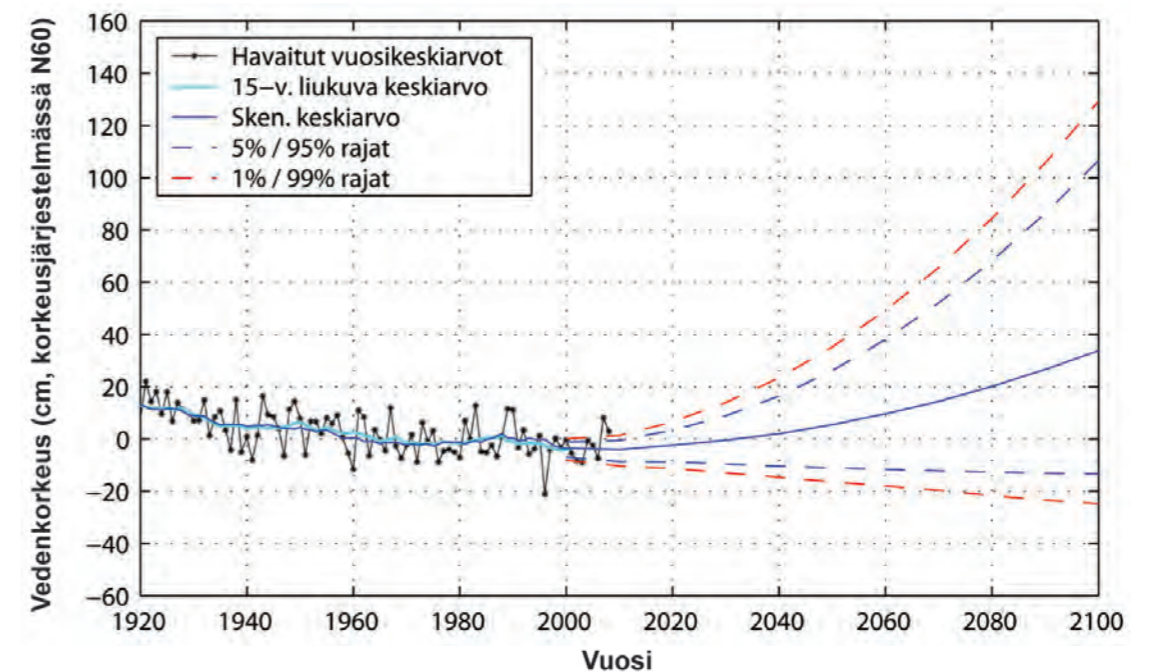
Keskimääräisen merenpinnan korkeuden muutoksiin Itämerellä ja Suomen rannikolla vaikuttavat pääasiassa valtameren pinnan nousu, maankohoaminen ja Itämeren kokonaisvesimäärän pitkäaikaiset muutokset (Johansson et al. 2004). Valtameren

pinnan nousun tämänhetkiset arviot vaihtelevat noin 10 cm:stä 2 m:iin vuoteen 2100 mennessä (kuva 24). Epävarmuutta aiheuttaa mm. mannerjäätöiden sulamisnopeudessa tapahtuvien muutosten vaikea ennustettavuus.



KUVA 24. Valtameren pinnan noususkenaarioita eri tutkimuksissa.

Helsingin keskivedenpinnan havaittu muutos ja ennusteita vuoteen 2100 asti



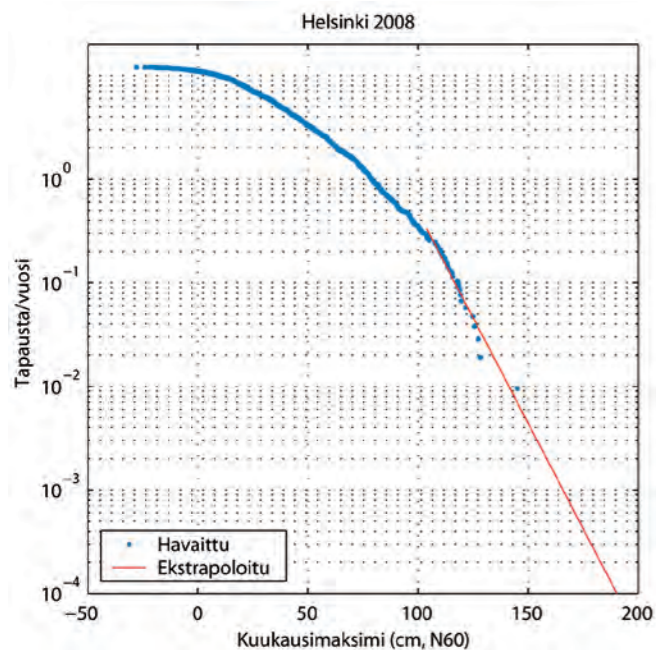
KUVA 25. Helsingin keskivedenpinnan havaittu muutos sekä skenaario vuoteen 2100 asti.

Jäät köiden sulamisesta aiheutuva valtameren pinnan nousu ei jakaannu tasaisesti eri merialueille ja Itämeren alueen kannalta Grönlannin sulamisella ei ole suurta vaikutusta. Veden nousu Itämerellä on sen vuoksi kuvan 25 huippuarvoja vähäisempää. Suurin epävarmuustekijä Itämerellä on Länsi-Antarktiksella jäätyksen sulaminen.

Maankohoamisen nopeus vaihtelee Suomen rannikolla, se on voimakkainta Vaasan ympäristössä ja vähäisintä Suomenlahdella. Helsingissä absoluuttinen maankohoaminen on noin 3,7 mm vuodessa. Kuvassa 25 on esitetty skenaario Helsingin keskivedenkorkeudelle vuoteen 2100 asti. Se perustuu kuvan 25 arvioihin ja siinä on otettu huomioon maankohoaminen ja valtameren pinnan nousun alueellisia eroja.

Merenpinnan korkeuden lyhytaikaisiin vaihteluihin ja ääriarvoihin vaikuttavat pääasiassa ilmanpaine, tuulet, Itämeren ominaisheilahtelu sekä kokonaisvesimäärän muutokset Tanskan salmien virtausten seurauksena. Helsingin vedenkorkeuden kuukausimaksimien tilastollinen jakauma on esitetty kuvassa 26, vuoden 2008 tilannetta vastaavasti.

Vedenkorkeuksien tilastollinen jakauma muuttuu ajan myötä. Tähän vaikuttavat keskiveden muutos geodeettisen korkeusjärjestelmän N60 suhteen sekä lyhytaikaisvaihteluiden jakuman ajallinen muutos esimerkiksi sääolojen muuttumisen seurauksena.



KUVA 26. Helsingin vedenkorkeuden kuukausimaksimien todennäköisyysjakauma, vuotta 2008 vastaava tilanne perustuen vuosien 1904-2008 havaintoaineistoon.

Yliytystodennäköisyys tapausta/vuosi	Vedenkorkeus (cm)			
	v. 2000	v. 2020	v. 2050	v. 2100
0.1	+117	+121	+137	+212
0.02	+134	+139	+157	+241
0.01	+142	+146	+164	+252
0.005	+149	+154	+172	+262

TAULUKKO 4. Eri todennäköisyyksistä vastaavat vedenpinnan korkeuden kuukausimaksimit Helsingissä vuosina 2000, 2020, 2050 ja 2100.

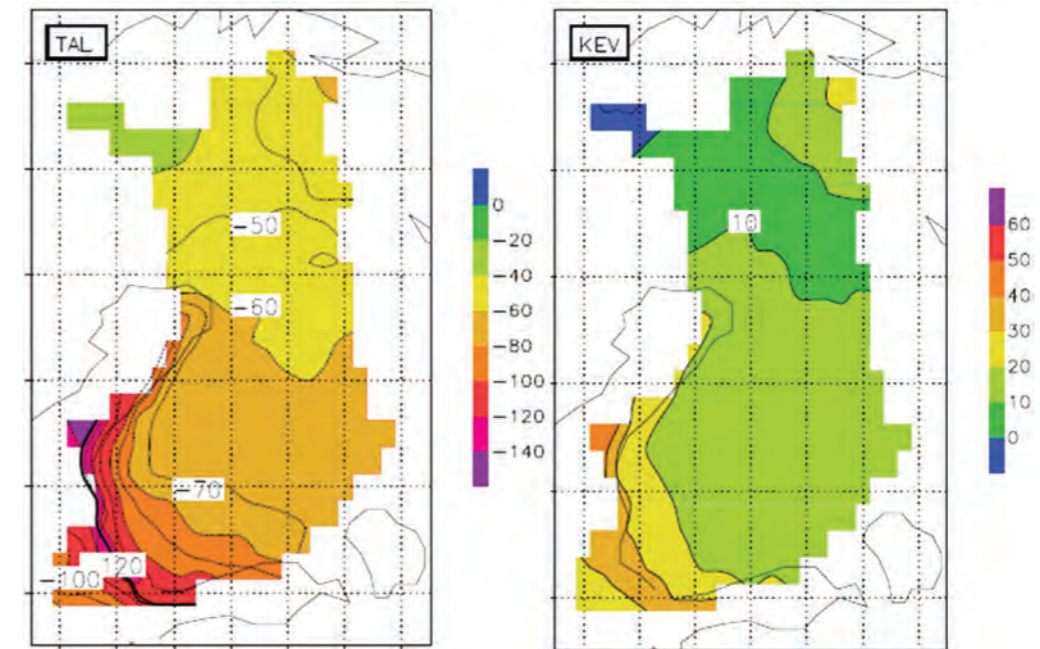
senä. Keskvieskkenaarioiden epävarmuusrajat (kuva 24) vaikuttavat myös tulevaisuuden vedenkorkeusjakaukseen arvioihin. Taulukossa 4 on ennusteita eri todennäköisyyksistä vastaaville vedenkorkeuden kuukausimaksimeille eri vuosina. Korkein Helsingissä vuosina 1904-2008 saavutettu vedenkorkeus arvo oli +145 cm (mitattu 9.1.2005).

Aiemmin julkaistu alin suositeltava rakennuskorkeus Helsingille on +260 cm sisältäen 30 cm aaltoiluvaran (Kahma et al. 1998). Tuolloin laskettiin, että +230 cm vedenkorkeustaso saavutettaisiin kerran seuraavien 200 vuoden aikana. Nykyisten skenaarioiden valossa näyttää siltä, että silloinen arvo ylittyy. Tärkein yksittäinen tekijä on valtameren pinnan nousu, jonka tuolloin ennustettiin jäävän alle kahden metrin jopa vuoteen 2200 asti, kun nykyiset korkeammat ennusteet ulottuvat kahteen metriin jo tämän vuosisadan lopulla.

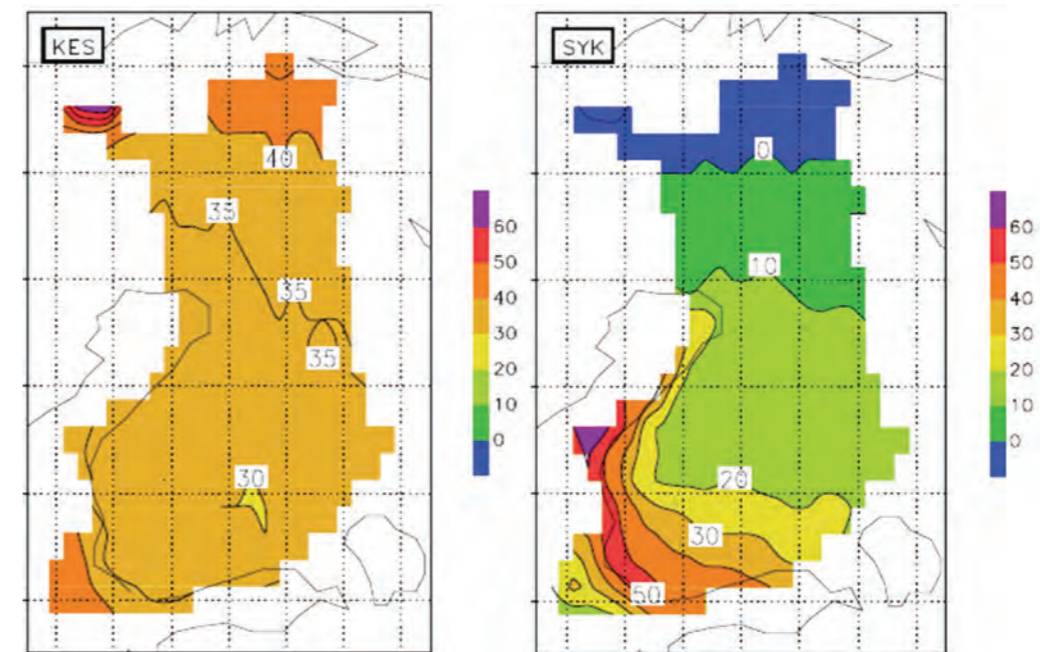
2.8 TERMISTET VUODENAJAT

Vuosisadan loppuun mennessä termisten vuodenaikojen pituuksien odotetaan muuttuvan suuresti (kuvat 27 ja 28). 19 ilmastomallin keskiarvon mukaan (A1B skenaario) Etelä-Suomessa varsinainen talvi lyhenee (80-120 päivää), syksyn taas odotetaan pidentyvän noin 40 päivää. Myös termiset kevät ja kesä pidentyvät (Jylhä ym. 2009).

On kuitenkin muistettava, että vaikka kasvukausi lämpötilojen puolesta pitenee pitkälle syksyyn, ei siitä välttämättä ole suurta hyötyä, sillä valoisuusoloissa ei tapahdu muutoksia ainakaan parempaan suuntaan. On myös mahdollista, että keväällä kuivuudesta on haittaa.



KUVA 27. Termisten talven ja kevään pituuden muutokset (vrk) vuosisadan loppuun mennessä A1B-skenaarion mukaan (Jylhä ym. 2009). Mustan viivan länsipuolella ei keskimäärin enää termistä talveä.



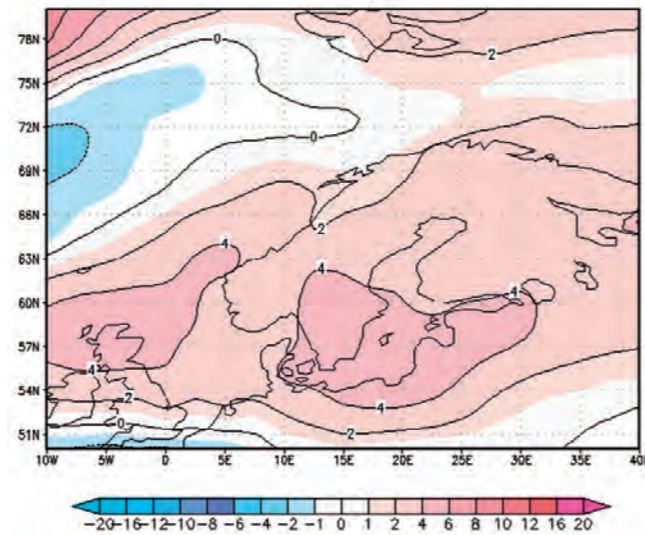
KUVA 28. Termisten kesän ja syksyn pituuden muutokset (vrk) vuosisadan loppuun mennessä A1B-skenaarion mukaan (Jylhä ym. 2009).

2.9 TUULI

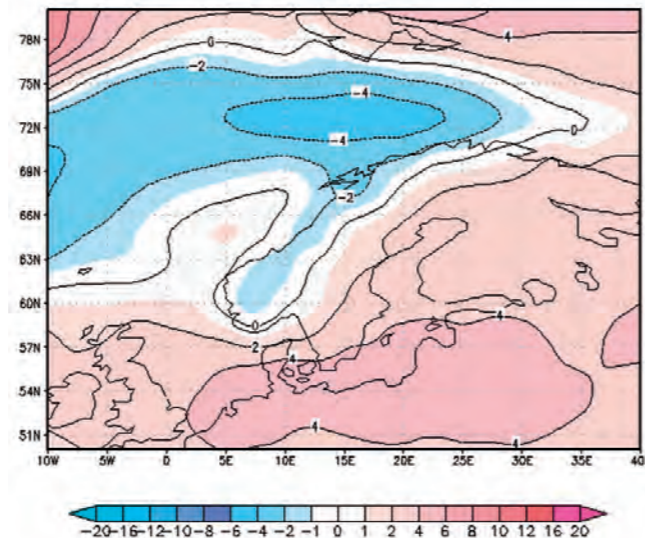
Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tuulisuuteen ja myrskyisyyteen on tutkittu viime aikoina paljon (es.m. Bengtsson ym. 2006, 2009; Leckebusch ja Ulbrich 2004; Leckebusch ym. 2008, Ulbrich ym. 2008). Tulosten mukaan myrskyradat voivat ilmaston lämmetessä muuttua siten, että yhä todennäköisimmin matala paineet kulkevat Brittein saarten tienoilta itään tai koilliseen ja liikkuvat yli Keski ja/tai Pohjois Euroopan. Viimeisten vuosikymmenten aikana pahimmat myrskyt on koettu mantereissa osassa Keski ja Pohjois Eurooppaa 60°N eteläpuolella (es.m. Ulbrich ym. 2001; Wernli ym. 2002; Dobbertin ym. 2002, Keil ym. 2003; Nielsen ja Sass, 2003; Alexandersson 2005; Bengtsson ja Nilsson, 2007; Pinto ym. 2007) ja tämä on syystäkin herättänyt keskustelua siitä, miten mm. Suomen tuulisuus tulee tulevaisuudessa muuttumaan.

Ilmatieteen laitoksella on tutkittu 10 ilmastomallin avulla, miten ilmaston lämpeneminen voi vaikuttaa Suomen tuulioloihin (Gregow ja Ruosteenoja 2010). Tarkasteltaessa A1B skenaariota näyttää siltä, että erityisesti tuulisena vuodenaikana (syys-huhtikuu) tuulet hieman voimistuvat. Syksyllä (syys-marraskuussa) keskimääräinen tuulen nopeus kasvaa vuosien 2046-65 tienoilla 1,3%. Jaksoon 2081-2100 tultaessa lisäystä on 2,4% (Kuva 29a). Toki tuulisuus lisääntyy tulosten mukaan myös jouluhelmikuussa (Kuva 29b), mutta tilastollinen todennäköisyys ei ole yhtä suuri. Joka tapauksessa keskimääräistarkastelun lisäksi jouluhelmikuussa tulisi myös tarkastella muiden tekijöiden, kuten vesistöjen jäiden vähenemisen suhteen. Kun meri on avoin, tuuli on voimakkaampaa ja sen vuoksi on ilmeistä, että vesistöjen läheisyydessä talven jääpeitteen väheneminen lisää tuulisuutta enemmän kuin kuvan 29b perusteella voidaan päätellä.

Äärituulia on näin kään tutkittu (Gregow ja Ruosteenoja 2010) ja vaikuttaa siltä, että Suomessa tuulen nopeudet 5, 10, 50 ja 100 vuoden toistuvuustasolla kasvavat varmemmin vasta viimeisellä 20 vuoden jaksolla 2081-2100, jolloin muutos on positiivinen ja keskimäärin 1,2%. Mallien välinen hajonta on kuitenkin suurta.



KUVA 29a.

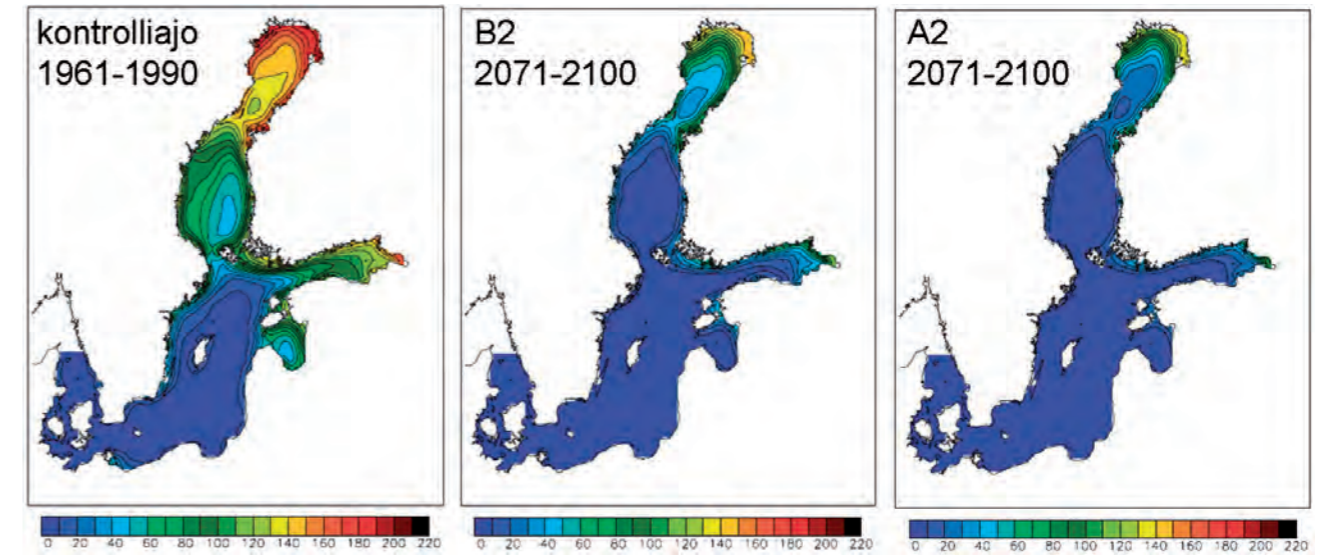


KUVA 29b.

Keskimääräisen geostrofisen tuulen nopeuden muutos (%) jaksosta 1971-2000 jaksoon 2081-2100 (a) syys-marraskuussa ja (b) jouluhelmikuussa A1B-skenaariota toteutuessa (Gregow ja Ruosteenoja 2010, valmistilla).

2.10 MERIJÄÄ

Vuosisadan loppuun mennessä meri on jäässä entistä lyhyemmän ajan sekä B2 että A2 skenaarioiden mukaan (kuva 30). Myös Itämeren jääpeitteen laajuus vähenee vuosisadan loppuun mennessä skenaariosta riippuen (B2/A2) arviolta 57-71% (Meier et al. 2004). Siellä missä jäätä vielä on, se on tulevaisuudessa nykyistä ohuempaa (Tuomenvirta 2000).

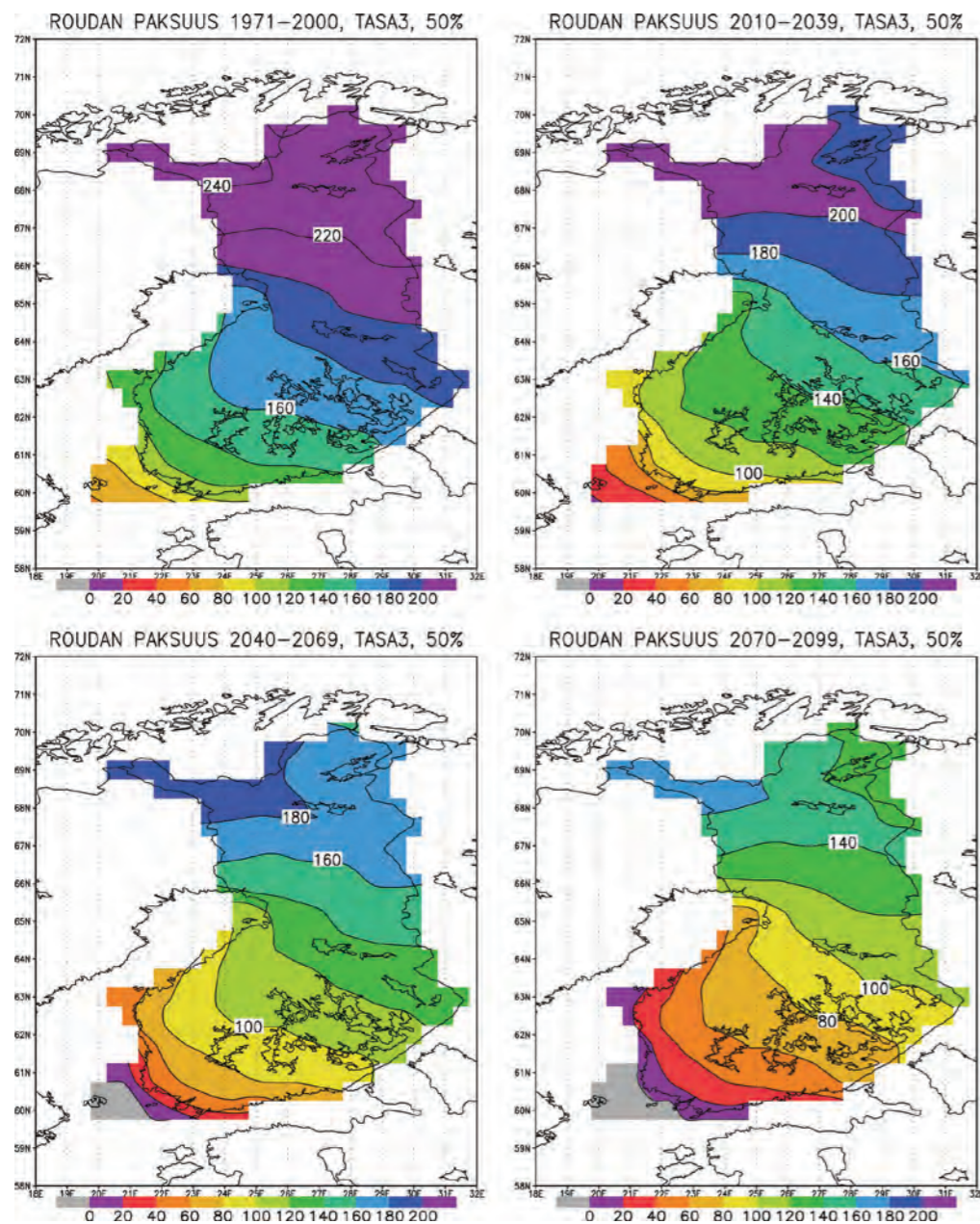


KUVA 30. Mallilla laskettu jääpäävien keskimääräinen lukumäärä Itämerellä kontrollijaksossa (v.1961-1990) sekä kuluvan vuosisadan lopulla B2- ja A2- skenaarioissa (Meier et al. 2004).

2.11 ROUTA

Ilmaston lämmetessä roudan määrä vähenee. Kuvassa 31 on esitetty ACCLIM hankkeen (Ruosteenoja 2009b) tuloksia roudan paksuuden muuttumisesta lumettomilla alueilla kuluvaan vuosi sadan aikana. Määli lämpötila nousee mallien keskimäärin ennustamalla nopeudella, jakson 2010–2039 keskimääräinen roudan syvyys olisi noin 20 cm pienempi kuin jakson 1971–2000 (kuva 31). Jaksoon 2040–2069 mentäessä syvyys vähenee Uudenmaan alueella jo noin 60 cm (kuva 31). Nämä tulokset pätevät

a noastaan lumettomalle pinnalle, kuten esimerkiksi lentokentille tai liikenneväylille, joilta lumi aurataan pois. Lumisilla alueilla routakerros jää paljon ohuemmaksi, sillä lumi eristää tehokkaasti lämpöä. Tässä ACCLIM hankkeen tutkimuksessa laskettiin roudan paksuuksia ainoastaan lämpöoloiltaan tyypillisenä talvena, nykyisen tai tulevan ilmaston vallitessa. Leutoina talvina routaa on laskelmiin verrattuna luonnollisesti vähemmän, ankarina enemmän.



KUVA 31. Maaperän routakerroksen talvikauden aikainen keskimääräinen suurin paksuus lumettomilla alueilla neljän 30-vuotiskaksen aikana (1971–2000, 2010–2039, 2040–2069 ja 2070–2099). Tässä laskelmassa on käytetty lämpötilan nousulle "parasta arviota" eli todennäköisyysjakaman mediaania. Yksikkö cm. Lisätietoja: Ruosteenoja 2009b.

3. Johtopäätöksiä

Ilmastomme on muuttumassa ihmisten toiminnan seurauksena. Meneillään olevalla ilmastonmuutoksella on dramaattisia seurauksia myös Suomen kannalta. Muutoksen suuruus ja vaikutukset riippuvat ilmakehän kasvihuonekaasujen määrästä: mitä enemmän ilmakehässä on kasvihuonekaasuja (joita vapautuu mm. fossiilisten polttoainojen käytöstä), sitä enemmän ilmasto lämpenee.

3.1 LÄMPÖTILA JA LUMI

Suomessa muutoksia on odotettavissa etenkin lämpötila ja lumioloissa. Kuluvaan vuosisadan aikana Suomen vuotuisen keskilämpötilan arvellaan kasvavan 3,2–6,4 astetta. Ilmastomme tulee kuitenkin säilyttämään sääolojen vuosien välisen vaihtelun. Talvilämpötilat nousevat kesälämpötiloja enemmän. Arvioiden mukaan jakson 2020–2049 talvikuukausien keskilämpötila nousee Etelä-Suomessa 2,5–3 astetta jaksoon 1971–2000 verrattuna. Kesäkuukausina Etelä-Suomen lämpeneminen on 1,5 asteen luokkaa. Lämpötilan nousun myötä talvi lyhenee ja muut termiset vuodenaajat pitenevät. Talvien lyheneminen ja lämpeneminen johtaa lumipeitteen vähenemiseen, lumetomilla alueilla roudan ohenemiseen ja Itämerellä talvisen merijään vähenemiseen ja ohenemiseen ja jääpäävien määrän vähenemiseen. Kesälämpötilan nousu kuluvaan vuosisadan aikana johtaa mm. kuumien päivien (vuorokauden keskilämpötila korkeampi kuin 20 °C) määrän lisääntymiseen ja hellejaksojen pidentymiseen.

3.2 SADE

Suomen vuotuisen sademäärän arvioidaan lisääntyvän kuluvaan vuosisadan aikana. Vuosisadan loppuun mennessä sademäärä kasvaisi skenaariosta riippuen 12–24 % jaksoon 1971–2000 verrattuna. Alueellisten ilmastomallitulosten mukaan myös rankkasateet voimistuvat Suomessa. Tarkkoja arvioita tietyille alueille rankkasateiden voimistumisesta ei voida tehdä, sillä niiden alueelliset jakaumat vaihtelevat mallikokeesta toiseen. Kesän kuivien jaksoiden pidentymisestä Suomessa ilmastoennusteet eivät anna selvää näyttöä.

3.3 MERIVEDEN PINNAN KORKEUS

Alustavien arvioiden mukaan todennäköisyys, että meriveden pinta kohoaa tämän vuosisadan lopulla joissakin tilanteissa jopa yli kaksi metriä nykyistä keskitasoaan korkeammalle, on selvästi nykyistä suurempi (taulukko 4).

Sopeutuminen ilmastonmuutokseen vaatii myös pääkaupunkiseudulla selkeitä toimenpiteitä. Esimerkiksi kaavoituksessa tulee huomioida merenpinnan mahdollinen kohoaminen. Kesien pitkät hellejaksot voivat aiheuttaa ongelmia vanhenevan väestön keskuudessa. Lauhat ja kosteat talvet, jolloin sataa runsaasti vettä, voivat aiheuttaa rakennuksille uusia ongelmia, sillä rakennusten kosteusongelmien synnylle otollisia olosuhteita voi esiintyä selvästi nykyistä enemmän. Nykyistä runsaammat sateet voivat myös lisätä kulkuväylien päällysteiden hoidon tarvetta. Toisaalta lämmitysenergiaa tarvitaan vähemmän, ja liikenteessä kesäkelit jatkuvat pidempään syksyllä ja alkavat varhempain keväällä. Tämän ansiosta esimerkiksi pyöräilymahdollisuudet paranevat ja veneilykausi pitenee.

LIITE. Ilmastollisia perustietoja Helsinki-Vantaan lentoaseman, Kaisaniemen ja Katajaluodon ja Isosaaren havaintojen pohjalta.

Helsinki-Vantaan lentoasema													
kk	Lämpötila (°C)			Auringonpaiste (h)			Sade (mm)	Sadep. >0,1 mm (lkm)			Sadep. >1 mm (lkm)		
	ka	ylin	alin	ka	pienin	suurin	ka	ka	pienin	suurin	ka	pienin	suurin
1	5.2	2.6	8.5	37	17	77	44	23	17	30	10	1	18
2	5.7	2.9	9.3	76	15	155	34	19	11	26	8	0	17
3	2.2	1.1	5.6	125	35	208	35	16	7	23	8	3	16
4	3.3	7.5	0.7	180	88	293	36	14	0	25	7	0	16
5	10.0	15.5	4.4	273	182	341	35	11	3	19	6	1	12
6	14.6	19.8	9.3	275	187	350	49	13	6	19	8	1	17
7	16.9	21.8	11.8	274	160	405	69	14	4	25	9	2	19
8	15.3	19.9	10.7	218	133	343	78	15	4	25	11	3	21
9	10.1	14.0	6.1	138	60	236	69	16	6	24	11	2	18
10	5.2	8.1	2.2	82	32	125	75	18	9	26	11	4	21
11	0.1	2.5	2.4	35	5	79	69	21	17	28	12	2	21
12	3.2	0.8	6.6	27	6	49	57	23	15	29	12	3	22

Helsinki Kaisaniemi													
kk	Lämpötila (°C)			Auringonpaiste (h)			Sade (mm)	Sadep. >0,1 mm (lkm)			Sadep. >1 mm (lkm)		
	ka	ylin	alin	ka	pienin	suurin	ka	ka	pienin	suurin	ka	pienin	suurin
1	4.2	1.7	6.9				47	20	14	27	10	0	17
2	4.9	2.2	7.7				36	17	6	24	8	0	16
3	1.5	1.2	4.2				38	16	8	24	8	4	13
4	3.3	6.8	0.4				36	13	7	25	7	1	18
5	9.9	14.0	6.0				32	10	4	19	6	1	11
6	14.8	18.7	11.0				49	13	5	19	8	3	14
7	17.2	20.9	13.7				62	13	3	23	8	1	18
8	15.8	19.3	12.6				78	16	2	24	11	0	18
9	10.9	13.9	8.1				66	16	3	25	10	3	17
10	6.2	8.6	3.8				73	17	6	27	10	4	20
11	1.4	3.6	0.8				68	20	9	29	12	3	21
12	2.2	0.2	5.0				58	21	12	27	11	4	21

Katajaluoto ja Isosaari													
kk	Lämpötila (°C)			Auringonpaiste (h)			Sade (mm)	Sadep. >0,1 mm (lkm)			Sadep. >1 mm (lkm)		
	ka	ylin	alin	ka	pienin	suurin	ka	ka	pienin	suurin	ka	pienin	suurin
1	4.4	2.2	6.9	34	16	54	32	18	11	29	9	1	17
2	5.6	3.1	8.2	76	17	136	24	15	8	23	7	1	18
3	2.7	0.2	5.4	132	46	221	27	15	7	23	7	2	13
4	1.7	4.1	0.3	183	93	304	33	12	3	26	7	2	16
5	7.5	10.6	5.3	282	182	336	31	10	3	21	6	1	10
6	13.3	16.1	11.0	286	206	361	39	12	5	19	7	3	14
7	16.0	18.7	13.7	290	160	412	55	12	5	21	8	2	16
8	15.6	18.0	13.5	247	157	361	69	14	3	23	10	0	17
9	11.5	13.5	9.6	151	70	254	60	14	4	21	10	3	17
10	6.9	8.6	5.2	89	43	147	63	16	6	24	10	3	21
11	2.1	3.9	0.3	35	7	73	54	18	10	27	11	2	20
12	1.6	0.4	3.8	20	9	40	45	19	11	28	11	2	19

ka keskiarvo

Sadep. (lkm) >0,1 mm (lkm) keskimääräinen sadepäivien lukumäärä kun rajana on 0,1 mm

Sadep. >1 mm (lkm) keskimääräinen sadepäivien lukumäärä kun rajana on 1 mm



TULVIEN MUUTTUMINEN VANTAANJOELLA JA ESPOONJOELLA

OSA B

Noora Veijalainen
Kalle Sippel
Bertel Vehviläinen

Suomen Ympäristökeskus 2009

Sisällysluettelo, osa B

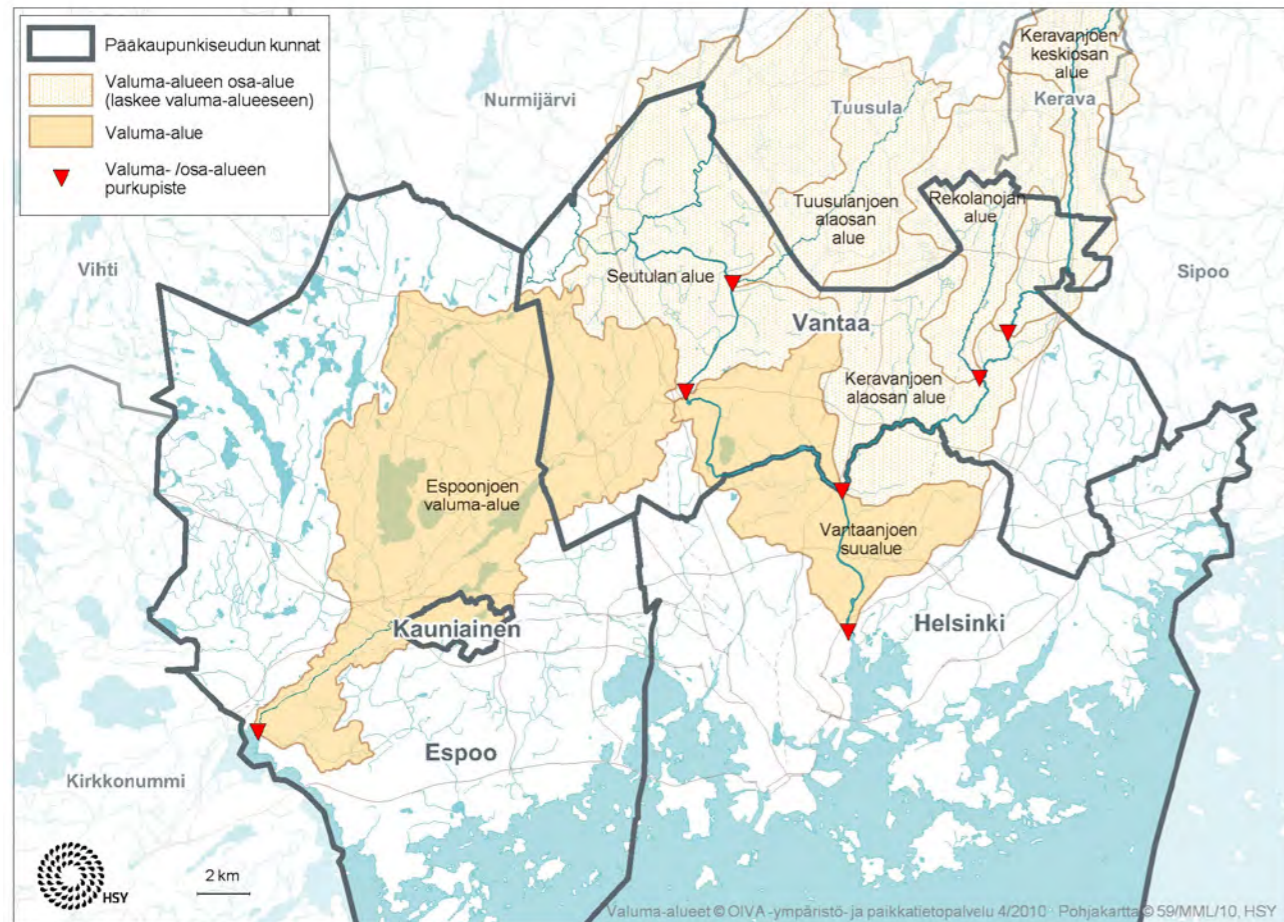
1. JOHDANTO.....	40
2. ALUEEN KUVAUS	
2.1 Vantaanjoen vesistöalue.....	41
2.2 Espoonjoen valuma-alue.....	42
3. KÄYTETTY MENETELMÄ.....	43
4. ILMASTOSKENAARIOT.....	44
4.1 Harvinaisten sateiden muuttuminen.....	46
5. HYDROLOGINEN MALLI.....	47
6. TULOKSET	
6.1 Vantaanjoki.....	48
6.2 Espoonjoki.....	51
6.3 Tulva-alueiden muuttuminen.....	52
7. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ.....	53

1. Johdanto

Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan merkittävästi tulvien yleisyyteen ja ajoitukseen Suomessa. Tässä työssä ilmaston muutoksen vaikutuksia vesistötulviin Vantaan ja Espoonjoella arvioitiin käyttäen Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Vesistömallijärjestelmää (Vehviläinen ym. 2005) ja useita ilmasto skenaarioita. Vesistömallijärjestelmän tärkein osa on konseptuaalinen hydrologinen malli, jota käytetään operatiivisessa tulvaennustamisessa ja tutkimuksessa.

Työssä vesistötulvat simuloitiin referenssijaksolle 1961-2008 sekä kolmelle tulevaisuuden jaksolle 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100. Tutkimuksessa arvioidaan eri toistumisajan (keskimäärin

kerran 20-100 vuodessa toistuvat) tulvien muuttumista. Ilmastonmuutos otetaan vesistömallissa huomioon muuttamalla referenssijaksen havaintoihin perustuvia lämpötiloja ja sadantoja valitun ilmastokenaarion mukaisesti. Virtaamat ja veden korkeudet simuloidaan sitten käyttäen näitä lähtötietoja. Harvinaisia sateita muutetaan lisäksi tavanomaisista sateista poikkeavasti, sillä ilmastonmuutoksen on arvioitu kasvattavan erityisesti rankkoja sateita. Tulvien suuruudet arvioidaan todennäköisyysjakaumaa (Gumbel) käyttäen ja tulevaisuuden jaksoille arvioitua tulvia verrataan referenssijaksolle arvioituhin tulviin. Simuloinnit tehtiin neljällä ilmastokenaariolla, jotta voitaisiin arvioida ilmastonmuutokseen liittyviä epävarmuuksia.



KUVA 1. Pääkaupunkiseutu ja Vantaan- ja Espoonjokien valuma-alueet.

2. Alueen kuvaus

2.1 VANTAAN VESISTÖALUE

Vantaan vesistöalueen (vesistötunnus 21) pinta-ala on 1 685,92 km² (kuva 2). Vantaanjoen pääuoman pituus on 101 km ja vesistöalueen jokien yhteispituus noin 300 km. Pääuoma alkaa Hausjärveltä Erköjärvestä ja laskee Suomenlahteen Helsingissä Vanhankaupunginkoskella. Vantaan pisne sivujoki on Keravanjoki, joka yhtyy pääuomaan Helsingin ja Vantaan rajalla. Muita huomattavia sivujokia ovat Luhtaanmäenjoki (johon laskevat Luhtajoki ja Lepsämänjoki), Tuusulanjärvestä alkava Tuusulanjoki, Palojoki ja Kytäjoki. Vantaan vesistöalueella havainnoidaan reaalitilaisesti vedenkorkeuksia ja virtaamia useassa paikassa. Tärkeimmät havaintoasemat ovat Vantaankosken yläpuolella sijaitseva Myllymäki (havaintoja vuodesta 1959) sekä Keravanjoen Hanala (havaintoja vuodesta 1940), joiden yhteenlasketusta vir-

taamasta saadaan Oulunkylän virtaamahavainto. Vesistöalueen huomattavimpia järviä ovat Tuusulanjärvi, Valkjärvi, Ridasjärvi, Hirvijärvi sekä Kytäjärvi. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tutkittaessa tarkasteluksi valittiin Oulunkylä, Myllymäki, Hanala sekä Lepsämänjoki.

Vantaanjoella havaintojaksen ylivoimaisesti suurin tulva on ollut vuonna 1966 keuhällä; Oulunkylässä virtaama oli 317 m³/s, Myllymäessä 228 m³/s ja Keravanjoella Hanalassa 63 m³/s. Viihteisten kahdenkymmenen vuoden suurin tulva oli vuonna 2004 kesällä. Sen suuruus oli kuitenkin selvästi suurinta havaittua pienempi; Oulunkylässä virtaama oli 175 m³/s, Myllymäessä 119 m³/s ja Hanalassa 48 m³/s, eikä tulvan laskennallinen toistumisaika ole koko vuoden tulvat huomioiden kovin suuri (n. 7 vuotta Oulunkylässä ja Myllymäessä, Hanalassa tosin 28 vuotta), mutta kesäkaan se on havaintojaksen suurin tulva.



KUVA 2. Vantaanjoen vesistöalue, sen tulvakartoitetut alueet (rasteroituna), ilmastonmuutoksen vaikutuksen tarkastelupisteet (vihreät pisteet) sekä muut tärkeimmät vedenkorkeuden ja/tai virtaaman havaintoasemat (punaiset pisteet).

Vantaanjoen vesistöalueen alaosan yksityiskohtaiset tulvavaarakartat kattavat alueen Vanhankaupunginkosken ja Rajakosken välillä, Vantaankosken alue pois lukien. Kartoitetut tulvat ovat toistumisajoiltaan 20, 50, 100 ja 250 vuotta. Lisäksi Keravanjoen alaosan tulvavaarakartat kattavat alueen noin joen puolesta välistä alas Vantaanjoen yhtymäkohtaan asti. Tulvakartat löytyvät internetistä osoitteesta <http://www.ymparisto.fi/tulvakartat>.

2.2 ESPOONJOEN VALUMA-ALUE

Suomenlahden rannikkoalueen vesistöalueeseen kuuluvan Espoonjoen valuma alueen pinta-ala on 132,34 km² (kuva 3). Espoonjoen tärkein virtaaman ja vedenkorkeuden havaintoasema on nimeltään Espoonjoki, joka sijaitsee Kehä III:n tuntumassa Kauklahdessa. Pisteestä on havaintoja suhteellisen lyhyeltä ajalta, vuodesta 1995 lähtien. Tämä jakson suurin havaittu virtaama on 11,7 m³/s vuoden 1999 keväältä. Valuma alueen suurimmat järvet, joista on myös vedenkorkeushavaintoja, ovat Bodom, Lippajärvi ja Pitkäjärvi.

Esponjoen tulvakartoitettu alue kattaa Espoonjoen pääuoman ympäristön Keski- ja Etelä-Espoossa (ks. www.ymparisto.fi/tulvakartat).



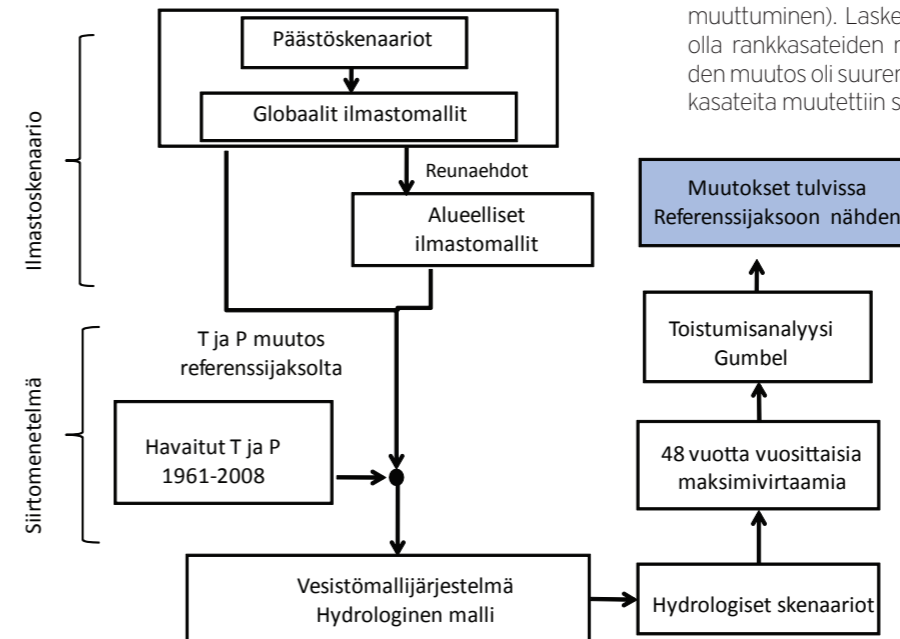
KUVA 3. Espoonjoen valuma-alue, tulvakartoitettu alue (rasteroituna), tarkastelupiste (vihreä piste) sekä muut havaintoasemat (punaiset pisteet).

3. Käytetty menetelmä

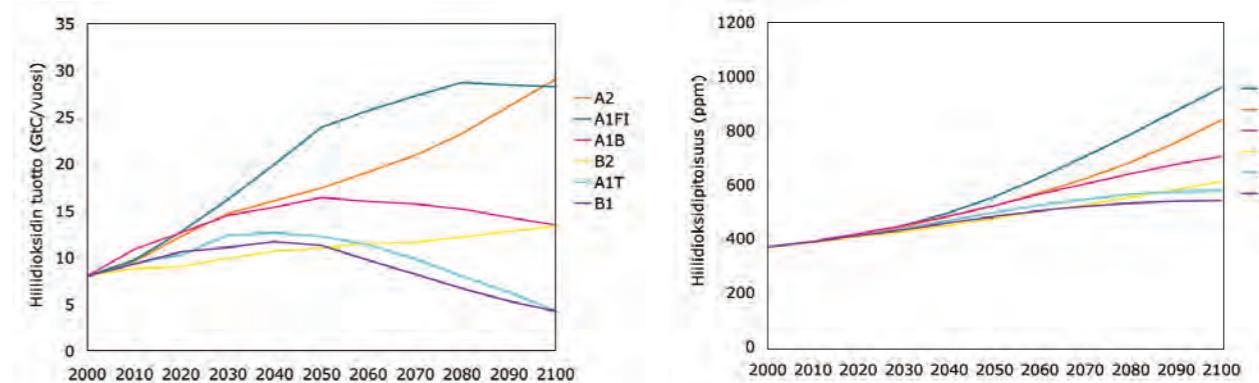
Tulvien muutokset arvioidaan Vantaanjoella ja Espoonjoella Vesistömallijärjestelmän simuloiteja ja Gumbelin jakaumaa käyttäen (kuva 4). Vesistömallijärjestelmällä on simuloitu 48 vuoden jakso päivittäisiä virtaamia, joista on poimittu vuosi maksimit hydrologiselta vuodelta syyskuu-elokuu. Virtaamamaksimeihin on sovitettu Gumbelin todennäköisyysjakauma ja sen perusteella laskettu kunkin toistumisajan tulvien suuruudet. Samat laskelmat on tehty sekä referenssijaksolle 1961-2008 havaittuja sadantoja ja lämpötiloja käyttäen että samalla referenssijaksolla käyttäen jaksoille 2011-2040, 2041-2070 ja 2071-2100. Ilmastonmuutos on otettu huomioon lisäämällä

referenssijaksoson havaittuihin lämpötiloihin ja sadantoihin ilmastomallien ennustama lämpötilan ja sadannan muutos kuukausittain (ns. deltamuutosmenetelmä) (Andreasson et al. 2004). Laskennoissa on käytetty neljää ilmastoskenaariota globaaleista ja alueellisista ilmastomalleista, jotka on saatu Ilmatieteen laitokselta ja ENSEMBLES-projektista.

Simuloinneissa on erikseen huomioitu ennakoitu rankkojen sateiden kasvu, joka voi pahentaa etenkin pienten valuma-alueiden tulvatilannetta erityisesti kesäisin. Rankkoja sateita (vuorokausisadanta yli 20 mm) on kasvatettu erikseen alueellisten ilmastomallien päivittäisten tulosten perusteella arvioidun muutoksen mukaisesti (katso kappale Harvinaisten sateiden muuttuminen). Laskennat tehtiin myös kahdella muulla versiolla rankkasateiden muutoksesta, joissa toisessa rankkasateiden muutos oli suurempi kuin peruslaskelmissa ja toisessa rankkasateita muutettiin samalla tavalla kuin tavanomaisia sateita.



KUVA 4. Kaavio tulvatutkimuksen vaiheista.



KUVA 5. Hiilidioksidin päästöjen (vasen kuva) ja pitoisuuden (oikea kuva) arvioitu kehitys kuudella SRES-päästöskenaariolla. Eri skenaariot poikkeavat toisistaan mm. väestönkasvun, teknikan kehityksen ja ympäristönsuojeluun panostamisen suhteen. (Ruosteenoja 2007).

4. Ilmastoskenaariot

Ilmastomuutos huomioidaan tehtävissä laskelmissa käyttäen ilmastoskenaarioita. Ilmastoskenaariot perustuvat päästöskenaarioihin ja näiden pohjalta tehtyihin globaalien ja mahdollisesti myös alueellisten ilmastomallien tuloksiin.

Päästöskenaariot ovat oletuksia ilmakehän kasvihuonekaasujen määrän kehittymisestä tulevaisuudessa (kuva 5). IPCC julkaisi nykyiset ns. SRES (Special Report on Emission Scenarios) päästöskenaariot vuonna 2000 (IPCC 2000). Päästöjen kehitys riippuu mm. maapallon väestön, talouden ja tekniikan kehityksestä. Eri päästöskenaariot voivat poiketa toisistaan merkittävästi riippuen niiden lähtöoletuksista. Kuitenkin, kuten kuvasta 5 nähdään, hiilidioksidin pitoisuus on kaikilla skenaarioilla lähes sama aina 2030 luvulle asti. Päästöskenaarioiden merkitys kasvaa vuosisadan lopulle mennessä, mutta lähitulevaisuuden arvioille ilmastomuutoksen suuruudesta skenaarioiden merkitys on melko pieni.

Suurimmat erot etenkin lähitulevaisuudessa eri ilmastoskenaarioissa johtuvat niiden laskentaan käytetyistä erilaisista ilmastomalleista. Nämä mallit kuvaavat ilmastojärjestelmää tietokoneohjelman muotoon puettujen fysiikan lakien avulla. Tietokoneiden rajallisen suorituskyvyn takia monet ilmiöt joudutaan kuvaamaan malleissa yksinkertaistettuina. Eri malleissa tämä ongelma on ratkaistu eri tavoin, ja pääasiassa juuri tästä syystä mallien tulokset poikkeavat toisistaan. (Ruosteenoja 2007) Etenkin lähitulevaisuudessa luontainen vaihtelu on vielä ilmastosignaaliin verrattuna suurta, mikä selittää osan ilmastomallien eroista.

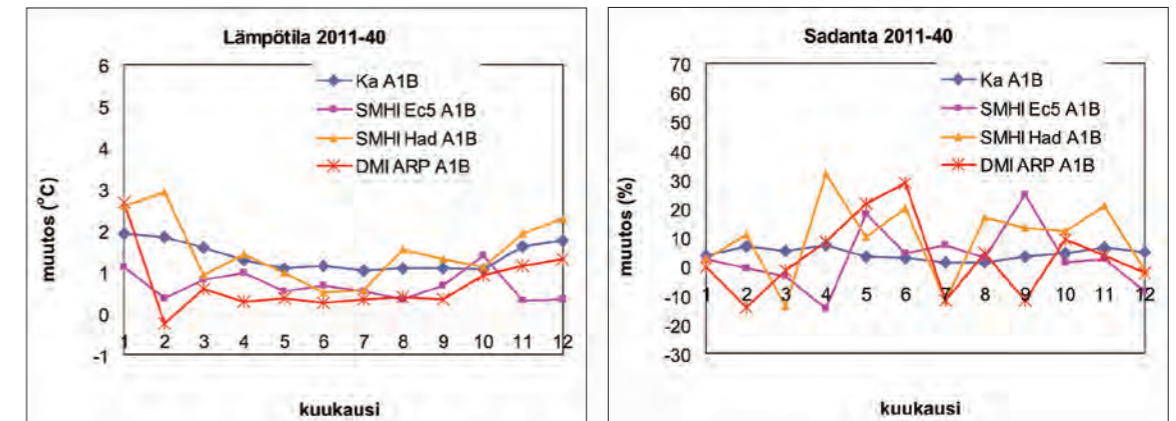
Käytettävät ilmastomuutoskenaariot on saatu Ilmatieteen laitokselta ja EU:n ENSEMBLES projektista. Yksi skenaario on Ilmatieteen laitoksen laskema 19 globaalin mallin keskiarvo A1B päästöskenaariolla ja loput kolme ovat osa ENSEMBLES projektin alueellisia skenaarioita. Alueelliset skenaariot on tehty kahdella eri alueellisella mallilla käyttäen reunaehtona kolmea globaalia mallia (taulukko 1). Ilmastoskenaariot valittiin kuvaamaan ilmastomuutoksen mahdollisimman erilaisia vaikutuksia, jotta ilmastomuutokseen liittyvät epävarmuudet saataisiin otetuksi huomioon. Päästöskenaario on kaikissa sama A1B päästöskenaario, jossa kasvihuonekaasujen päästöt ovat lähellä keskimääristä. Jatkossa skenaarioista käytetään taulukossa 1 määriteltyjä lyhenteitä.

TAULUKKO 1. Käytetyt ilmastoskenaariot

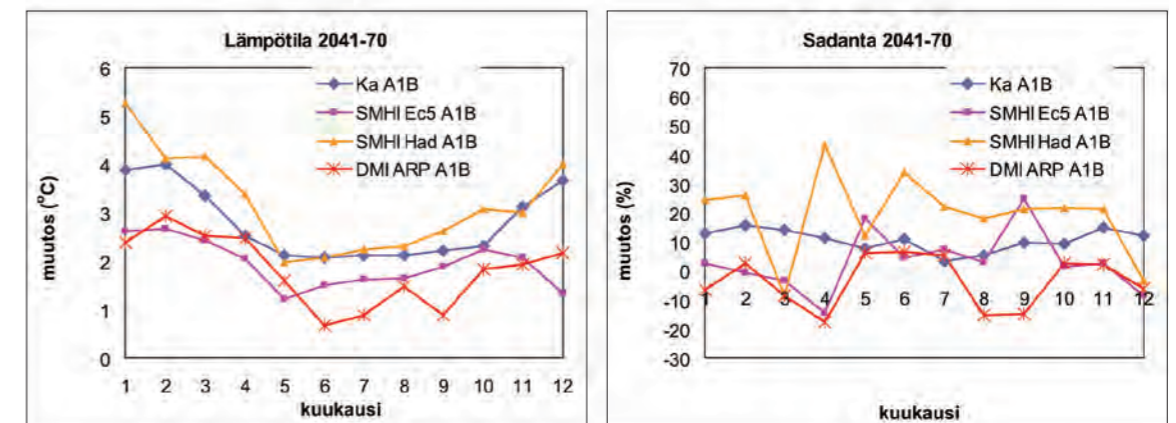
Mallin ajanut instituutti	Alueellinen ilmastomalli	Globaali ilmastomalli	Päästöskenaario	Lyhenne
useita		19 mallin keskiarvo	A1B	Ka A1B
SMHI (Ruotsi)	RCA3	HadCM3 Q3	A1B	SMHI Had A1B
SMHI (Ruotsi)	RCA3	ECHAM5	A1B	SMHI Ec5 A1B
DMI (Tanska)	HIRHAM	CNMR/ARPEGE	A1B	DMI ARP A1B

Kuvista 6-8 nähdään eri skenaarioiden mukainen lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen vesistöalueella jaksolta 1971-2000 jaksolle 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 mennessä. Vaihtelu eri kuukausien lämpötilojen ja sadantojen muutoksen välillä on varsin suurta. Tämä johtuu pääosin sään luonnollisen vaihtelun suuruudesta. Erityisesti jaksolla 2011-40 ilmastomuutoksen vaikutus ei vielä ole niin suuri, että se erottuisi selvästi luontaisesta vaihtelusta. Siten tarkastelujaksolle sattumalta osuneet lämpimät/kylmät ja sateiset/kuivat kuukaudet vaikuttavat saatuun muuttokseen ja tuovat satunnaisen elementin mukaan tarkasteluun. Tästä syystä on tärkeää tarkastella useita eri skenaarioita. Ilmastoskenaariot on siirretty hydrologiseen malliin ns. delta-muutosmenetelmällä eli lisäämällä skenaarioiden arvioimat lämpötilan ja sadannan kuukausimuutokset referenssijaksosta havaittuihin sadantoihin ja lämpötiloihin.

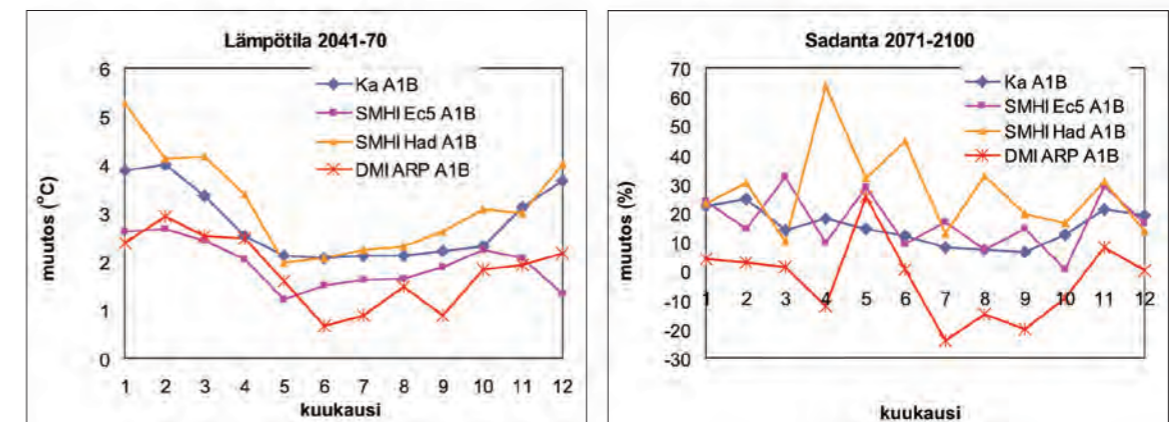
Useissa ilmastoskenaarioissa on arvioitu, että kylmät jaksot lämpenevät keskimääräistä enemmän (IPCC 2007), minkä vuoksi lämpötilan muutoksen suuruuden oletettiin tässä tutkimuksessa riippuvan lämpötilasta. Kyseinen riippuvuus on arvioitu alueellisten mallien päivittäisten tulosten perusteella eri vuodenaajoille. Tällöin lämpötila muuttuu enemmän alhaisemmilla lämpötiloilla ja kylmät talvipäivät lämpenevät suhteessa eniten. Lämpötilan muutos on kuitenkin skenaariosta riippuen mukaisella astemäärällä.



KUVA 6. Lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen valuma-alueella jaksolta 1971-2000 jaksolle 2011-2040 neljän eri ilmastoskenaarioiden mukaan.



KUVA 7. Lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen valuma-alueella jaksolta 1971-2000 jaksolle 2041-2070 neljän eri ilmastoskenaarioiden mukaan.



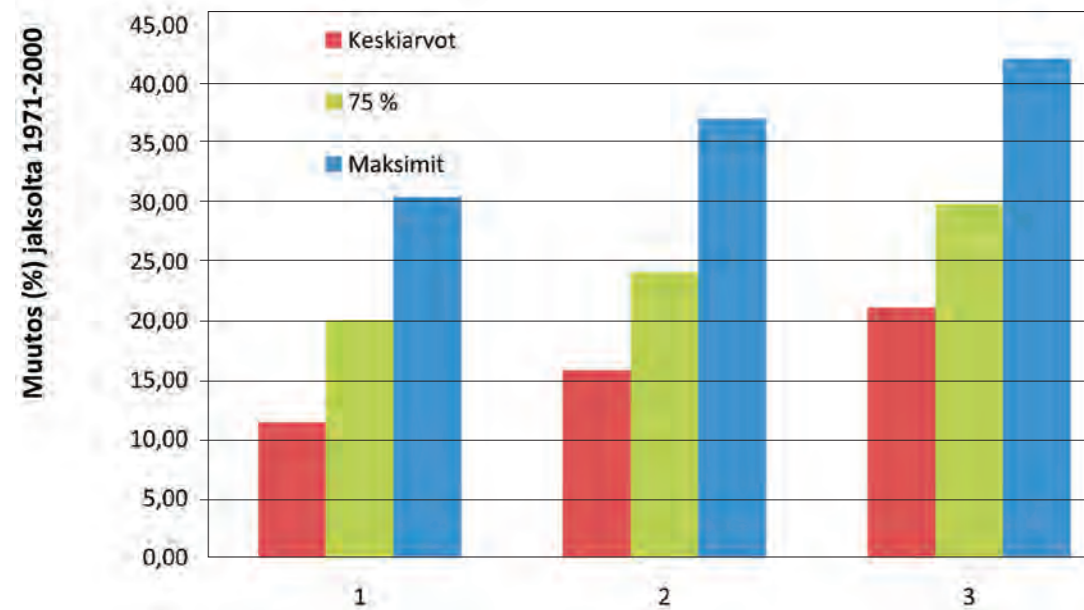
KUVA 8. Lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen valuma-alueella jaksolta 1971-2000 jaksolle 2071-2100 neljän eri ilmastoskenaarioiden mukaan.

4.1 HARVINAISTEN SATEIDEN MUUTTUMINEN

Harvinaisten sateiden on arvioitu muuttuvan ilmastomuutoksen vaikutuksesta enemmän kuin tavanomaisten sateiden (IPCC 2007). Rankkasateiden muuttuminen vaikuttaa myös tulvien suuruuteen, joten se otettiin tarkastelussa erikseen huomioon. Harvinaisten sateiden muuttumista on hankala arvioida ilmastomallien tuloksista, joten siihen liittyy vielä huomattavia epävarmuuksia. Tämä on yksi merkittäviä oletuksia, joita tässä tarkastelussa on jouduttu tekemään.

Harvinaisten sateiden muutos arvioitiin erikseen sovitamalla alueellisista ilmastomalleista laskettu Vantaanjoen alue sadantaan Gumbelin jakauma ja vertaamalla jaksojen 2011-40,

2041-70 ja 2071-2100 kerran 20 vuodessa toistuvia sadantoja vastaaviin jaksojen 1971-2000 sadantoihin. Viiden alueellisen mallin tulosten perusteella touko-lokakuun rankkasateiden muutokset olivat 2011-40 20 %, jaksolle 2041-70 24 % ja jaksolle 2071-2100 30 % (Kuva 9). Laskennassa käytettiin 75 % fraktaalimallin mukaista muutosta, jotta riski tulvien kasvamiselle otettaisiin riittävästi huomioon ja muutos tehtiin kaikkiin yli 20 mm vuorokausisadantoihin. Laskennat tehtiin vertailun vuoksi myös maksimimuutoksilla ja kokonaan ilman tätä vaihtoehtoa, jolloin harvinaiset sateet muuttuvat samalla tavalla kuin muutkin sadannat.

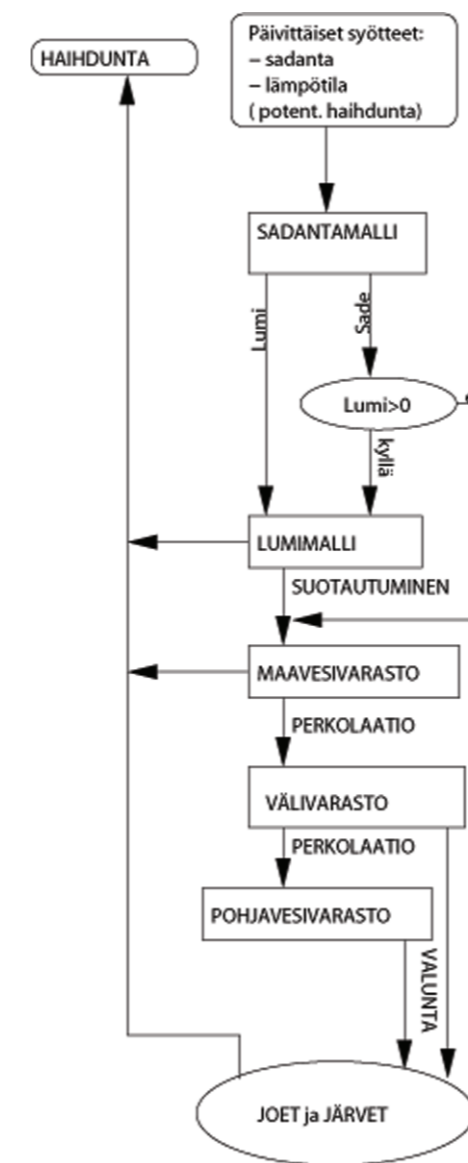


KUVA 9. Tulva-arvioinnissa käytetyt kerran 20 vuodessa toistuvan aluesadannan muutokset jaksolta 1971-2000 jaksolle 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 Vantaanjoen valuma-alueelle.

5. Hydrologinen malli

Vesistömalli koostuu hydrologisesta sadanta-valuntamallista sekä joki- ja järvimalleista. Vesistömallin lähtötietoina ovat päivittäinen sadanta ja lämpötila. Haihdunta voidaan saada havainnoista tai laskea lämpötilan, sadannan ja päivämäärän perusteella, kuten tehdään ilmastomuutoslaskennoissa. Mallin simuloimat muuttujat ovat aluesadanta, evapotranspiraatio (maa- ja kasvillisuus-haihdunta), lumivarasto, maankosteus, järvihaihdunta, pinta-, pintakerros- ja pohjavesivarasto, valunta sekä virtaamat ja vedenkorkeudet tärkeimmässä joksissa ja jär-

vissä. Sadanta-valuntamallin tärkeimmät osat ovat sadanta, lumi, maankosteus sekä pintakerros- ja pohjavesivarastot. Mallin perusrakenne näkyy kuvassa 10. (Vehviläinen et al. 2005). Virtaamat ja vedenkorkeudet simuloidaan käyttäen lähtötietoina sadantoja ja lämpötiloja, jotka perustuvat referenssi-jaksolla havaintoihin ja joita tulevaisuuden jaksolla muokataan ilmastokeskenaarioiden mukaisesti. Haihdunta lasketaan sadannan, lämpötilan ja päivämäärän (auringonsäteilyn indikaattori) perusteella (Vehviläinen ja Huttunen 1997).



KUVA 10. Vesistömallin perusrakenne (Vehviläinen ja Huttunen 2002).

6. Tulokset

6.1 VANTAANJOKI

Vantaanjoen Oulunkylässä kerran 100 vuodessa toistuvat tulvat pienenevät referenssijakssoon verrattuna jaksolla 2011-40 keski määrin 3 %, jaksolla 2041-70 5 % ja jaksolla 2071-2100 12 % (**taulukko 2**). **Kuvassa 11** on esitetty 48 vuoden simulointien keski määräiset ja suurimmat virtaamat Oulunkylässä. Muutokset ylempänä Vantaanjoen pääuomassa Myllymäessä ovat saman kaltaisia kuin Oulunkylässä (**taulukko 3**).

TAULUKKO 2. Oulunkylän tulvien muuttuminen jaksolla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

Toistumisaika (vuotta)	20			100		
	Min	Keskiarvo	Max	Min	Keskiarvo	Max
Referenssi 1961-2005	195			245		
2011-2040 (m ³ /s) Muutos	183 5.9 %	189 3.0 %	196 +0.5 %	232 5.2 %	238 2.9 %	244 0.4 %
2041-2070 (m ³ /s) Muutos	169 13.4 %	187 4.2 %	201 +3.2 %	214 12.5 %	233 4.6 %	253 +3.5 %
2071-2100 (m ³ /s) Muutos	155 20.4 %	175 10.2 %	194 +0.1 %	194 20.6 %	215 12.0 %	238 2.8 %

TAULUKKO 3. Myllymäen tulvien muuttuminen jaksolla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

Toistumisaika (vuotta)	20			100		
	Min	Keskiarvo	Max	Min	Keskiarvo	Max
Referenssi 1961-2005	141			177		
2011-2040 (m ³ /s) Muutos	133 5.9 %	138 2.5 %	143 +0.9 %	168 5.1 %	174 2.1 %	178 0.3 %
2041-2070 (m ³ /s) Muutos	125 11.6 %	137 2.8 %	149 +5.1 %	159 10.3 %	173 2.5 %	188 +6.1 %
2071-2100 (m ³ /s) Muutos	114 19.4 %	127 10.3 %	142 +0.6 %	143 19.4 %	156 11.8 %	174 1.6 %

TAULUKKO 4. Hanalan tulvien muuttuminen jaksolla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

Toistumisaika (vuotta)	20			100		
	Min	Keskiarvo	Max	Min	Keskiarvo	Max
Referenssi 1961-2005	42,7			53,5		
2011-2040 (m ³ /s) Muutos	42,3 0.9 %	43,4 +1,7 %	45,0 +5,4 %	53,5 +0.0 %	55,0 +2,9 %	56,4 +5,4 %
2041-2070 (m ³ /s) Muutos	39,7 6.7 %	43,4 +1,7 %	47,1 +10,2 %	51,5 3.7 %	55,1 +3,0 %	59,3 +11,0 %
2071-2100 (m ³ /s) Muutos	37,8 11.5 %	42,7 0,1 %	46,7 +9,4 %	48,2 9,9 %	53,5 +0,1 %	57,8 +8,2 %

Vantaanjoen sivuhaaroissa Keravanjoella (Hanala) ja Lepsämäjoella 100 vuoden tulvat keskimäärin kasvavat jaksolla 2011-40 ja jaksolla 2041-70, Lepsämäjoessa enemmän kuin Keravanjoessa (**taulukot 4 ja 5, kuva 12**). Jaksolla 2071-2100 Keravanjoen tulvat keskimäärin pysyvät nykyisen kaltaisina, kun taas Lepsämäjoessa on tälläkin jaksolla pientä kasvua (5 %) tulvien suuruudessa.

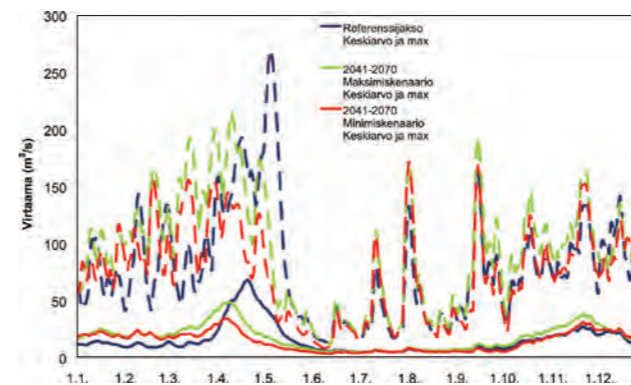
TAULUKKO 5. Lepsämäjoen tulvien muuttuminen jaksolla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

Toistumisaika (vuotta)	20			100		
	Min	Keskiarvo	Max	Min	Keskiarvo	Max
Referenssi 1961-2005	25,0			30,8		
2011-2040 (m ³ /s) Muutos	25,9 +3.4 %	26,3 +5,1 %	27,2 +8.4 %	32,5 +4.5 %	32,7 +6,4 %	33,5 +9.0 %
2041-2070 (m ³ /s) Muutos	24,7 1.2 %	27,0 +7,7 %	28,6 +14.1 %	30,6 +1.7 %	33,7 +9,4 %	35,3 +14.8 %
2071-2100 (m ³ /s) Muutos	23,6 6.0 %	26,1 +4,2 %	29,3 +17.2 %	29,5 4.0 %	32,1 +4,5 %	36,1 +17.4 %

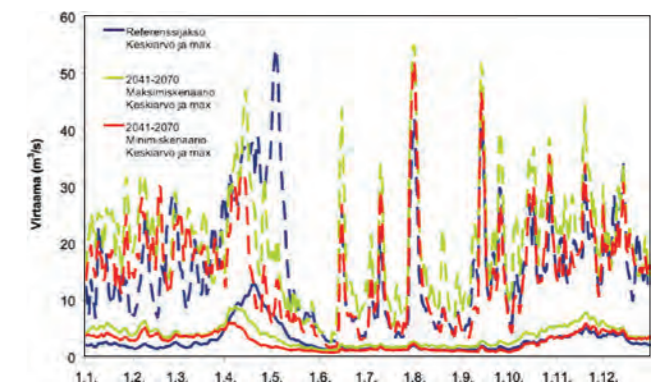
TAULUKKO 6. Vantaanjoen kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttuminen vedenkorkeuksien osalta (korkeustaso suluisissa) jaksolla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

	Oulunkylä			Myllymäki			Hanala		
	Min	Keskiarvo	Max	Min	Keski-arvo	Max	Min	Keski-arvo	Max
Referenssi 1961-2008	8,52 (NN-taso)			26,30 (NN-taso)			23,92 (N43-taso)		
2011-2040, muutos (cm)	10	6	1	10	2	2	0	2	4
2041-2070, muutos (cm)	26	10	8	20	4	14	2	2	7
2071-2100, muutos (cm)	44	26	6	40	22	2	5	0	4

Tulevaisuuden tulvat ovat suurimmillaan jaksolla 2011-2040 tai 2041-2070 ja pienenevät tämän jälkeen. Tämä johtuu lumen vähenemisestä, sillä jaksolla 2071-2100 lunta kertyy enää hyvin vähän ja sen sulamisesta aiheutuvat tulvat pienenevät merkittävästi. Tuloksista nähdään (**kuvat 11 ja 12**), että ilmastomuutoksen vaikutuksesta kevään virtaamahuippu pienenee ja aikaistuu ja syksyn ja talven virtaamat kasvavat. Lisäksi kesä tulvat kasvavat rankkasateiden lisääntymisen myötä.



KUVA 11. Vantaanjoen Oulunkylän simuloitujen virtaamien keskiarvot ja maksimit (sininen) referenssijaksolla 1961-2008 ja jaksolla 2041-70 minimi- (punainen) ja maksimiskenaariolla (vihreä).



KUVA 12. Keravanjoen Hanalan simuloitujen virtaamien keskiarvot ja maksimit referenssijaksolla 1961-2008 ja jaksolla 2041-70 minimi- ja maksimiskenaariolla.

Skenaarioiden erot ovat suuria ja skenaarioiden keskinäisen parhaimmiston arvioinnin on vaikeaa tai mahdotonta. Ilmaston muutoksen mallintaminen kehittyy kuitenkin koko ajan ja tiedon lisääntyessä ja menetelmien parantuessa arvioita kannattaa päivittää.

Tuloksia voidaan selittää alueen hydrologialla. Pienissä joissa tulva syntyy nopeasti lyhytkestoisten sadeiden seurauksena. Suuremmissa joissa tulvan syntyminen tarvitaan merkittävää lumen sulamista tai pitkään jatkuvia rankkoja sateita. Erityisesti lumen sulamisesta aiheutuvat tulvat pienenevät ja aiheuttavat Vantaanjoen tulvien keskimääräistä pienenemistä. Yhtenä syy nä tulvien pienenemiseen on myös havainthistorian ylivoimaisesti suurin, vuoden 1966 tulva Vantaanjoessa. Tuolloin lunta oli harvinaisen paljon, jopa 220 mm lumen vesiarvoksi muutettu na eli yli metrin verran. Lumi sulii nopeasti ja virtaama Vantaanjoessa oli Oulunkylässä 317 m³/s. Tämä referenssijaksolle osuva

ja muista havainnoista selvästi poikkeava arvo nostaa jakson tulvien suuruuksia. Ilman vuoden 1966 tulvaa referenssijakson kerran 100 vuodessa toistuvat tulvat olisivat pienempiä eli niihin verrattuna tulevaisuuden jaksojen tulvat olisivat suurempia.

Taulukossa 7 on vertailtu rankkasateiden muuttumisen vaikutusta keskimääräisiin 100 vuoden tulvien muutoksiin Vantaanjoella. Maksimimuutossarakkeessa rankkasateita (yli 20 mm) on kasvatettu viiden alueellisen ilmastomallin maksimimuutoksen mukaisesti (kuva 9). Toisissa laskelmissa (Ei muutosta) rankkasateet muutettiin samalla tavalla kuin muutkin sadannat. Aiemmin esitetyissä tuloksissa rankkasateita muutettiin viiden alueellisen ilmastomallin 75 % fraktaalien mukaisesti eli näiden kahden vaihtoehdon väliltä. Rankkasateiden muutos vaikuttaa erityisesti kesän tulviin, jotka kasvavat selvästi etenkin pienemmissä joissa.

TAULUKKO 7. Kerran 100 vuodessa tulvavirtaamien keskimääräinen muutos Vantaanjoella rankkasateiden maksimimuutoksen kanssa ja ilman rankkasateiden muista sateista poikkeavaa muutosta.

	Kohde							
	Oulunkylä		Myllymäki		Hanala		Lepsämäenjoki	
	Maksimimuutos	Ei muutosta	Maksimimuutos	Ei muutosta	Maksimimuutos	Ei muutosta	Maksimimuutos	Ei muutosta
2011-2040, muutos (%)	0,4	6,0	0,3	4,3	+7,7	4,9	+9,1	+3,3
2041-2070, muutos (%)	0,8	8,1	+0,4	5,1	+10,0	4,6	+13,2	+6,2
2071-2100, muutos (%)	7,9	16,9	8,6	15,3	+7,0	11,7	+8,2	+0,4

6.2 ESPOONJOKI

Espoonjoen kerran 100 vuodessa toistuvat tulvat kasvavat jaksolla 2011-2040 5 %, jaksolla 2041-2070 2 % ja pienenevät jaksolla 2071-2100 4 % (taulukko 8, kuva 13). Maksimimuutokset ovat suurimmillaan jaksolla 2041-2070 jopa 15 %. Keskimääräinen tulvien muutos on varsin pieni, mutta maksimimuutoksella vedenkorkeus nousee lähes 20 cm. Arvioitu virtaaman kasvu vastaa nykyisen kerran 100 vuodessa toistuvan virtaaman muuttumista lähes tulvakartoituksessa käytetyn kerran 1000 vuodessa toistuvan tulvavirtaaman suuruiseksi (taulukko 9). Eli tulvavirtaama, joka aiemmin toistui keskimäärin kerran 1000 vuodessa, voisi tulevaisuudessa maksimiskenaariolla toistua keskimäärin kerran 100 vuodessa. Tulva-alueet eivät kuitenkaan välttämättä

kasvaisi nykyisistä tulvakartoituksessa merkityistä alueista. Tämä johtuu mallinnuksessa käytetyistä purkautumiskäyrien oletuksista, joilla suloidut vedenkorkeudet eivät nouse yhtä korkealle kuin tulvakartoituksessa käytetyt vedenkorkeudet (taulukko 9).

Taulukosta 10 nähdään, että rankkasateiden suuremmalla maksimimuutoksella tulvat kasvavat lähivuosis kymmeninä Espoonjoessa. Mikäli rankkasateiden muista sateista poikkeavaa muutosta ei oteta huomioon, Espoonjoen tulvat pysyvät keskimäärin nykyisen kaltaisena jaksolla 2011-2040 ja 2041-2070 ja pienenevät vuosisadan lopulla.

TAULUKKO 8. Espoonjoen tulvavirtaamien muuttuminen jaksolla 2011-2040, 2041-2070 ja 2071-2100 referenssijaksosta. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

Toistumisaika (vuotta)	20			100		
	Min	Keskiarvo	Max	Min	Keskiarvo	Max
Referenssi 1961-2005	13,4			16,7		
2011-2040 (m ³ /s) Muutos	12,4 7,2 %	13,8 +3,1 %	14,9 +11,4 %	15,4 7,6 %	17,5 +4,6 %	19,1 +14,0 %
2041-2070 (m ³ /s) Muutos	12,2 8,5 %	13,5 +1,1 %	15,1 +11,9 %	15,1 9,8 %	17,0 +1,9 %	19,2 +14,7 %
2071-2100 (m ³ /s) Muutos	11,2 16,6 %	12,9 3,2 %	14,6 +9,5 %	14,0 16,5 %	16,0 4,0 %	18,6 +8,5 %

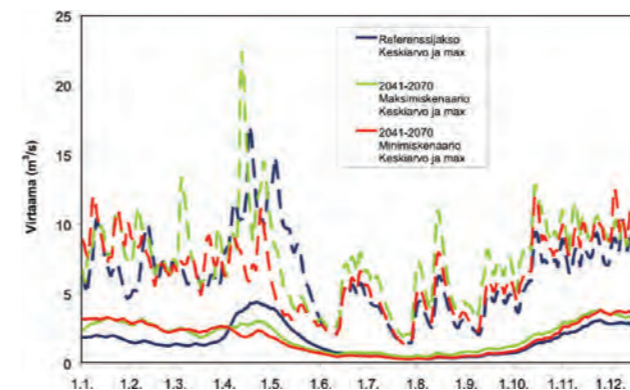
TAULUKKO 9. Espoonjoen kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttuminen vedenkorkeuksien osalta (N60-taso) jaksolla 2011-2040, 2041-2070 ja 2071-2100 referenssijaksosta. Neljän skenaarion minimi- ja maksimi- ja keskiarvon muutos.

	Toistumisaika (vuotta)		
	Min	Keskiarvo	Max
Referenssi 1961-2005	2,65*		
2011-2040 muutos (m)	0,10	0,06	0,18
2041-2070 muutos (m)	0,12	0,02	0,19
2071-2100 muutos (m)	0,11	0,05	0,15

TAULUKKO 10. Kerran 100 vuodessa tulvavirtaamien keskimääräinen muutos Espoonjoella rankkasateiden maksimimuutoksen kanssa ja ilman rankkasateiden muista sateista poikkeavaa muutosta.

	Espoonjoki	
	Maksimimuutos	Ei muutosta
2011-2040 muutos (%)	+6,7	+1,8
2041-2070 muutos (%)	+5,1	-1,6
2071-2100 muutos (%)	0,6	8,6
2041-2070 muutos (m)	0,12	0,02
2071-2100 muutos (m)	0,11	0,05

*Riippuu purkautumiskäyrän ekstrapoloinnista, tulvakartoissa suurempi vedenkorkeus (3,41 m N60) vaikka virtaama sama.



KUVA 13. Espoonjoen simuloitujen virtaamien keskiarvot ja maksimit referenssijaksolla 1961-2008 ja jaksolla 2041-2070 minimi- ja maksimiskenaariolla.

6.3 TULVA-ALUEIDEN MUUTTUMINEN

Vantaanjoen kartoitetut tulva alueet ovat pääuoman läheisydessä Myllymäen ja Oulunkylän välillä ja Myllymäestä ylävirtaan sekä Keravanjoen alajuoksulla. Vantaanjoen pääuomassa tulvat pysyvät ennallaan tai pienenevät, joten merkittävää muutosta tulva alueisiin ei ole odotettavissa. Nykyisten tulvakarttojen uusin ei siten ole tarpeellista, mutta nykyiset kartoitetut tulva alueet tulisi luonnollisesti huomioida kaavoituksessa. Lisäksi vuoden 2004 tulva osoitti että tulviin varautumisessa on yhä parantamisen varaa. Tulvien ajoituksen muuttuminen voi tosin vaikuttaa tulvien aiheuttamiin vahinkoihin, sillä Uudenmaan ympäristökeskuksen arvion mukaan kasvillisuus vaikuttaa veden virtaukseen siten, että kesällä kasvillisuuden ollessa runsasta sama virtaama voi nostaa vedenkorkeuden korkeammalle kuin keväällä. Tätä pidetään yhtenä mahdollisena selityksenä vuoden 2004 kesätulvan aiheuttamiin vahinkoihin. Virtaama ei tuolloin noussut kovin suureksi: sen toistumisaika oli Vantaanjoessa vain noin kerran 7 vuodessa. Ilmastomuutoksen vaikutuksesta kesä tulvat kasvavat, kun rankkasateiden oletetaan lisääntyvän, ja nämä tulvat saattavat siis nostaa vedenkorkeuksia enemmän kuin niiden virtaamansa puolesta pitäisi.

Keravanjoella, Lepsämänjoella ja Espoonjoella tulvat kasvoivat hieman etenkin jaksoilla 2011-40 ja 2041-70. Keskimääräiset muutokset eivät kuitenkaan ole kovin suuria, joten nykyisille tulville arvioituja tulvakarttoja voidaan periaatteessa käyttää myös, kun ilmastomuutos otetaan huomioon. Joillain ilmastoskenaariolla tulvavirtaaman muutokset olivat kuitenkin suurempia kuin keskimäärin johtuen suuremmasta sadannan kasvusta. Tarvittaessa ilmastomuutokseen voidaan näissä kohteissa varautua ottamalla suunnittelussa käyttöön entistä suurempaa toistumisaikaa vastaava tulvavaarakartta. Eli esimerkiksi kerran 100 vuodessa toistuvan tulva alueen sijaan varaudutaan nykytilanteen kerran 250 vuodessa toistuvan tulvan tulva alueeseen.

5. Johtopäätöksiä

toistuvien tulvien muuttumisesta eri ilmastoskenaarioilla on esitetty **taulukossa 11**. Tällainen tai tätä suurempi tulva toistuu siis keskimäärin kerran 100 vuoden aikana eli sen todennäköisyys on jokaisena vuonna 1 %. Toteutuessaan näin suuri tulva aiheuttaisi merkittäviä vahinkoja. Tuloksen perusteella Vantaanjoen pääuomassa (Oulunkylä ja Myllymäki) tulvat keskimäärin pienenevät ilmastomuutoksen vaikutuksesta johtuen lumen määrän vähenemisestä. Sen sijaan Vantaanjoen pienemmissä sivuhaaroissa Keravanjoessa (Hanala) ja Lepsämänjoella sekä Espoonjoella tulvat keskimäärin kasvavat hieman jaksoilla 2011-40 ja 2041-70 johtuen lähinnä rankkojen sateiden ja talvitulvien lisääntymisestä.

Vantaanjoella ilmastomuutos ei siis ilmeisesti aiheuta merkittäviä muutostarpeita tulviin varautumisessa. Tosin ilmastomuutoksen vaikutukset ovat vielä epävarmoja ja esimerkiksi rankkojen sateiden muuttuminen nyt arvioitua enemmän voi

muuttaa tuloksia. Lisäksi vuoden 2004 tulva osoitti, että rakennuksia on paikoin rakennettu tulvariskialueelle ja tulviin varautumisessa on parantamisen varaa jo tämän päivän ilmastoloissa. Pienemmissä joissa, Keravanjoessa ja Lepsämänjoessa sekä Espoonjoessa tulvat kasvoivat, mutta keskimääräiset muutokset olivat pieniä; vedenkorkeudet kerran 100 vuodessa tulvan aikana kasvavat Hanalassa ja Espoonjoessa vain noin 2-6 cm. Havaintojen perusteella arvioidut tulvakartat ovat siis käytännöllisiä myös ilmastomuutos huomioon ottaen. Maksimalisenaariolla muutokset olivat hieman suurempia; vedenkorkeudet kasvoivat 7-19 cm. Tarvittaessa ilmastomuutokseen voidaan näillä kohteilla varautua ottamalla suunnittelussa käyttöön entistä suurempaa toistumisaikaa vastaava tulvakartta. Esimerkiksi kerran 100 vuodessa toistuvan tulva alueen sijaan voidaan varautua kerran 250 vuodessa toistuvan tulvan tulva alueeseen.

TAULUKKO 11. Kerran 100 vuodessa toistuvan tulvavirtaaman muuttuminen referenssijaksolta 1961-2008 jaksoille 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100. Keskiarvo neljästä skenaariosta.

	2011-40	2041-70	2071-2100
Oulunkylä	2,9 %	4,6 %	12,0 %
Myllymäki	2,1 %	2,5 %	11,8 %
Hanala	+2,9 %	+3,0 %	+0,1 %
Lepsämänjoki	+6,4 %	+9,4 %	+4,5 %
Espoonjoki	+4,6 %	+1,9 %	4,0 %



ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET PÄÄKAUISEUDULLA

OSA C

Suvi Järvinen
Susanna Kankaanpää
Johannes Lounasheimo
Päivi Aarnio

HSY Seututieto 2010

Sisällysluettelo, osa C

1. JOHDANTO	
1.1 Ilmastomuutoksen vaikutusten luonne.....	58
1.2 Vaikutuksista ja epävarmuustekijöistä.....	58
2. VAIKUTUKSET YHDYSKUNTIIN	
2.1 Rakennettu ympäristö.....	59
2.2 Rakennukset ja rakenteet.....	60
2.3 Vesihuolto.....	61
2.4 Jätehuolto.....	61
2.5 Energiahuolto.....	62
3. LIIKENNE	
3.1 Tieverkostot ja lentoliikenne.....	63
3.1.1 Houkuttelevuus.....	63
3.1.2 Häiriöttömyys.....	63
3.1.3 Liikenneturvallisuus.....	63
3.1.4 Teiden kunto.....	64
3.2 Raideliikenne.....	64
3.3 Merenkulku ja satamat.....	65
3.4 Tietoliikenne.....	65
4. LUONTO JA KULTTUURIYMPÄRISTÖ	
4.1 Luonnon monimuotoisuus ja viheralueet.....	66
4.2 Kulttuuriympäristö.....	67
4.3 Itämeri.....	68
5. VESISTÖ- JA RANNIKKOALUEET	69
6. TERVEYSVAIKUTUKSET	
6.1 Lämpötilan vaikutukset terveyteen.....	70
6.2 Ilmanlaatu.....	70
6.3 Henkinen hyvinvointi.....	71
7. SOSIAALISET VAIKUTUKSET	
7.1 Virkistys ja vapaa-aika.....	72
7.2 Vaikutusten kohdentuminen ja haavoittuvimmat väestöryhmät.....	73
8. TALOUS	74
9. TURVALLISUUS	75
10. MUUALLA TAPAHTUVIEN VAIKUTUSTEN MERKITYS	77
11. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	78

1. Johdanto

1.1 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUSTEN LUONNE

Ilmaston on havaittu muuttuneen nopeasti viimeisen vuosisadan aikana. Syynä pidetään lähes yksinomaan ihmistoiminnan aiheuttamaa kasvihuoneilmiön voimistumista. Suomessa lämpötila on noussut nopeammin kuin maapallolla keskimäärin: vuosina 1908–2008 Suomen keskilämpötila nousi 0,9 °C, koko maapallolla vastaavasti 0,8 °C (Ilmatieteenlaitos 2009d). Useat lämpenemisen vaikutukset liittyvät muutoksiin sääntä ilmiöiden esiintymisessä. Näitä ilmiöitä on nykyisinkin, mutta ilmastonmuutoksen myötä niiden esiintymisalueiden, tiheyden ja voimakkuuden ennustetaan lisääntyvän. (Ympäristöministeriö 2008).

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat luonteeltaan välittömiä sekä välillisiä. Välittömillä vaikutuksilla tarkoitetaan ympäristössä tapahtuvia, suoraan ilmastonmuutoksesta johtuvia muutoksia. Nämä tapahtumat synnyttävät välillisiä, kumuloituvia vaikutuksia, jotka voivat näkyä esimerkiksi sosiaalisena, taloudellisena, ekologisena tai yhteisöllisenä muutoksena (ks. Kohl 2009; Peltonen ym. 2005). Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkasteltaessa on tärkeää huomioida myös välilliset vaikutukset, sillä niiden seuraukset voivat olla yhtä merkittäviä tai merkittävämpiä kuin välittömien vaikutusten.

Tässä katsauksessa tarkastellaan ilmastonmuutoksen suoraa ja välillisiä vaikutuksia pääkaupunkiseudulla erityisesti rakennetun ympäristön osalta. Katsaus perustuu julkaistuihin tutkimuksiin ja selvityksiin ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomessa ja pääkaupunkiseudulla. Ilmastonmuutoksen kansalliseen sopeutumisasiin strategiaan (Marttila ym. 2005) koottiin tietoja ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomessa. FINADAPT tutkimushanke (Carter 2007) kokosi vaikutustietoa sekä arvioi suomalaisen ympäristön ja yhteiskunnan kykyä sopeutua ilmastonmuutokseen. ISTO tutkimusohjelman (2006–2010) hankkeissa on jatkettu ilmastonmuutoksen vaikutusten ja sopeutumisen tutkimusta. Aiemmin ilmastonmuutoksen vaikutuksia pääkaupunkiseudulla on selvitetty YTV:n vuonna 2001 julkaisemassa raportissa (Pelin 2001).

Tässä katsauksessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkastellaan osittain sektorikohtaisesti, mutta usein näkökulmaa on tarpeen laajentaa sektorijattelun ulkopuolelle. Jo hinkin osa alueisiin kohdistuvia seurauksia on tutkittu paljon, kun taas jotkin osa alueet ovat puutteellisesti tunnettuja tutkimustiedon vähyyden takia. Tämän vuoksi tieto ilmastonmuutoksen seurauksista on hyvin eritasoisista.

1.2 VAIKUTUKSISTA JA EPÄVARMUUSTEKIJÖISTÄ

Katsauksen ilmastotiedot perustuvat IPCC:n neljänteen arviointiraporttiin (IPCC 2007b) ja Ilmatieteenlaitoksen laatimaan ”Pääkaupunkiseudun ilmastonmuutoskuvaus” -raporttiin (Ilmatieteenlaitos 2009d). Ilmastotiedon suhteen merkittävien kehitysten jälkeen IPCC:n raportin julkaisemisen on entistä parempi ymmärrys ilmastojärjestelmästä, epävarmuuksista ja kasvihuonekaasujen päästöjen kehityksestä (Rummukainen ja Källén 2009).

Lämpötilan ja sateisuuden muutokset kytetään nykytiedon perusteella arvioimaan suhteellisen hyvin. Sen sijaan tuulisuuden muutoksiin ja Itämeren merenpinnannousuun liittyy yhä epävarmuustekijöitä ja ristiriitaisuuksia. Keskituulennopeuden arvioidaan lisääntyvän hieman. Tämä johtuu osaksi siitä, että tuulisuus lisääntyy, kun Itämeri on yhä pidempiä aikoja jäättömänä. Valtameren pinnannousu tuntuu myös Itämerellä, mutta pitkäaikaisen vedenpinnan korkeuteen vaikuttavat myös useat muut tekijät. Esimerkiksi maanpinnan kohoamisen takia kokonaisvaikutuksen arvioiminen on hankalaa.

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuneet päästöt ovat nousseet 2000-luvulla yhtä nopeasti, kuin IPCC:n jyrkimmissä ennusteissa (Ilmatieteenlaitos 2009d). Merkäli kasvihuonekaasupäästöt eivät käänny pian radikaaliin laskuun, on edessä jopa yli 4 °C:n nousu maailman keskilämpötilassa (Environmental Change Institute 2009). On arvioitu, että yhteiskunnat kykenevät sopeutumaan enintään 2 °C:n lämpötilannousuun esiteolliseen aikaan verrattuna. Maapallon keskilämpötilan noustessa tätä korkeammaksi on epävarmaa, kytäänkö sopeutumisto menpiteillä enää hallitsemaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia yhteiskunnille. (Richardson ym. 2009).

2. Vaikutukset yhdyskuntaan

2.1 RAKENNETTU YMPÄRISTÖ

Ilmastonmuutoksen myötä sateiden ja rankkasateiden arvioidaan lisääntyvän. Hulevedet ovat pääasiassa kaduilta, pihoilta ja katoilta valuvia sade- ja sulamisvesiä ja ne ovat tyypillisesti kaupunkilainen ilmiö. Asfaltilla katetussa kaupunkiympäristössä hulevesien määrän kasvu lisää taajamatulvien riskiä. Hulevesien muodostumisen ja hallinnan kannalta rakennetun ympäristön maankäytöllä on keskeinen rooli. Kaupunkien laajeneminen rakentamattomille alueille lisää vettä läpäisemättömien pintojen alaa, mikä kasvattaa hulevesien määrää. Hulevedet myös kuljetavat mukanaan ravinteita ja epäpuhtauksia. Esimerkiksi Helsingin kantakaupungin alue on sekaviemäroityä, jolloin hulevedet menevät jätevesien mukana vedenpuhdistamoon. Kantakaupungin ulkopuolella on kuitenkin käytössä erillisviemärointi, jolloin hulevedet johdetaan suoraan käsittelemättöminä vesistöön (Helsingin Vesi 2008).

Hulevesiä tuottavat etenkin alueet, joissa on laajoja asfaltoituja pintoja ja suuria kattopinta-aloja, kuten kaupan suuryksiköt, logistikkakeskukset ja erilaiset varikot (Vantaan kaupunki 2009a). Suomessa hulevesien mahdollisimman nopea johtaminen viemärijärjestelmään on ollut perinteisesti tavoitteena. Kaupunkien kasvaessa ja asfaltilla pinnoitettujen alueiden kasvaessa tämä ei kuitenkaan ole osoittautunut kestäväksi ratkaisuksi. (Aaltonen ym. 2008).

Kovilla rankkasateilla viemärien kapasiteetti voi ylittyä, jolloin viemärit tulvivat kaduille. Hulevesitulvista koituu kaupungeissa vahinkoa etenkin rakennuksille, kun vesi valuu kellareihin ja vaurioittaa rakenteita ja tavaroita (Aaltonen ym. 2008). Hulevesitulvat voivat aiheuttaa haittoja myös liikenteelle tehden sekä maanpäällisistä että alaisista kulkuväylistä kulkukelvottomia.

Mikroilmaston huomioiminen kaupunkisuunnittelussa on tärkeää niin alueen miellyttävyyden, asukkaiden terveyden kuin energiankulutuksen kannalta. Mikroilmastoon voidaan vaikuttaa kaupunkisuunnittelun keinoin mm. rakennusten sijoittamisella, koolla ja muodoilla. Pohjoisen ilmastossa suljettujen tai osittain suljettujen korttelien on havaittu olevan hyviä luomaan miellyttävämpää mikroilmastoa kaupungeissa. Lisäksi katujen sijoittamisella, suuntaamisella ja leveydellä on merkittävä vaikutus kaupunkien mikroilmastoon. (Kuismanen 2008). Kaupunkialueilla pitkät, suorat kadut voivat talvisin olla hyvin kylmiä ja tuulisia, samoin kuin oleskeluun tarkoitettu piha- ja viheralueet. Liiallinen tuulisuus koetaan sitä epämiellyttävämpänä mitä kylmempi ilma on: jo muutaman sekuntimetriin muutos tuulennopeudessa voi tuntua jopa viiden asteen lämpötilaerona. (Wahlgren ym. 2008).

TAULUKKO 1. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista rakennettuun ympäristöön.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
lisääntyvät taajamatulvat riskinä asutusten kellareille, kaupunkien maanalaisille rakenteille ja kaduille	+/- lisääntyvä tuulisuus voi tehdä kaupunkialueista epäviihtyisiä (vaikutus epävarma)	+ talvien leudontuminen vähentää lämmitystarvetta
lämpötilannousu lisää kesäisin jäähdytystarvetta	+/- lisääntyvä tuulisuus lisää lämmityskustannuksia (vaikutus epävarma)	+ lumen määrän vähentyminen vähentää mm. aurauksen ja muita hoitokustannuksia

2.2 RAKENNUKSET JA RAKENTEET

Ilmastonmuutos asettaa rakennuksille ja rakenteille haasteita monin tavoin. Lämpenevä ilmasto yleisesti ottaen vähentää lämmitystarvetta, mikä voi näkyä lämmityskustannusten pienentämisenä. Suomessa lämmitystarpeen on arveltu vähenevän vuosisadan loppuun mennessä 20-30 % (IPCC 2007a). Tosin kesäisin rakennusten jäädytystarve voi lisääntyä kuumien jaksoiden pitenevien sekä keskilämpötilan nousun johdosta (Saarelainen 2006; Ilmatieteenlaitos 2009d).



KUVA 1. Vantaanjoen tulva 2004 Tikkurilan Vernissapuistossa. Kuva: Ulla-Maija Rimpiläinen.

Mikäli ilmastonmuutoksen myötä tuulisuus lisääntyy, on tällä asuntoja jäähdyttävä vaikutus: konvektion johdosta asunnot menettävät lämpöä. Kun kovenevat tuulet lisäävät asuntojen lämmitystarvetta, on tärkeää huolehtia asuntojen eristämisestä ja suojaamisesta tuulelta. Tuulen kylmentävää vaikutusta voidaan vähentää huolehtimalla asuntojen eristämisestä ja tuulelta suojaamisesta kaupunkisuunnittelun keinoin ja lisäksi erilaisin luonnollisin (esim. puusto) ja rakennetuin keinoin, jotka johtavat tuulet asuntojen yli. (Kuismanen 2008).

Kosteuden ja sateisuuden lisääntyminen ilmastonmuutoksen myötä kasvattaa rakennusten kosteusvaurioiden, materiaalien pilaantumisen ja rakenteiden lujuuden vähenemisen riskejä (Kuismanen 2008). Lisäksi tulvat voivat aiheuttaa vahinkoja. Asuminen voi kallistua rakennusten ylläpito- ja tulvavahinkokustannusten noustessa. Kosteuden lisääntyminen vähentää maaperän kykyä pidättää vettä, ja pohjavesien pinta voi vaihdella aiempaa enemmän kosteiden ja kuivien kausien vuorotellen. Tämä saattaa aiheuttaa maaperän lujuuden vähenemistä, vaikuttaa rakenteiden kantavuuteen ja johtaa perustusten ja paalutusten vaurioitumiseen. (Saarelainen 2006).

Leutoinkin talvina voi esiintyä äärimmäisen kylmiä ilmoja, mikä aiheuttaa lisästressiä rakennuksille muun muassa aiheuttaen ennenaikaista rakenteiden vanhenemista (Kuismanen 2008). Lumimäärät niukenevat, minkä johdosta lumenhuoltoon ottamisen tarve rakennus- ja rakennesuunnittelussa vähenee (Saarelainen 2006). Leudompina talvina myöskin lumipeitteen maaperää lämmittävä vaikutus vähenee, mikä voi lisätä vesiputkien jäätymistä. Toisaalta ilmaston lämpeneminen vähentää jäätymisriskiä.

TAULUKKO 2. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista rakennuksiin ja rakenteisiin.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
riskit rakennuksille ja rakenteille rasiituksen (kosteus, tulvat...) lisääntyessä: korjaustarve ja taloudelliset kustannukset voivat lisääntyä	+/- roudan väheneminen ei muuta roudan suojaustarvetta, sillä kylmiin talviin on edelleen varauduttava	+ lämmityskustannukset voivat vähentyä lämpenemisen johdosta
roudan vähentyminen ja maaperän lisääntyvä kosteus vähentävät maaperän lujuutta		+ roudan väheneminen vähentää routavaurioita
kosteuden lisääntyminen ja kuumat kesät vaativat tarpeeksi tehokkaan ilmastointijärjestelmän		
talvisin hyvin kylmät ilmat mahdollisia: lisästressiä rakennuksille ja rakenteille		

2.3 VESIHUOLTO

Keskeisin ilmastonmuutoksen asettama haaste vesihuololle on voimakkaat sateet ja rankkasateet, ja niiden myötä lisääntyvät hulevedet ja taajamatulvat (ks. luku 2.1). Vesihuoltolain (9.2.2001/119) 9§:n mukaan vesihuoltolaitosten on vastattava hulevesien poisjohtamisesta, mutta tulevan lakiuudistuksen myötä vastuu siirtynee kunnille.

Viemäriverkostojen käyttöikä voi tulvien takia lyhentyä aiemmasta suunnitellusta ja niiden huolto- ja kunnossapitotarve lisääntyy (Aaltonen ym. 2008). Rankkasateet voivat aiheuttaa ongelmia myös jätevedenpuhdistamoilla, kun viemäriverkostojen ylikuormittumisen johdosta jätevesiä saatetaan joutua päästämään käsittelemättömänä vesistöihin (HS 31.7.2004a). Tämä aiheuttaa hetkellistä vesistöjen saastumista, minkä seurauksena voi olla muun muassa kalakuolemia ja uimavesien pilaantumista.

Pohjavedenottamot ovat arkoja tulvista johtuvalle saastumiselle, mikäli pohjavedestä otettua talousvettä ei käsitellä mitenkään. Esimerkiksi jokitulvan aikana pohjavedenottamoiden kaivoihin voi päästä saastunutta vettä. Tilanne voi muodostua erityisen pahaksi, jos vesistöön on tulvan takia jouduttu päästämään käsittelemättömiä jätevesiä, jotka sitten nousevat vedenottamoihin.

Ilmastonmuutoksen myötä kesien kuivuuskaudet voivat lisääntyä. Tämä voi aiheuttaa ongelmia pohjaveden laatuun, mikäli pohjaveden muodostus heikkenee. Jos pohjaveden happipitoisuus laskee, voivat mm. metallien pitoisuudet pohjavedessä nousta haitallisen korkeiksi. (Silander ym. 2006).

TAULUKKO 3. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista vesihuoltoon.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
maaperän kosteuspitoisuuden noustessa sadevesien imeytyminen maaperään hidastuu, mikä edesauttaa tulvien syntymistä		+ lisääntyvä sademäärä voi paikoin talvella parantaa pohjaveden laatua
viemäriverkostojen ylikuormittumisen riski: jätevesien ohjauksutukset aiheuttavat vesistöjen saastumista		
jäteveden ohjauksutuksen ja juomaveden säästämisen kustannukset		
jäteveden sekoittumisen riski juomaveden tulvan aikana		
kuivuuskausien aikana riskit pohjavesien laadun heikkenemiseen		

2.4 JÄTEHUOLTO

Jätehuoltoon kohdistuvat vaikutukset liittyvät lähinnä jätteiden säilytykseen kaatopaikoilla. Kaatopaikkoja suunniteltaessa sääntöjen liittyvät riskit otetaan huomioon, mutta ilmastonmuutoksen myötä nämä voivat nykytilanteen verrattuna kasvaa. Nykyiset kaatopaikat on rakennettu siten, ettei lisääntyvä sademäärä

pitäisi olla haittaa, mutta tulvien voi liittyä riskejä. Etenkin tulvaherkällä alueella kaatopaikan sijoittamiseen ja suojaamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Jos tulvavedet pääsevät kosketuksiin jätteiden kanssa, voi syntyä jätehuuhtoumia. (Saarelainen 2006).

TAULUKKO 4. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista jätehuoltoon.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
jätehuuhtoumien mahdollisuus tulvien johdosta		+ leudommat talvet saattavat parantaa kompostorien toimintaa

2.5 ENERGIAHUOLTO

Ilmastonmuutoksen merkittävimmät vaikutukset energiasektorille johtuvat ilmastonmuutoksen hillintätavoista, mutta myös ilmastonmuutoksen suorilla vaikutuksilla on merkitystä energia-sektorin toimintaan. Lämpenemisen myötä energiankysynnän kausivaihtelut pienenevät jossain määrin: talvisin lämmitystarve vähenee ja kesäisin jäähdytystarve lisääntyy. Kaukolämmön tarve pääkaupunkiseudulla vähentyy, kun rakennusmääräykset kiristyvät ja rakennusten eristämisen tehostuu. Kuitenkin kylmiä kausia on yhä odotettavissa talvisin, samoin kuin kuumia kausia kesäisin ja kysyntähuippu on varauduttava. (Marttila ym. 2005). Perrels ym. (2005) mukaan taloudelliset vaikutukset energiasektorille ovat luultavasti negatiivisia, mutta kuluttajien lämmityskustannusten aleneminen voi synnyttää myönteisiä taloudellisia vaikutuksia muille aloille.

Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät sään ääri ilmiöt ovat uhka sähköjakelujärjestelmän toimivuudelle. Esimerkiksi johtolinjat ovat alttiita vaurioille linjoille lumi- ja jääkuorman tai tuulien takia katkeilevien oksien ja puiden vuoksi (Marttila ym. 2005; Kirkinen ym. 2006, Saarela ym. 2006). Pääkaupunkiseudulla on kuitenkin suhteellisen vähän ilmajohtoja: esimerkiksi Helsingin alueella riski koskee noin 166 kilometriä siirto- ja keskijännitejohtoja (Aalto 2008). Riskejä sähköjakelujärjestelmälle asettavat myös tulvat, jotka voivat vahingoittaa keskeisiä sähköjakelujärjestelmän kohteita (esim. muuntajia) ja aiheuttaa sähkökatkoksia. Lisäksi lisää-

ntyvä sademäärä voi nostaa pohjaveden pintaa, jolloin maajohtojen ja kaapeleiden vahingoittumisen riski kasvaa (Kirkinen ym. 2006).

Ilmastonmuutos vaikuttaa useampiin uusiutuviin energianlähteisiin, kun luonnonolot muuttuvat ja kysyntä kasvaa. Sen sijaan hiili-, maakaasu- ja ydinvoiman tuotantoon ei ilmastonmuutos sellalla näyttäisi olevan juurikaan vaikutuksia (Marttila ym. 2005, Kirkinen ym. 2006). Merenpinnan nousu voi kuitenkin aiheuttaa riskejä rannikolla sijaitseville ydinvoimaloille.

Tuulisuuden mahdollinen lisääntyminen (Ilmatieteenlaitos 2009d) voi kasvattaa jonkin verran tuulivoimapotentiaalia. (ks. esim. Tuuliatlas 2009). Metsä- ja peltoenergiaenergian potentiaalinarvioidaan niiden kääntä kasvavan (Perrels ym. 2005). Toisaalta tuholaisien määrä voi lisääntyä ja bioenergian korjuu- ja kuljetusolosuhteet heikentyä roudan vähentyessä ja maan vettyessä lisääntyvien sateiden johdosta.

Sateisuuden lisääntyminen voi teoriassa kasvattaa vesivoimapotentiaalia vuoden ympäri, mutta se ei välttämättä lisää energiantuotantoa samassa suhteessa. Lumen niukentuessa kevätvalunta vähenee ja runsaiden sateiden takia saatetaan joutua lisäämään ohjauksutusta, mikä vähentää sähkön tuotantoa. (Marttila ym. 2005).

TAULUKKO 5. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista energianhuoltoon.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
taloudelliset vaikutukset energia sektorille luultavasti negatiivisia	-/+ tuulivoimapotentiaali voi lisääntyä, mutta heikolla ja hyvin kovilla tuulilla edellytykset vähenevät	+ bioenergian kasvuedellytykset paranevat
ääri ilmiöt uhka sähköjakelujärjestelmän toimivuudelle	/+ vesivoiman potentiaali kasvaa, mutta sadanta ei kuitenkaan välttämättä lisää vesivoiman tuotantoa samassa suhteessa	
tulvat voivat vaurioittaa sähköjakelujärjestelmää (esim. muuntajia)		
bioenergian korjumahdollisuudet voivat heiketä ja tuotanto kärsiä tuholaisista		

3. Liikenne

3.1 TIEVERKOSTOT JA LENTOLIIKENNE

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tieverkostoon on arvioitu mm. Tiehallinnon (2009) selvityksessä, Ilmastonmuutoksen kansallisessa sopeutumisstrategiassa (Marttila ym. 2005) ja liikenne- ja viestintäministeriön (2009) ilmastopoliittisessa ohjelmassa. Lentoliikennettä on käsitelty näissä raporteissa, mutta yksityiskohtaisempia vaikutusarvioita tai lentoliikennettä koskevia sopeutumisstrategioita tai ohjelmia ei ole tehty. Finavia on kuitenkin laatinut sisäisiä arvioita koskien ilmastonmuutokseen sopeutumista (Viinikainen 2009).

3.1.1 HOUKUTTELEUVUUS

Kävely ja pyöräily voivat lisääntyä lämpenemisen myötä, sillä sulana kausi pidetty syksyisnä ja alkuaan keväisin aiemmin. Sademäärien lisääntyminen ja rankkasateet voivat kuitenkin ajoittain vähentää kevyen liikenteen suosiota, samoin kuin lisääntyvä liukkaus. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009; Marttila ym. 2005). Kuumien kausien piteneminen (Ilmatieteenlaitos 2009c) lisää ilmaston tarvetta liikennevälineissä kesäisin (IPCC 2007a). Kyse on sekä mukavuudesta että kuljettajan ja matkustajien turvallisuudesta. Joukkoliikenteen sopeutumisella kuumien kausiin saattaa olla merkitystä joukkoliikenteen houkuttelevuuteen kesäisin.

3.1.2 HÄIRIÖTTÖMYYS

Yleistyvät sään vaihtelut ja ääri ilmiöt voivat vaikuttaa päivittäiseen liikennöitävyyteen niiden teillä, raitteilla kuin merellä (Marttila ym. 2005). Joukkoliikenteessä saatetaan kokea häiriöitä muun muassa tulvien tai myrskyjen seurauksena: tammikuun 2005 talvimyrskyn takia Suomenlinnan lautat eivät pystyneet liikennöimään laiturien jäätyä tulvaveden alle (HS 10.1.2005). Myrskyt voivat lisäksi kaataa puuta teille ja tulvat sulkea kulkuväyliä. Viivästyksiä aikatauluista on odotettavissa henkilö-, rahti-, meri- ja lentoliikenteessä (Marttila ym. 2005).

3.1.3 LIKENNETURVALLISUUS

Ilmastonmuutos vaikuttaa liikenneturvallisuuteen sekä myönteisesti että kielteisesti. Sään äkillisten vaihteluiden vaikutus onnettomuuksiin maalla ja merellä on nostettu esiin sisäasiainministeriön (2008) Sisäisen turvallisuuden ohjelmassa. Sääolosuhteiden vaikutuksia liikenneonnettomuuksiin tilastoidaan Tiehallinnon toimesta vuosittain.

Lämpenemisen myötä liikenneväylät pysyvät sulina pidempiä aikoja (talven alussa ja lopussa), mikä lisää turvallisuutta. Vaikka autoilijat ovat varautuneet hyvin lumeen ja jäähän liittyviin riskeihin, ilmastonmuutos voi kuitenkin tuoda uudenlaisia riskejä. Tulevaisuudessa talvikuukausien sadannasta yhä suurempi osa tulee vetenä. Pakkasella vesi jäätyy tienpinnan vaaralliseksi. Liukaudentorjunnan tarve lisääntyy etenkin rannikon läheisyydessä sekä lentokentillä. (Marttila ym. 2005).

TAULUKKO 6. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista tieverkostoon ja liikenteeseen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
ääri ilmiöt esiintyessään vähentävät kevyen liikenteen suosiota ja tekevät ulkona liikkumisen epämiellyttäväksi ja paikoin vaaralliseksi	+/- routasuojaukset ovat edelleen tarpeen kylmien talvien varalta	+ kevyen liikenteen suosio voi kasvaa sulan kauden pidentyessä
ääri ilmiöt voivat vaikeuttaa liikennettä ja aiheuttaa viivästyksiä joukkoliikenteessä ja kuljetuksissa		+ liikenneväylät pysyvät sulina pidempään, mikä lisää turvallisuutta
liukkaus lisääntyy lisäten vaaratilanteita ja liukkaudentorjunnan tarvetta ja kustannuksia		+ lumenpoistotarpeen väheneminen vähentää kustannuksia
taajamatulvat voivat nousta tieväylille aiheuttaen ongelmia liikenteelle		+ roudan väheneminen vähentää routavaurioiden riskiä
ilmastonmuutos aiheuttaa rasisista tierakenteille, mikä lisää kunnossapidon kustannuksia		

Viime vuosina liukkaudentorjunnan tarve on pysynyt ennallaan Etelä Suomessa, mutta lumenpoiston tarve on vähentynyt. Vaikka lumen määrän vähenemisen lisäksi tieturvallisuutta, lumimyrskyjä luultavasti esiintyy tulevaisuudessakin. On havaittu, että mitä harvinaisempia vaativat talvikelit ovat, sitä suurempi onnettomuusriski niihin sisältyy. (Tiehallinto 2009). Pääkaupunkiseudulla lumen määrän ja lumipeitepäivien väheneminen (Ilmatieteenlaitos 2009d) näyttäisi tuovan kustannussäästöjä väylien talvihoidon osalta (Marttila ym. 2005). 90 % talvihoidon kustannuksista muodostuu lumenpoistosta ja liukkaudentorjunnasta (Tiehallinto 2009).

Riskejä liikenteelle aiheutuu myös kovista tuulista. Arvioitu tuulisuuden lisääntyminen (Ilmatieteenlaitos 2009d; IPCC 2007b) haittaa kävelijöiden ja pyöräilijöiden ulkona liikkumista. Liikkeen avoimilla alueilla, kuten silloilla, voi olla vaaraa kea ja vaarallista (Kuismanen 2008). Lisäksi kovat tuulet lisäävät puiden kaatumisen riskiä liikenneväylille (Saarelainen 2006). Matkustajaliikenteen osalta ääri ilmiöt voivat vaikuttaa matkustajien kokemaan turvallisuuden tunteeseen (Marttila ym. 2005).

Taajamatuulien nousu tienvarjoille voi aiheuttaa riskejä liikenteelle. Esimerkiksi Porin vuoden 2007 kaupunkitulvan yhteydessä peustasto men liikkuminen vaikeutui, kun tulva oli tehnyt joistakin sen käyttämistä reiteistä kulkukelvottomia (Porin kaupunkitulva 2008). Tällaiset tilanteet ovat mahdollisia muuallakin, mikäli varareittejä ei ole huomioitu ennakkoon.

3.1.4 TEIDEN KUNTO

Ilmastonmuutoksen vaikutukset kohdistuvat myös liikenteen vaatimaan infrastruktuuriin ja asettavat haasteita tienpidolle. Sääolosuhteet vaikuttavat teiden kuntoon ja sitä kautta kunnossapidon kustannuksiin. Yleistyvät rankkasateet voivat aiheuttaa vahinkoja tierakenteille. (Liikenne ja viestintäministeriö 2009; Marttila ym. 2005). Näin kävi esimerkiksi kaupunkitulvan yhteydessä Porissa, jossa rankkasateet ja tulvat aiheuttivat lukuisia vaurioita liikenneväylille (Porin kaupunkitulva 2008).

Lämpimät ja sateiset talvet pitävät tienpinnan paljain, mikä nopeuttaa teiden kulumista. Lisäksi talvisin lämpötilan sahaaminen nollan molemmin puolin rapauttaa tien pintoja. (Tiehallinto

2009). Nastarenkaiden käyttö lumettomilla teillä voi myös heikentää ilmanlaatua (ks. luku 6.1.1).

Routasyvyyden arvioidaan vähenevän Uudenmaan lumettomilla alueilla nykyisestä 120–140 cm:n keskiarvosta 20–40 cm:iin vuosisadan loppuun mennessä (Ilmatieteenlaitos 2009d). Routan vähentymisen myötä maaperän kantokyky heikkenee. Toisaalta tulevaisuudessa pakkasjaksoja saattaa esiintyä talvisin lumettomaan aikaan, jolloin routaa syntyy syvemmälle maaperään kuin lumen peittäessä maata. Yleisesti ottaen routa kuitenkin vähenee, mistä kärsivät etenkin soratiet. Ne vaurioituvat helposti sulan maan aikaan, erityisesti raskaan liikenteen alla, mikä kasvattaa sorateiden hoidon kustannuksia. (Tiehallinto 2009).

3.2 RAIDELIIKENNE

Lisääntyvät helteet ja vähentyvä routiminen lisäävät ratarakenteiden vaurioriskiä ja sitä mukaa myös turvallisuusriskiä. Maaperän kantokyvyn heikkeneminen aiheuttaa epätasaisuuksien syntymistä ratoihin, ja helteet käyrivät kiskoja, minkä vuoksi junien nopeuksia on paikoin alennettava. Vesistötulvat eivät sijaan ole nousseet junaradoille, mutta noustessaan ratapenkeiden tasolle ne voivat heikentää penkereiden kuntoa. Lisäksi pohjaveden pinnan kohoaminen vähentää ratarakenteiden kantavuutta ja siten lyhentää niiden elinkaarta. (Saarelainen ja Makkonen 2008).

Rataliikenteelle aiheuttavat riskejä kovat lumipyryt etenkin yhdistettyinä kovaan pakkaseen ja tuuleen. Kiskojen vaihteiden toiminta voi vaikeutua ja liikennöinti radoilla hidastua. Liukkaudentorjunnan lisääminen paitsi raiteilla, myös asemalaitureilla on tärkeää junaliikenteen matkustajien turvallisuuden kannalta. (Saarelainen ja Makkonen 2008).

Ilmastonmuutoksen vaikutukset aiheuttavat jo nyt ongelmia raitieliikenteelle, esimerkiksi junien myöhästymisiä aiheuttaneiden turvalaitteiden häiriöiden arvellaan lisääntyneen. Rataliikenteen kannalta ongelmallista on se, ettei häiriötilanteessa ole vaihtoehtoisia reittejä. (Saarelainen ja Makkonen 2008).

TAULUKKO 7. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista raitieliikenteeseen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
ratarakenteiden vauriot kasvavat pohjavedenpinnannousun, roudan vähentymisen ja vesistötulvien takia		
lumipyryt ja jäätymiset vaikeuttavat vaihteiden toimintaa		
liukkaudentorjunnan tarve lisääntyy		

3.3 MERENKULKU JA SATAMAT

Merenkululaitos (2009) on selvittänyt ilmastonmuutoksen vaikutuksia merenkulkuun. Leudontuvat talvet ovat merkittävä muutos merenkululle, mutta tämä ei välttämättä tarkoita helppompia olosuhteita ainakaan lähitulevaisuudessa. Vuosisadan loppua kohti mentäessä merenkulku voi helpottua Itämeren ollessa lähes kokonaan jäätön. (Merenkululaitos 2009). Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta jään peittävyys vähenee, jääpeite ohenee ja jäätalvi lyhenee. Suomenlahdella jäätömien päivien lukumäärä lisääntyy vuosisadan loppuun mennessä merkittävästi. Tällä on huomattavia vaikutuksia merenkulkuun, merikuljetuksiin sekä satamien ja jäänmurtajien toimintaan. (Ilmatieteenlaitos 2009d; Marttila ym. 2005).

Tuulisuuden ja myrskyjen tulevasta kehityksestä on vaikea antaa selkeää arviota. Tiedetään kuitenkin, että keskituulen nopeus kasvaa muutamalla prosentilla Itämeren ollessa tulevaisuudessa yhä pidempiä aikoja jäättömänä (Ilmatieteenlaitos 2009d). Tuulisuuden kasvaessa ja jääpeitteen vähentyessä aallokon ankaruus voimistuu merialueilla, mikä vaikuttaa meriliikennettä (Liikenne ja viestintäministeriö 2009; Merenkululaitos 2009). Lisäksi näkyvyyden odotetaan huononevan, kun lisääntyvä kosteus ja sateet muodostavat aiempaa enemmän sumua (Launiainen ym. 2008).

Satamille Itämeren jäätötilanteen muutokset voivat aiheuttaa päänvaivaa. Jäättömyys yhdistettynä tuulen nostattamaan aallokkoon ja merenpinnan nousuun lisää tulvien riskiä. Satamissa voi olla ympäristölle ja terveydelle vaarallisten aineiden varastoja,

joita rannkotelvat saattavat vahingoittaa (Merenkululaitos 2009). Lisäksi lounaan ja lännenpuoleiset tuulet lisäävät merijään ahtautumista talvisin satamien edustoille Suomenlahdella.

Vaikka jääpeite vähenee ja ohenee, talvimerenkululle on odotettavissa ajoittain vaikeita olosuhteita. Jääpeitteisen kauden lyheneminen tuo kuitenkin kustannussäästöjä merenkulun ja satamien talvikunnossapidolle. (Marttila ym. 2005).

3.4 TIETOLIIKENNE

Ilmastonmuutos voi aiheuttaa ongelmia tietoliikenteen infrastruktuurille ja sähkösaannille. Tällä voi olla merkittäviä yhteiskunnallisia vaikutuksia, sillä useiden perustoimintojen ylläpito perustuu tietoteknisiin ratkaisuihin ja toimivien tietoverkkoihin (Liikenne ja viestintäministeriö 2009). Tuulisuuden lisääntymisen myötä tietoliikenteen ilmajohdosten päälle kaatuvien puiden riski voi kasvaa (Saarelainen 2006). Lisäksi äärimmäisten ilmastolojen esiintyminen lisää korjaus- ja huoltotarvetta ja sitä kautta kustannuksia (Marttila ym. 2005).

Äärimmäiset sääilmiöt lisäävät pitkään kaisten sähkökatkosten riskiä. Tietoliikenteen häiriötön toiminta on keskeistä poikkeusolojen hallinnassa ja sähkökatkosten aikana. Erityisesti talvikatkojen yhdistettynä häiriöihin tietoliikenteessä voi aiheutua poikkeustilan, joka voi johtaa suuronnettomuuden kaltaiseen tilanteeseen. (Sisäasiainministeriö 2008).

TAULUKKO 8. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista merenkulkuun ja satamiin.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
tuulisuus lisääntyy merellä, mikä vaikeuttaa meriliikennettä talvisin		+ jääpeitteen ja jään vähentyminen helpottaa osittain merenkulkua
näkyvyys merialueilla heikentyy lisääntyvän sumun takia		+ jääpeitteisen kauden lyheneminen tuo kustannussäästöjä talvikunnossapitoon
satamissa tulvien riski lisääntyy		+ merenkulun kannalta olosuhteet voivat parantua vuosisadan loppupuolella
merijäiden ahtautuminen satamien edustoille		

TAULUKKO 9. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista tietoliikenteeseen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
tuulisuuden lisääntyminen lisää puiden kaatumisen riskiä ilmassa olevien johtojen päälle		
korjaus- ja huoltotarve lisääntyy ääri ilmiöiden myötä		
pitkäaikaisten sähkökatkojen mahdollisuus lisääntyy ääri ilmiöiden myötä		

4. Luonto ja kulttuuriympäristö

4.1 LUONNON MONIMUOTOISUUS JA VIHERALUEET

Luonnon monimuotoisuuteen vaikuttavat useat ihmisestä riippuvaiset ja riippumattomat tekijät. Ilmastonmuutos on yksi keskeinen stressitekijä kasvi- ja eläimille (ks. Marttila ym. 2005; WWF 2002). Pääkaupunkiseudulla monimuotoisuuteen vaikuttavat merkittävästi myös jatkuvasti laajeneva kaupunkirakenne sekä kasvavat asukasmäärät. Tästä syystä kaupunkisuunnittelulla on pääkaupunkiseudulla tärkeä rooli luonnon monimuotoisuuden ylläpitäjänä.

Pohjoisen ekosysteemit ovat hyvin haavoittuvaisia ilmastonmuutoksen vaikutuksille, eikä niiden uskota sopeutuvan kovinkaan hyvin muuttuviin olosuhteisiin (IPCC 2007a; Marttila ym. 2005). Esimerkiksi eteläisessä Suomessa metsien puulajisuhteet voivat muuttua, sillä ilmasto-olojen muuttuminen heikentää kuusen kilpailukykyä männyn ja koivun suhteen monilla kasvupaikoilla (Kellomäki ym. 2006). Ilmastonmuutos myös muuttaa lajien elinalueita sekä aiheuttaa sukupuuttoja ja uusien lajien leviämistä Suomeen (Richardson 2009; LUMONET 2005). Merkittävimmät vaikutukset pohjoisten ekosysteemien kannalta ovat ilmaston muuttuminen keskimääräistä lämpimmäksi, kasvukauden piteneminen, tilapäisten kuivuusjaksojen yleistyminen sekä lumi- ja jääpeiteajan muuttuminen lyhyemmäksi ja epäsäännöllisemmäksi (Marttila ym. 2005; Ilmatieteenlaitos 2009d).

Kaupunkialueilla nämä vaikutukset koskettavat kaupunkipuistoja sekä ulkoilua, metsä- ja suojelualueita. Kuivuusjaksot voivat koetella puustoa ja kasvillisuutta etenkin kallioisilla alueilla, ja metsäpalojen riski viheralueilla lisääntyy. Toisaalta ilmastonmuutoksen myötä pitenevä kasvukausi näyttäisi lisäävän viheralueiden tuotokkykyä (IPCC 2007b; Marttila ym. 2005).

Lämpeneminen tuo mukanaan uusia lajeja, sillä lajien esiintymisalueet siirtyvät pohjoisemmaksi sadoilla kilometreillä. Pääkaupunkiseudulla lajimäärien ennustetaan kasvavan Suomen



KUVA 2. Kuivuuden vaikutuksia kallioiselle metsäalueelle Espoossa. Kuva: Philipp Schmidt-Thomé.

ulkopuolelta tulevilla lajeilla. Samalla lajisuhteet muuttuvat. Ilmastonmuutos ei välttämättä hyödytä kaikkia alkuperäisiä lajeja, vaan osa hyötyy ja osa kärsii muutoksista. (Marttila ym. 2005, Kellomäki ym. 2006).

Sopeutuakseen ilmastonmuutokseen nykyisin pääkaupunkiseudulla menestyvät lajit tarvitsevat mahdollisuuksia siirtymään pohjoisemmaksi. Vaikokemmassa asemassa ovat ne, jotka ovat jo vaarantuneita tai joilla on rajoitetut maantieteelliset leviämismahdollisuudet tai jotka sietävät muuten huonosti ilmastonmuutoksen vaikutuksia (Marttila ym. 2005; Suomen ympäristökeskus 2005).

Ilmastonmuutos asettaa haasteita suojelualueverkoston kehittämiselle. Riittävän laajat suojelualueet turvaavat varmimmin luonnon monimuotoisuutta ja niitä yhdistävien ekologisten käytävien ylläpitämisen ja parantaminen auttaa lajien leviämisessä. Monimuotoisuuden kannalta on tärkeää, että lajit pystyvät siirtymään

TAULUKKO 10. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista rakennettuun ympäristöön.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
pohjoiset ekosysteemit haavoittuvaisia ilmastonmuutoksen vaikutuksille	-/+ eliölajien määrä lisääntyy ja lajisuhteet muuttuvat	+ kasvukausi pitenee lisäten metsien ja maatalouden tuottoa koko maan tasolla
lajien siirtyminen pääkaupunkiseudulta pohjoisemmaksi vaikeaa hitaasti liikkumaan kykenevien lajien osalta	-/+ lehtipuiden määrä lisääntyy Etelä-Suomessa	+ viheralueilla istutuskausi pitenee
kaupunkipuistot kärsivät mahdollisista kuivuusjaksoista	/+ Etelä Suomen lajisto muuttuu etelämpää tulevien lajien tieltä	
	/+ uhanalaisten lajien tulevaisuus epävarma	

elinalueille, jotka tarjoavat niille sopivan elinympäristön. Etenkin eteläpohjoisen suunnassa olevat käytävät mahdollistavat lajien vaeltamisen Etelä-Suomesta pohjoisemmaksi. (Berghäll ja Pesu 2008; IPCC 2007a; Kuismanen 2008).

Käytännössä lajien liikkumisen turvaaminen voi tarkoittaa esimerkiksi taajamien suunnittelemista selkeiksi kokonaisuuksiksi niin, että jäljelle jää riittävästi yhtenäisiä luonto- ja verkostoympäristöjä (Wahlgren ym. 2008). Ekologiset käytävät eivät kuitenkaan ratkaise kaikkea, sillä ne hyödyttävät vain lajeja, jotka kykenevät liikkumaan riittävän nopeasti ilmastonmuutoksen edetessä. Näin ollen myös suojelualueiden ja ekologisten käytävien ulkopuolisten metsien hoitotavalla on merkitystä lajien selviytymiselle muuttuvassa ilmastossa. (Pöyry ja Toivonen 2005).

4.2 KULTTUURIYMPÄRISTÖ

Kulttuuriympäristö ilmentää ihmisen ja luonnon vuorovaikutusta. Pääkaupunkiseudulla on useita maisemallisesti ja kulttuurihistoriallisesti tärkeitä kohteita: 2 valtakunnallisesti merkittävää maisema-aluetta (Suomenlinna ja Vantaanjokilaakso), 2 kansallismaisemaa (merellinen Helsinki ja Espoon Tapiola) ja 17 perinnettä.

TAULUKKO 11. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista kulttuuriympäristölle.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
riskit rakennetulle ja luonnon kulttuuriympäristölle	-/+ maisemien muutos kulttuuriympäristöissä	
kulttuuriympäristöissä tapahtuvat muutokset vaikuttavat niistä riippuvaisiin lajeihin	-/+ luonnossa tapahtuvat muutokset vaikuttavat kulttuuriympäristöjen elinkeinoihin	

biotooppia (Uudenmaan ympäristökeskus 2008). Kulttuuriympäristön vaaliminen on tärkeää paitsi kulttuurihistoriallisten ja maisemallisten arvojen, myös luonnon monimuotoisuuden takia. Perinnebiotoopit ovat uhanalaisia luontotyyppejämme ja ne tarjoavat elinympäristön 28 %:lle Suomen uhanalaisista lajeista. (Berghäll ja Pesu 2008; Rassi ym. 2001).

Kulttuuriympäristö on vahvasti sidoksissa ilmastoon: maisemaa muokkaavat elinkeinot perustuvat kyseisessä ilmastossa viihtyvien lajeihin, ja yhdyskuntien rakenne heijastelee paikallista ilmastoa. Ilmastonmuutoksen arvellaan vaikuttavan negatiivisesti kulttuuriympäristöön, sillä se muuttaa lajistoa ja lajien elinympäristöjä ja siten myös kulttuuriympäristöjen elinkeinojen edellytyksiä. (Berghäll ja Pesu 2008).

Ilmastonmuutos on riski myös rakennetulle kulttuuriympäristölle. Esimerkiksi Suomenlinnan rantarakenteet (laiturit, sillat jne.) ja huolto liikenne ovat vaarassa merenpinnan kohotessa. Säänmuuttuminen kosteammaksi voi aiheuttaa rakennusten ennen aikaista lahoamista ja synnyttää homevaurioita. Lämpötilan sahaamisesta johtuvaa rakenteiden vaurioitumista ja suolapautumista on jo nykyisinkin havaittavissa Suomenlinnassa. (Berghäll ja Pesu 2008).

4.3 ITÄMERI

Itämeri on arvokas vesistö paitsi sen luonnon ainutlaatuisuuden, myös sen taloudellisen ja sosiaalisen merkityksen vuoksi. Suljetun ja matalana vesistönä Itämeri on hyvin haavoittuvainen luonto ja ihmisperäisille muutoksille. Ilmastonmuutos näyttäisi heikentävän Itämeren tilaa. (Pöyry ja Toivonen 2005).

Merkittävimmän muutoksen Itämeri kokee luultavasti talvikaan. Merijään peittävyys ja paksuus vähenevät tulevaisuudessa, joten Itämeri on pitkiä aikoja jäättömänä. Tämä puolestaan lisää tuulisuutta merialueilla ja rannikolla. (Ilmatieteenlaitos 2009d). Muutosten johdosta talvikalastus ja meren talvinen virkistyskäyttö, kuten esimerkiksi jäällä liikuminen, vaikeutuvat (Haapala ym. 2009; ks. vaikutukset merenkululle luku 3.3).

Mahdollisesti lisääntyvät tuulet ja merenpinnan nousu voivat lisätä veden vaihtoa Itämereen, mikä parantaisi meren suola- ja happipitoisuutta. Kuitenkin Itämeren pohjoisosissa sateisuuden lisääntymisen myötä kasvava jokivesien valunta laimentaa meren suolapitoisuutta. Tämä puolestaan voi vaikeuttaa suolaisen ja hapekkaan veden pääsyä Itämereen Tanskan salmista ja sitä kautta pahentaa jo saastuneen meren tilaa entisestään. (Launianen ym. 2008; Marttila ym. 2005).

Lisääntyvä valunta (IPCC 2007b) voi myös edesauttaa Itämeren rehevöitymistä. Kun maa on sulaa yhä pidemmän aikaa vuodesta, lisääntyvät sateet pääsevät huuhtomaan ravinteita vesistöihin ja edelleen Itämereen. Ravinteiden ja lämpötilan lisääntyessä leväkukinnot runsastuvat etenkin Suomenlahdella. (Pöyry ja Toivonen 2005; WWF 2008; Ympäristöministeriö 2008). Kohoavista hiilidioksidipitoisuuksista ja sen vaikutuksista Itämeren ekologiaan on keskusteltu. Vallitsevan käsityksen mukaan kohoava CO₂ -pitoisuus happamoittaa meriä ja aiheuttaa ongelmia herkille lajeille. (Ilmatieteenlaitos 2009a; Itämeriportaali 2007).

Itämeri on todennäköisesti muuttumassa paitsi lämpimämmäksi, myös hiljalleen makeammaksi. Mäki näin käy, Itämeren ekologia ja sitä kautta lajisto muuttuvat. (Launianen ym. 2008; Marttila ym. 2005, BALTEX 2006). Myös Itämeren jääpeitteeseen ja merenpinnannousuun liittyvät muutokset vaikuttavat lajistoon. Kalalajit reagoivat meren lämpötilannousuun ja niiden käyttäytyminen voi muuttua. Lisäksi jäätilanteesta riippuvaisten hylkeiden elinalueet voivat hävitä. Mahdollinen merenpinnan nousu hävittää rannikon elinympäristöjä, aiheuttaa eroosiota ja lisää tulvien riskiä rannikolla. Joidenkin skenaarioiden mukaan merenpinnannousun vaikutukset tulevat ajankohtaisiksi vuoden 2050 jälkeen. (IPCC 2007b; Pöyry ja Toivonen 2005).

TAULUKKO 12. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista Itämereen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
Itämeren jäättömyys lisää tuulisuutta	-/+ Itämeren ekologia ja lajisto muuttuvat ilmastonmuutoksen vaikutusten summana	+ veden vaihdon mahdollinen lisääntyminen parantaa Itämeren happitilannetta
Itämeren jääkauden heikentyminen vaikeuttaa meren talvista virkistyskäyttöä ja talvikalastusta		
lisääntyvä valunta laimentaa Itämeren suolapitoisuutta		
lisääntyvä valunta ja veden sekoittuminen talvisin edesauttaa Itämeren rehevöitymistä		
elinympäristöjen häviäminen lämpenemisen ja merenpinnan nousun myötä		
merenpinnannousun aiheuttama rannikon eroosio ja mahdollisesti myös tulvat		

5. Vesistö- ja rannikkoalueet

Rankkasateiden aiheuttamat jokitulvat voivat yleistyä sateisuuden ja rankkasateiden lisääntymisen myötä. Etelä Suomessa etenkin kesätulvien odotetaan lisääntyvän. (Carter 2007; IPCC 2007b). Suomen ympäristökeskuksen selvityksessä (Veijala ym. 2009) on kuitenkin havaittu, että vuosisadan loppua kohden Vantaanjoen tulvat saattavat vähentyä lämpötilan kohoamisen ja sitä kautta lisääntyvän haihdunnan myötä. Viikoksi jokitulvia koettiin pääkaupunkiseudulla loppukesällä 2004, jolloin Vantaan ja Keravanjoki tulvivat. Vantaanjoki on herkkä tulville, sillä virtaamia tasaavia vesistöjä on vähän (Pajunen ym. 2009). Vuoden 2004 tulva kasteli muun muassa Oulunkylän siirtolapuutarha alueen mökkejä, aiheutti ongelmia raide- ja maantieliikenteelle sekä vahinkoja rakennuksille (HS 31.7.2004a,b). Tulvien ja ne aiheuttaneen myrskyn suorat kustannukset Helsingille, Vantaalle ja Riihimäelle olivat yhteensä 2,7 miljoonaa euroa ja välilliset kustannukset vielä enemmän (Saarelainen 2006).



KUVA 3. Vantaanjoen tulva 2004 Keimolassa. Kuva: Kari Rantakokko.

Valuma alueen maankäytöllä on merkitystä joen veden laatuun ja hulevesien valumien. Sekä Espoon että Vantaanjoen tulva herkkyyttä ovat lisänneet maankäytön muutokset: rakennetulla ja pinnoitetulla alueella sadevesien imeytyminen maaperään heikkenee, mikä lisää jokiin valuvien hulevesien määrää ja voi vaikuttaa joen alajuoksun tulviin. (Kasvio 2008; Pajunen ym. 2009).

Tulvavahingot Suomessa ovat koituneet pääasiassa rakennetulle ympäristölle. Uudenmaanliiton (2007) mukaan kerran 200 vuodessa esiintyvä rannikotulva aiheuttaisi vahinkoja Helsingin ja Espoon alueella yli 1700 rakennukselle. Myös rakenteet ja kulkuväylät kärsivät. Rannikotulvat voivat nousta herkästi maanalaisiin rakenteisiin, kuten tunneliin. Ne voivat niin ikään nousta mereen laskeviin jokiin, joten merellä tapahtuvia myrskyjä voidaan kokea myös sisämaassa. Viimeksi ongelmia aiheu-

tui vuonna 2005, jolloin Suomenlahden rannikolla mitattiin ennätyskorkeita meriveden pinnannousuja. Kovan tuulen, sateen ja ilmanpaineen yhteisvaikutuksena merivesi nousi nopeasti rannikolla. Helsingissä merenpinta nousi +1,55 metriin. Tämä aiheutti vahinkoja Suomenlinnalle, ja suuronnettomuuden vaara Kauppatorilla oli hyvin lähellä. (Berghäll ja Pesu 2008; Uudenmaan liitto 2007). Meritulvat voivat myös joillakin rannikkoalueilla aiheuttaa riskin meriveden sekoittumisesta makeaan pohjaveteen.

Tulvat ovat myös turvallisuusriski. Varmuutta tulvien johdosta sattuneista henkilövahingoista ei kuitenkaan ole. Tämä johtuu siitä, että mikään taho ei tilastoi joki- tai meritulvasta johtuvia tapaturmia tai kuolemantapauksia.

TAULUKKO 13. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista vesistö- ja rannikkoalueille.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
tulvat lisääntyvät jokialueilla ja rannikolla		
tulvien kustannukset		
pääkaupunkiseudulla asutusta tulvaherkillä alueilla		
tulvat aiheuttavat vahinkoja rakennuksille, rakenteille ja kulkuväylille, myös henkilövahingot mahdollisia		

6. Terveysvaikutukset

6.1 LÄMPÖTILAN VAIKUTUKSET TERVEYTEEN

Suomessa on totuttu lämpötilan suuriin vaihteluihin, mutta sen sijaan pitkiin, kuumiin jaksoihin ei ole sopeuduttu yhtä hyvin. Paitsi kylmyys, myös helle lisää kuolleisuutta Suomessa (ks. esim. Hassi ja Rytönen 2005; Näyhä 2005). Suuntaa lämpenemisen kehityksestä antaa se, että vuosisadan loppuun mennessä pääkaupunkiseudun pisin yhtenäinen kuuma jakso tavallisena kesänä voi olla jopa 17 päivän pituinen, kun se vuosien 1971–2000 keskiarvona on kestänyt 16 päivää (Neitniemi ja Upola ym. 2009).

Lämpötilannousuun liittyvät kielteiset vaikutukset ajoittuvat pääasiassa kesän hellejaksoihin. Laajojen ja tiiviisti rakennettujen kaupunkikeskusten lämpötilat voivat olla jopa 10 astetta maaseutua korkeammat, erityisesti tuulettomina öinä. Ilmiö johtuu lämpösaarekeilmioista, eli kaupungin omasta lämmittävästä vaikutuksesta. (Marttila ym. 2005; Kuismanen 2008).

Keski Euroopassa kesä 2003 oli poikkeuksellisen kuuma. Hellejakso lisäsi kuolleisuutta ympäri Eurooppaa, ja esimerkiksi Pariisissa kuolleisuus nousi 130 % (Dhainaut ym. 2003; ks. myös IPCC 2007a). Helteet koskettivat eniten yksinäisiä vanhuksia ja heistä etenkin niitä, joilla oli jokin kuumuuteen herkästi reagoiva sairaus ja huonompi sosioekonominen asema. (Dhainaut ym. 2003; Marttila ym. 2005). Myös muut tekijät, kuten ikä, lääkitys tai henkilöiden terveys voivat altistaa ihmisiä helteen kaltaisille ilmaston ääri-ilmiöille. Toistaiseksi pääkaupunkiseudulla ei ole tutkittu, ketkä ovat haavoittuimpia lämpötilan nousun vaikutuksille ja missä he seudulla asuvat. Kuolleisuus voi lisääntyä myös muiden sään ääri-ilmiöiden seurauksena. Suomessa ei ole kuitenkaan tilastoitu sään ääri-ilmiöistä johtuvia kuolemantapauksia muutoin kuin tielien onnettomuuksien syiden osalta.

Lämpötilannousu voi lisätä ruuasta saatavien infektioitautien riskiä. Tulvien myötä juomaveden saastuminen on mahdollista ja näin myös veden välityksellä saatavat taudit voivat lisääntyä. (Hassi ja Rytönen 2005). Toisaalta ilmaston lämpeneminen laajentaa trooppisten tautien levinneisyysalueita, mikä saattaa näkyä lisääntyneinä tartuntoina myös Suomessa. Lämpötilan nousulla on merkitystä myös työturvallisuuden kannalta, vaikka nykyisten työsuojelulliset minimi- ja maksimilämpötilat on määritetty (Marttila ym. 2005).

Kaupunkitilan mikroilmasto vaikuttaa ulkona oleskelun terveellisyysasteeseen ja miellyttävyyteen. Puuskittaisessa, kovassa tuulessa kaatumis- ja sitä myötä loukkaantumiskasvat etenkin talvina. Tämä johtuu paitsi tuulesta, myös siitä, että katujen liikkautuminen todennäköisesti lisääntyy. Lisäksi kävelijöiden puuskittaisessa tuulessa voi olla hankalaa (ks. luku 5.1.3). Avoimet alueet, joissa vietetään aikaa, esimerkiksi leikkikentät ja parvekkeet, vaativat suojausta koviilta tuuilta. (Kuismanen 2008).

Liikastumiset ovat yksi merkittävä tapaturmatyyppi jo nyt, mutta jäisten talvikelien lisääntyessä niitä voi sattua useammin. Liikastumisten odotetaan runsastuvan ilmastomuutoksen vai-

kuuksista huolimatta väestön ikääntymisestä johtuen, sillä ikääntyneillä on muuta väestöä korkeampi riski liukastua tapaturmaisesti (Ruuhela ym. 2005; Vantaan kaupunki 2009b). Heltingin kaupunki ja Ilmatieteenlaitos varoittavat kaupunkilaisia liukkaista jalankulkeleista tekstiiviestillä.

6.2 ILMANLAATU

Ilmastomuutoksella on suuri vaikutus ilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin, leviämiseen ja kulkeutumiseen, mutta näitä vaikutuksia on toistaiseksi tutkittu melko vähän. Esimerkiksi tuulisuuksissa tapahtuvat muutokset voivat suosia ilmansaasteiden kulkemista. Talvien lämpeneminen vähentää mahdollisesti heikkotuulisia korkeapainetilanteita, mikä parantaa ilmanlaatua. Pitkät hellejaksot kesällä puolestaan lisäävät todennäköisesti otsonin aiheuttamia saaste-episodeja. On myös mahdollista, että korkeilla leveyspiireillä lisääntyvät sateet vähentävät hiukkasten pitoisuuksia ja lisäävät rikin ja typen laskeumaa (Hansen ym. 2008).

Suomessa pääkaupunkiseudulla tehdyissä ilmansaasteiden terveysvaikutuksia koskevissa tutkimuksissa on todettu, että hengitysilman hiukkaset ja otsoni lisäävät myös meillä kuolleisuutta ja hengityselnsairauksia. Liikenneperäisten ja kaukokulkeutuneiden pienhiukkasten on todettu aiheuttavan eniten terveyshaittoja, mutta myös katupölyn on todettu lisäävän sairastavuutta (ks. Halonen 2009; Lanki & Pekkanen 2008).

Pienhiukkasten (halkaisija alle 2,5 µm) tärkeimmät lähteet pääkaupunkiseudulla ovat liikenne, tulisijojen käyttö ja kaukokulkeuma maamme rajojen ulkopuolelta. Korkeat pitoisuudet aiheutuvat yleensä itäisen Euroopan maastopaloista, kasvintähteiden poltosta sekä energiantuotannon, liikenteen ja teollisuuden päästöistä (Niemi ym. 2009).

Ilmastomuutoksen myötä kuivuus lisääntyy monilla alueilla ja samalla laajojen metsä- ja maastopalojen riski kasvaa. Pienhiukkasten kaukokulkeumien voidaan olettaa pahenevan pääkaupunkiseudulla. Niin ikään puun polton tulisijoissa oletetaan yleistyvän, sillä ilmastomuutoksen hillitsemiseksi uusiutuvien energialähteiden käyttöä lisättäneen. Tiheästi asutuilla pientaloalueilla pienpoltto heikentää ajoittain huomattavasti ilmanlaatua.

Ulkoilman hengitettävät hiukkaset (halkaisija alle 10 µm) ovat pääasiassa katupölyä, jota liikenne nostaa ilmaan. Ilmastomuutoksella on vaikutuksia katupölyn määrään, jos hiekoituksessa, nastarenkaiden käytössä tai teiden lumpeitteisyydessä tapahtuu muutoksia. Kun lämpötilat ovat jatkuvasti plussan puolella, liikkautumisen tarve vähenee. Toisaalta lähellä nollaa olevat kelit lisäävät hiekoitustarvetta polanteisilla teillä. (Tiehallinto 2009).

Otsonin pitoisuudet ovat korkeimmillaan keuhkain ja kesäisin. Tulevaa ilmastoa koskevat ennustemallit osoittavat, että otsonin pitoisuudet nousevat tulevaisuudessa pohjoisella pallonpuoliskolla jo pelkästään ilmastomuutuksen takia, vaikka otsonin muodostavien yhdisteiden päästöissä ei tapahtuisi muutoksia. Otsonin pitoisuuksien nousu on havaittu myös pääkaupunkiseudulla. Osittain tämä johtuu typenoksidien päästöjen vähentämisestä, ja osittain yleisestä taustapitoisuuksien noususta. (Niemi ym. 2009).

6.3 HENKINEN HYVINVOINTI

Suurin osa ilmastomuutoksen terveysvaikutuksista keskittyy fyysiseen terveyteen. Viime vuosina on kuitenkin alettu käydä yhä enemmän keskustelua siitä, mitä ilmastomuutos merkitsee henkiselle hyvinvoinnille. Ilmasto-olosuhteet vaikuttavat kiistattomasti ihmisten käyttäytymiseen ja mielialaan. Sateisella ilmalla pysytään enemmän sisätiloissa ja lumimyrskällä vältetään autolla ajamista. Kauniilla ilmalla ollaan aktiivisia, huonolla ilmalla passiivisempia. Henkiseen hyvinvointiin vaikuttavat toisaalta suorat ilmastomuutoksen vaikutukset

(esim. talvisin sateet tulevat yhä enemmän vetenä) ja toisaalta niiden seuraukset (esim. turvallisuudentunteen väheneminen sään ääri-ilmiöiden johdosta). (Kuismanen 2008).

Vuodenaikojen vaikutuksia henkiselle hyvinvoinnille on tutkittu muun muassa itsemurhien kautta. Ruuhela ym. (2009) havaitsivat, että auringon säteilyn määrä vaikuttaa itsemurhiin: mitä pimeämpi vuodenaika on, sitä suurempi on itsemurhien riski. Tutkimuksen mukaan miehet näyttävät olevan herkempiä säteilyn määrän vaihteluille kuin naiset. Naiset taas vaikuttavat reagoivan miehiä nopeammin ja myönteisemmän valon määrän lisääntymiseen keuhkain.

Ilmatieteenlaitoksen tutkimuksen mukaan talviajan aurongon säteily vähenee ilmastomuutoksen myötä. Lisäksi talvina pimentää entisestään valoa heijastavan lumipeitteen vähenemisen ja pilvisyyden lisääntymisen (Ilmatieteenlaitos 2009b,d).

Ilmastomuutoksen myötä tulevaisuuden odotukset voivat muuttua, stressi kasvaa ja esimerkiksi töissä jaksaminen olla kokeuksella. Lumen väheneminen voi heikentää lastenkin elämänlaatua (Kohl 2009). Aihetta on kuitenkin tutkittu vasta vähän.

TAULUKKO 14. Yhteenvedo ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista fyysiseen ja henkiseen terveyteen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
hellejaksojen piteneminen ja lämpötilojen nousu lisäävät kuolleisuuden riskiä kesäaikaan riskiryhmillä	-/+ kesäajan pitenemisen vaikutukset hyvinvoinnille	+ kylmien jaksojen aiheuttamat terveysongelmat voivat vähentyä
ruuasta saatavien infektioitautien riski voi nousta lämpenemisen johdosta	+/+ lisääntyvän pimeyden vaikutukset ulkoiluun, tulevaisuuden odotuksiin jne.	
juomaveden saastuminen tulvien johdosta mahdollista		
liikkautumisen lisääntyminen talvisin lisää loukkaantumiskasvat		
lisääntyvä tuulisuus voi tehdä avoimista alueista epämiellyttäviä ja epäterveellisiä		
lisääntyvällä pimeydellä on luultavasti vaikutuksia jaksamiseen		
otsonin ja pienhiukkaspitoisuudet voivat kohota ja aiheuttaa hengityselnsairauksia		

7. Sosiaaliset vaikutukset

7.1 VIRKISTYS JA VAPAA-AIKA

Ilmastonmuutoksen seurauksena luonnon virkistyskäyttö ja ulkoiluharrastukset kokevat muutoksia. Ihmisten on sopeutettava harrastuksiaan uudenlaiseen ilmastoon, ja ulkoilumahdollisuudet voivat muuttua erilaisiksi, kuin mihin on totuttu. Vaikutukset näkyvät lajivalinnoissa ja vapaa ajanviettotavoissa. Myös ulkona käytetyn ajan määrä voi muuttua.

Talviurheilulajit, esimerkiksi hiihto, ovat haavoittuvaisimpia ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Erityisesti Etelä-Suomen hiihtokelit ovat tulevaisuudessa hyvin vaihtelevia, mutta pääasiassa harrastusmahdollisuudet vähenevät, kun lumipeitteen määrä ja pysyvyys vähenevät. Suomalaisten vapaa ajan kustannukset voivat nousta. Erityisesti talvilajien perässä joudutaan matkustamaan pidempiä matkoja tai lajien harrastamisesta maksetaan aiempaa enemmän ilmaisten kohteiden (esim. hiihtolatuojien) lumitilan teen heikentyessä. Toisaalta monet voivat vaihtaa esim. hiihton johonkin korvaavaan lajiin. (Sievänen ym. 2005, Marttila ym. 2005, Perrels ym. 2005).

Kesälajien harrastaminen mahdollisesti lisääntyy, kun esimerkiksi mökki-, veneily- ja uittokaudet pitenevät (Marttila ym. 2005). Sievänen ym. (2005) mukaan uiminen luonnonvesissä näyttäisi lisääntyvän, mikäli vedet säilyvät uintikelpoisina. Leväkukintojen yleistymisen voi kuitenkin vaikuttaa päinvastaisesti, etenkin Suomenlahdella (ks. kpl 2.3).

Ulkona harrastamisen vaikutumisen varsinkin talvisin voi siirtää harrastuksia sisätiloihin. Tällä saattaa olla merkittäviä vaikutuksia henkiseen hyvinvointiin: muutos näyttäisi koskevan aktiiviteetteja luonnonympäristössä, joiden on havaittu tuovan suurimmat terveys- ja hyvinvointivaikutukset. (Sievänen ym. 2005). Urheiluharrastusten muuttumisella voi olla myös suuria kulttuurisia merkityksiä.

TAULUKKO 15. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista virkistykseen ja vapaa-aikaan.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
talvilajien harrastaminen vaikeutuu	-/+ on epävarmaa, miten ilmastonmuutos vaikuttaa eri lajien harrastamiseen ja ulkona olemiseen	+ kesälajien harrastamisen kausi pidentyy
talvilajien harrastamisen kustannukset voivat nousta	/+ vapaa aika muuttuu, ja sen vaikutukset kulttuuriimme ovat epävarmoja	

7.2 VAIKUTUSTEN KOHDENTUMINEN JA HAavoittuvimmat väestöryhmät

Ilmastonmuutoksen vaikutukset voidaan kokea eri tavoin ja siten niiden merkitys eri väestöryhmille vaihtelee. Kokemus voi riippua esimerkiksi asuinalueesta, sosiaalisesta asemasta, taloudellisesta asemasta, iästä tai sukupuolesta.

Useissa yhteyksissä on tullut esiin, että vähävaraisimmat ja haavoittuvaisimmat väestöryhmät kärsivät ilmastonmuutoksen vaikutuksista eniten (ks. esim. IPCC 2007a; Kohl 2009; Richardson ym. 2009). Tämä johtuu siitä, että heidän kykynsä sopeutua vaikutuksiin on heikoin muun muassa taloudellisen tilanteen, resurssien vähyyden tai sosiaalisen aseman takia. Pääkaupunkiseudulla ei vielä ole selvitetty, mitkä väestöryhmät ovat seudulla ilmastonmuutoksen suhteen huono osaisia, eli niitä, joihin ilmastonmuutos vaikuttaa muita epäedullisemmin.

Sosiaali- ja terveysalan keskusliitto (STKL) järjesti 20.5.2008 seminaarin aiheesta "Ilmastonmuutoksen vaikutukset köyhyyteen ja huono osaisuuteen". Paneelissa pohdittiin, mitkä ryhmät yleisesti ottaen ovat haavoittuvaisimpia. Keskustelussa nousi esiin,

että vanhuksien, lasten ja pienituloisten ovat ryhmiä, joihin ilmastonmuutos vaikuttaa eniten. Lisäksi ihmiset, joilla on jokin sairaus, jota ilmastonmuutoksen vaikutukset pahentavat (esim. sydän- ja hengitystiesairaudet), ovat tässä suhteessa muita alttiimpia ilmastonmuutoksen haitallisille vaikutuksille.

Ilmastonmuutos voi vaikuttaa eri tavoin eri asuinalueilla: sijaintinsa ja maantieteellisten ominaisuuksiensa puolesta toisistaan poikkeavat alueet kohtaavat haasteita eri tavoin. Lisäksi vaikutukset voivat olla erilaisia eri ikäryhmille. Lapsille talvileikkimahdollisuuksien säilyminen on tärkeää, kun taas aikuiset saattavat tulla kaamosmasennuksen oireita vastaan talvien muuttuessa pimeämmiksi. Sukupuolella on näin kään merkitystä: ilmastonmuutoksen vaikutukset voidaan kokea eri tavoin naisten ja miesten keskuudessa.

Suomessa ilmastonmuutoksen sosiaalisista vaikutuksista ja etenkin vaikutuksista huono osaisuuteen on toistaiseksi tehty vain vähän tutkimuksia tai selvityksiä.

TAULUKKO 16. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista eri ryhmiin ja huono-osaisuuteen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
huono osaiset, kuten mm. vähävaraiset, vanhuksien, lapset ja sairaat, kärsivät eniten ilmastonmuutoksen vaikutuksista	-/+ vaikutukset kohdistuvat eri tavoin eri väestöryhmiin, ja on vaikea sanoa, millaisiksi vaikutukset kehittyvät eri ryhmien osalta	
	/+ ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumisen kustannusten jakautuminen	

8. Talous

Ekonomisti Nicholas Stern'n (2007) mukaan ilmastonmuutoksella on merkittäviä vaikutuksia maailman talouteen ja sitä kautta ihmisten taloudelliseen ja henkiseen hyvinvointiin. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen voi Suomessa ja muissa kehittyneissä maissa onnistua kehitysmaita paremmin, mutta vaikutukset tuntuvat myös kehittyneissä talouksissa. Ilmastonmuutos koskettaa Suomea taloudellisesti paitsi kotimaassa tapahtuvien vaikutusten, myös globaalien muutosten kautta.

Ilmastonmuutoksen suorat ja taloudelliset vaikutukset heijastuvat työelämään ja eri alojen työllisyyteen. Tietyt ammattiryhmät voivat kärsiä vaikutuksista erityisen paljon (ks. Kohl 2009). Jotkut ovat suoraan riippuvaisia luonnon ja sääoloista, kuten muun muassa talvikalastajat: talvella 2007/2008 jäätelanne Suomenlahdella oli niin keho, että talvikalastuskausi jäi suurimmalta osalta kalastajista kokonaan väliin (Haapala ym. 2009). Joihinkin elinkeihin ilmastonmuutos vaikuttaa välillisesti, esimerkiksi talviurheiluvälineiden valmistajiin ja jalkineisiin.

Joihinkin aloilla ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat olla myönteisiä. Pidentyvä kasvukausi ja lämpimämpi ilmasto lisäävät kasvien tuotantoa ja parantavat maatalouden ja puutarhatuotannon edellytyksiä. Ilmastonmuutos edistää metsien kasvua Suomessa, mutta alueelliset erot voivat olla suuria. Esimerkiksi Etelä Suomessa kuusi todennäköisesti kärsii eikä pysty sopeutumaan muutokseen yhtä hyvin kuin mänty ja koivu (Kellomäki ym. 2006). Suomessa myös esimerkiksi matkailusektori voi hyötyä muualla maailmassa tapahtuvista vaikutuksista, mikäli nykyisten matkakohteiden, kuten Välimeren alueen

maiden, olosuhteet muuttuvat ilmastonmuutoksen takia epäedullisemmiksi (IPCC 2007a). Alan tulevaisuutta on kuitenkin vaikea ennustaa, sillä turismiin vaikuttavat kohdemaan ilmastoon lisäksi useat muutkin tekijät, joiden yhteisvaikutusta on vaikea ennustaa. Perrels ym. (2005) mukaan ulkomaisten turistien määrä Suomessa voi kuitenkin nousta 14 %:lla vuoteen 2030 mennessä.

Ääri ilmiöiden lisääntymisen myötä omaisuuden vakuuttaminen tulee entistä ajankohtaisemmaksi. Tulvien osalta valtio korvaa poikkeuksellisista tulvista aiheutuneita vahinkoja vesistöalueilla. Sen sijaan esimerkiksi hulevesitulvista syntyneitä, tai muilla kuin vesistöalueilla sijaitsevien kohteiden vahinkoja ei korvata. Poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta säädetyn lain mukaan korvaus on enintään 80 % arvioidusta vahingosta.

Vakuutuksen osalta käytännöt vaihtelevat ja osa vakuutusista korvaa hulevesien tai tulvien aiheuttamia vahinkoja. Vakuutussektorilla voi olla paineita luokitella joitain toimintoja vakuutuskelvottomiksi, nostaa omavastuuta tai laskea korvauskattoa (IPCC 2007a; Marttila ym. 2005). Tämä voi osaltaan lisätä luonnononnettomuuksista johtuvia taloudellisia menetyksiä.

Ilmastonmuutos vaikuttaa talouselämään merkittävimmin päästövähennysvelvoitteiden kautta. Uudet tavat tuottaa energiaa ja vähäpäästöiset teknologiat vaativat suuria investointeja, mutta tarjoavat samalla merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia niin suurteollisuudessa kuin pk- sektorilla.

TAULUKKO 17. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista työhön ja talouteen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
taloudelliset riskit suurimmat huono osaisille	-/+ ilmastonmuutoksen vaikutukset maailmantalouteen ja sen vaikutukset Suomeen epävarmoja	+ jotkin toimialat voivat kokea hyötyjä
vakuutussektorin muutokset voivat muodostua kuluttajille epäedullisiksi	/+ vaikutukset eri alojen tulevaisuuteen ja työllisyyteen epäselviä	

9. Turvallisuus

Ilmastonmuutos ja turvallisuus ovat nousseet tärkeiksi aiheiksi viime vuosina, mm. YK:n turvallisuusneuvosto käsittelee aihetta päivän pituisessa kokouksessaan vuonna 2007. Turvallisuusky symykset ovat esillä myös Suomessa: asia on nostettu esiin mm. Sisäisen turvallisuuden ohjelmassa (2008), mutta toistaiseksi tutkimuksia ilmastonmuutoksesta ja turvallisuudesta on Suomessa tehty vähän.

Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät sään vaihtelut ja ääri ilmiöt asettavat haasteita turvallisuudelle. Suomalainen yhteiskunta on riippuvainen useista järjestelmistä ja verkostoista, kuten terveydenhoito, liikenne, energiantuotanto, vesihuolto ja tietoliikenne, joiden toimintaan sään ääri ilmiöt voivat vaikuttaa. Esimerkiksi tietoliikenteen, liikenteen tai energiantuotannon vakavat häiriöt voivat pahimmillaan käynnistää nk. dominovaikutuksen, jossa järjestelmä toisensa perään kaatuu. Laaja mittaisena tällainen tilanne olisi vakava riski yhteiskunnan turvallisuudelle.

Väestön ikääntymisen vaikutus turvallisuuteen ja miten se koetaan. Vuonna 2026, joka neljäs suomalainen on 65 vuotias tai vanhempi. Ikääntyneet elävät yhä kauemmin kotonaan ja

usein yksin. He myös tuntevat muuta väestöä enemmän turvallisuutta. Heillä on myös muita heikkomat valmiudet toimia kriisitilanteissa.

Ilmastonmuutos voi vaikuttaa turvallisuuteen Suomessa myös välillisesti, muualla maailmassa tapahtuvien vaikutusten kautta. Ilmastonmuutos kohdistuu ankarimmallaan köyhiin kaikkialla maailmassa ja voi siten lisätä eriarvoisuutta eri ryhmien kesken entisestään. Haavoittuvimmat ihmiset ovat yleensä alttiimpia rikollisuudelle. Toisaalta taas olojen heikentyessä rikollisuudetta saattaa tulla houkuttelevampaa keinona tavoitella parempia elinoloja. Myös terrorismin takana on osittain köyhyyden, eriarvoisuuden ja näköalattomuuden kokemukset ja todellisuus. Mikäli ilmastonmuutos kärjistää maapallon huono osien osalta heidän jo nykyisin heikkoja elinolosuhteitaan, voivat sekä rikollisuus että terrorismi saada lisää kannattajia. (Mankkinen 2009; Carter ja Kankaanpää 2008)

Yleiseen ja ihmisten henkilökohtaiseen turvallisuuteen liittyvät kysymykset tulevat ajankohtaisiksi mm. taulukossa 18 esitettyjen seikkojen kautta.

TAULUKKO 18. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista turvallisuuteen.

Ilmaston-muutoksen vaikutus	Seuraukset turvallisuuteen	Ks. lisää
Tulvat	Henkilövahingot mahdollisia	luku 5
	Voivat aiheuttaa katkoksia tietojen ja sähköverkkojen toimivuudessa ja sitä kautta aiheuttaa tietokatkoksia ja suuronnettomuuden vaaran	luvut 2.5 ja 3.4
	Voivat vaikuttaa liikenneturvallisuuteen veden noustessa tieväylille tai maanalaisten kulkuväylien (tunnelit ja metrotunnelit)	luvut 2.1 ja 5
	Jäte tai tulvavesien sekoittuminen juomaveteen mahdollista vedenottoa	luku 2.3
	Vahingoittavat rakenteita, teitä ja ratarakenteita	luvut 2.2 ja 3.2
	Rannikotulvat satamissa voivat vahingoittaa varastoituja ympäristölle ja terveydelle vaarallisia aineita	luku 3.3
Kosteus ja rankkasateet	Kosteuden lisääntyminen lisää kosteusvaurioiden riskiä	luku 2.2
	Rankkasateet aiheuttavat vaurioita mm. tieverkostolle	luku 3.1.4
Lämpeneminen, kuumuus ja kuivuus	Kuivuus lisää metsäpaloja, jotka voivat olla turvallisuusriski itsessään; metsäpaloista syntyy hiukkaspäästöjä, jotka ovat terveydelle haitallisia	luku 4.1
	Rankkasateet aiheuttavat vaurioita mm. tieverkostolle	luku 3.1.4
Lämpeneminen, kuumuus ja kuivuus	Kuivuus lisää metsäpaloja, jotka voivat olla turvallisuusriski itsessään; metsäpaloista syntyy hiukkaspäästöjä, jotka ovat terveydelle haitallisia	luku 4.1
	Ilmaston lämpeneminen pidentää sulan kauden pituutta ja siten lisää tieliikenteen turvallisuutta	luku 3.1.3
	Helteet aiheuttavat turvallisuusongelmia ratakiskoille	luku 3.2
	Merenkulun turvallisuus parantuu vuosisadan loppua kohden Itämeren ollessa lähes jäätön talvisin	luku 3.3
	Kuumuus lisää ennenaikaisia kuolemia riskiryhmillä	luku 6.1
	Ilmanlaatu voi heikentyä	luku 6.1.1
Tuulisuus ja myrskyt	Voivat aiheuttaa katkoksia tietoliikenteen ja sähköverkkojen toimivuudessa ja siten aiheuttaa tietokatkoksia ja suuronnettomuuden vaaran	luku 2.5
	Turvallisuusriski kevyelle liikenteelle sekä maantie, lento ja meriliikenteelle (mm. puuskittaiset tuulet, puiden kaatuminen)	luku 3
	Vaikeuttavat liikennettä maalla, merellä ja ilmassa	luku 3
	Vaikutukset turvallisuudentunteeseen liikenteessä	luku 3.1.3
Sään äkilliset vaihtelut ja sään ääri ilmiöt	Äkilliset jäätymiset lisäävät liikkautta ja sitä kautta onnettomuusriskejä maantieliikenteelle ja kevyelle liikenteelle	luku 3.1.3
	Vaikeuttavat näkyvyyttä liikenteessä, myös merellä	luku 3.3

10. Muualla tapahtuvien vaikutusten merkitys

Ilmastonmuutoksen vaikutukset jakaantuvat epätasaisesti maailman valtioiden kesken (ks. Richardson ym. 2009). Lämpötilan ja merenpinnan nousu, yleistyvät sään ääri ilmiöt ja sateisuuden muutokset voivat koetella rajusti herkimpiä ja haavoittuvimpia maita. Haavoittuvimpina mainitaan pidetään yleisesti ottaen köyhiä maita, joihin maantieteellisen sijainnin takia ilmastonmuutos vaikuttaa erityisen voimakkaasti (McMichael ja Bertolini 2009). Näiden joukossa on muun muassa valtaosa Saharan eteläpuoleisen Afrikan valtioista, muutamia Aasian (mm. Bangladesh ja Pakistan) ja muutamia Keski-Amerikan valtioita (mm. Guatemala ja Honduras) (Carter ja Kankaanpää 2008). Suurin uhka on, että nämä Euroopan ulkopuolella sijaitsevat herkimmat maat saattavat jo valmiiksi olla alttiita konflikteille. Myös Euroopassa on ilmastonmuutokselle haavoittuvia alueita, elinkeinoja ja väestöryhmiä (European Environment Agency 2009a, IPCC 2007b, The World Bank 2009) ja myös Euroopan sisäisten tapahtumien seuraukset voivat näkyä Suomessa.

Ilmastonmuutoksen äkilliset ja hitaasti kehittyvät vaikutukset muualla maailmassa liittyvät useisiin eri alueisiin ja aiheisiin (Euroopan yhteisöjen komissio 2008; Stern 2007) kuten: 1) Luonnonvarojen koskevat konfliktit voivat kiertyä. Ilmastonmuutos vaikuttaa vesivarojen, veden kierto- ja veden saatavuuteen monilla alueilla, kuivuuskaudet voivat lisääntyä ja kuivuus koetetaan uusilla alueilla. Myös uusiutuvan energian saatavuus voi muuttua epävarmempaksi ja aiheuttaa kilpailua luonnonvarojen hallinnasta. 2) Ympäristösyistä johtuva muuttoliikenne voi lisääntyä, sillä ilmastonmuutoksen vaikutukset kaventavat ihmisten elinalueita ja tekevät olosuhteista paikkoina ja keita tai sietämättömiä. 3) Kansainväliseen yhteisöön kohdistuu paikkoina ja oikeudenmukaisuuteen ja ilmastonmuutoksen hillintään ja sopeutumiseen liittyvissä asioissa.

Muualla tapahtuvien muutosten merkitystä Suomelle ei toistaiseksi ole juurikaan tutkittu. Vaikutusten voidaan ajatella linkittyvän Suomeen pääasiassa niiden maiden kautta, joihin Suomella on yhteyksiä esimerkiksi talouden, investointien, turismin tai kehitysyhteistyön kautta. Talouden sektoreista vaikutukset koskevat mahdollisesti maataloutta, metsäteollisuutta, turismia, energia- ja kuljetusta. Suorat vaikutukset voivat lähivuosikymmeninä olla suhteellisen vähäisiä, mutta epäsuorat vaikutukset

esimerkiksi kansainvälisen kaupan ja matkailun kautta sitäkin merkittävämpiä. Lisäksi Suomen pitkäaikaisista kehitysyhteistyömaista lähes kaikki kuuluvat maailman haavoittuvaisimpien maiden joukkoon. Näissä maissa tapahtuvilla ilmastonmuutoksen vaikutuksilla voi olla vaikutusta Suomen kehitysyhteistyön rahoitukseen ja avuntarpeeseen (Carter ja Kankaanpää 2008).

Kansainväliseen turvallisuuteen liittyvät kysymykset liittyvät erilaisten konfliktien mahdollisuuteen ja pakolaisten määrän lisääntymiseen (Carter ja Kankaanpää 2008). Ilmastonmuutoksen ja konfliktien välistä yhteyttä on tutkittu ja tutkitaan parhaillaan, mutta vielä niiden välinen yhteys on epävarma joidenkin mielestä yhteyttä ei voida todentaa tämänhetkisten tietojen pohjalta. Tiedetään kuitenkin, että konflikteille alttiita ovat etenkin maat, joissa ilmastonmuutoksella on eniten negatiivisia vaikutuksia terveyteen ja hyvinvointiin. Tällaisissa maissa ilmastonmuutoksen aikaansaama stressi voi lisätä konfliktien mahdollisuutta. (Wæver 2008). Kansainväliseen turvallisuuteen vaikuttaneet se, saadaanko lämpenemistä rajoitettua ja kuinka paljon. Jo kahden asteen nousulla tiedetään olevan merkittäviä maailmanlaajuisia vaikutuksia muun muassa vesivarojen, ruokaturvan ja tulvien (Stern 2007).

Sisäasiainministeriön sisäisen turvallisuuden ohjelmassa tunnustetaan muualla maailmassa tapahtuvien luonnonkatastrofiiden merkitys. Suomessa on ohjelman mukaan varauduttava katastrofiin seurauksena lisääntyvään pakolaisuuteen sekä katastrofiavun tarpeen lisääntymiseen (Sisäasiainministeriö 2008). Myös puolustusministeriö on huominnut strategioissaan ilmastonmuutoksen vaikutuksen Suomen turvallisuudelle (Puolustusministeriö 2006; Turvallisuus ja puolustusasiain komitea 2006). Kansainvälisen muuttoliikkeen järjestö IOM (International Organization for Migration) kuitenkin huomauttaa, että ilmastonmuutoksen aikaansaaman muuttoliikkeen tai pakolaisuuden kehitystä on hyvin vaikea ennustaa (ks. myös IPCC 2007a). Kehitys riippuu useista tekijöistä, esimerkiksi siitä, miten valtiot onnistuvat sopeutumaan ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Joka tapauksessa 25 miljoonaa miljardi ihmistä joutuu luultavasti jättämään kotinsa (IOM 2008).

TAULUKKO 19. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista muuhun maailmaan ja Suomeen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
ilmastonmuutos erityisen vahingollinen haavoittuvaisimmille maille	-/+ vaikutuksia Suomen talouteen vaikeita ennustaa	
Suomessa varauduttava myös Euroopan sisällä tapahtuvien vaikutusten seurauksiin	/+ muutoksia odotettavissa Suomen kehitysyhteistyössä	
konfliktien ja ilmastopakolaisuuden määrät luultavasti kasvavat maailmalla ja voivat vaikuttaa Suomen turvallisuustilanteeseen		

11. Johtopäätöksiä

Ilmastonmuutoksella näyttää olevan Suomelle ja pääkaupunki seudulle pääosin kielteisiä vaikutuksia, mutta joissain tapauksissa ilmastonmuutoksesta seuraa myös hyötyjä ainakin lyhyellä aikavälillä. Lisäksi osa vaikutuksista on sellaisia, joiden seurauksen suunta on vielä epävarma.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset kohdistuvat joko suoraan tai välillisesti useisiin toimijoihin: kuntiin, viranomaisiin, yrityksiin, yhteisöihin ja yksittäisiin kansalaisiin. Vaikutukset vaihtelevat paitsi globaalisti, myös alueellisesti ja paikallisesti. Tieto ilmastonmuutoksen alueellisista ja paikallisista vaikutuksista on vielä eritasoisista. Lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutuksia luontoon ja luonnonvaroihin on tutkittu Suomessa enemmän kuin vaikutuksia esimerkiksi yhdyskuntiin, verkostoihin ja talouteen. Toisaalta vaikutuksia turvallisuuteen ja sosiaaliset vaikutuksia on tutkittu vain vähän.

Pääkaupunkiseudulla ilmastonmuutoksen vaikutukset liittyvät lämpötilan nousuun, sateisuuden ja kosteuden lisääntymiseen sekä ääri ilmiöiden, kuten rankkasateiden, kuumuuden, kuivuuden, ja sään äkillisten ilmiöiden yleistymiseen. Itämeren tila ja luonnon ekosysteemit muuttuvat. Vesistötulvat yleistyvät rannikolla ja vesistöalueilla, ja hulevesitulvat kaupunkialueilla. Rakennetussa ympäristössä tullaan painimaan kosteuteen ja kuumuuteen liittyvien kysymysten kanssa, ja erityisesti rannikolla tuulisuuden lisääntymisen ja rannikkotulvien parissa.

Seurauksia haastavien sääolosuhteiden yleistymisestä koituu niin ikään liikennesektorille maalla, merellä ja ilmassa. Energia sektorilla keskeiseksi kysymykseksi voi nousta energianjakelun turvaaminen sään ääriolosuhteissa. Myös tietoliikenneverkosto

tojen ylläpito ääri ilmiöiden lisääntyessä vaikeutuu. Muuttuva ilmasto merkitsee seurauksia eri elinkeinojen edellytyksille. Asumisessa joudutaan ottamaan huomioon lämpämpi ja kosteampi ilmasto. Ilmastonmuutoksella on lisäksi vaikutuksia fyysiseen terveyteen, henkiseen hyvinvointiin ja turvallisuuteen liittyviin asioihin. Myös Euroopassa ja muualla maailmassa tapahtuvat ilmastonmuutoksen vaikutukset koskettavat Suomessa mm. turvallisuuden, talouden ja kehitysyhteistyön kautta.

Alueelliset ja paikalliset ominaispiirteet, kuten maantieteelliset ja ekologiset ominaisuudet, mikroilmasto sekä elinkeino, yhdyskunta ja sosioekonominen rakenne vaikuttavat siihen, mitkä ovat ilmastonmuutoksen seuraukset ja miten ne koetaan. Siksi keskeisten vaikutusten määrittämisessä alueellisten ja paikallisten tekijöiden huomioon ottaminen on tärkeää. Vaikutusten merkitys riippuu myös näkökulmasta: vaikutuksia voidaan tarkastella elinkeinojen, jonkin sektorin, esimerkiksi liikenteen, tai esimerkiksi jonkin väestöryhmän, kuten huonoosaisten, kannalta. Lisäksi vaikutukset voivat muuttua ajassa. Vuosisadan loppua kohti vaikutukset voivat voimistua, vähentyä tai niiden merkittävyys voi muuttua.

Arvioitaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia muiden yhteiskunnallisten muutosprosessien huomioiminen on tärkeää. Sopeutumisen ilmastonmuutoksen hillintätoihin ja kuttuaan jo itsessään mm. energiateollisuuden edellytyksiin, liikenteeseen, ilmanlaatuun ja kaupunkisuunnitteluun. Lisäksi muut tekijät, kuten työllisyyden kehitys, ikääntyminen, maahanmuutto ja työn muuttuminen voivat vaikuttaa siihen, kuinka ilmastonmuutoksen vaikutukset koetaan ja millaisia sopeutumistoimia tarvitaan.

Lähdeluettelo

- Aalto, L. 2008. Kaupunkikuva. 100 vuotta energiarakentamista Helsingissä. Helsingin Energia. Edita Prima Oy. 75 s. Aaltonen J., Hohti H., Jylhä K., Karvonen T., Kilpeläinen T., Koistinen J., Kotro J., Kuitunen T., Ollila M., Parvio A., Pulkkinen S., Silander J., Tiihonen T., Tuomenvirta H. ja Vajda A. 2008. RATU loppuraportti, Rankkasateet ja taajamatulvat. Suomen ympäristö 31/2008, Luonnonvarat, 123 s. Suomen ympäristökeskus (SYKE).
- Alexandersson, H. 2005. Den stora januaristormen 2005. Väder och Vatten 1/2005. 11 p.
- Allison I., Bindoff N.L., Bindenschadler R.A., Cox P.M., de Noblet N., England M.H., Francis J.E., Gruber N., Haywood A.M., Karoly D.J., Kaser G., Le Quéré C., Lenton T.M., Mann M.E., McNeil B.I., Pitman A.J., Rahmstorf S., Rignot E., Schellnhuber H.J., Schneider S.H., Sherwood S.C., Somerville R.C.J., Steffen K., Steig E.J., Visbeck M., Weaver A.J., 2009. The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the world on the Latest Climate Science. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp.
- BALTEX 2006. The BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. The BACC Project. International Conference Göteborg, Sweden 22-23 May 2006. Saatavilla Internetistä: <http://www.baltex-research.eu/BACC/material/IBS-No35-BACC.pdf>
- Berghäll, J. ja Pesu, M. 2008. Ilmastonmuutos ja kulttuuriympäristö. Tunnistetut vaikutukset ja haasteet Suomessa. Suomen ympäristö 44/2008. Ympäristöministeriö. Edita Prima Oy: Helsinki. 28 s. + liitteet.
- Bengtsson, A. and Nilsson, C. 2007. Extreme value modeling of storm damage in Swedish forests, Natural Hazards and Earth System Sciences, 7, p. 3518-3543.
- Bengtsson, L., K.I. Hodges, and Rockner, E. 2006. Storm tracks and climate change. J. Climate, 19, 3518-3543.
- Bengtsson, L., K.I. Hodges, N. Keenlyside, 2009. Will extratropical storms intensify in a warmer climate? Journal of Climate, 22, 2276-2301.
- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett ja P.D. Jones, 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. J. Geophysical Research 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
- Carter, T. (toim.). 2007. Suomen kyky sopeutua ilmastonmuutokseen: FINADAPT. Yhteenveto päättäjille. Suom. Kankaanpää, S. Suomen ympäristö 1/2007. Suomen ympäristökeskus. Vammalan Kirjapaino Oy: Vammala. 72 s. + liite.
- Carter, T. ja Kankaanpää, S. 2008. IMPLIFIN: an investigation of the international impacts of climate change having potential implications for Finland. PowerPoint esitys. International seminar on Climate Change Impact Assessment and Adaptation, 19.20.5.2008, Helsinki.
- Church et al. 2001. Changes in sea level. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 639-693.
- Church, J. A., and N. J. White 2006. A 20th century acceleration in global sea level rise. Geophys. Res. Lett. 33, L01602.
- Dobbertin, M. 2002. Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. Forest Snow Landscape Research 77: 187-204.
- Drebs, A., A. Nordlund, P. Karlsson, J. Helminen, P. Rissanen. 2002. Tilastoja Suomen ilmastosta 1971-2000. Ilmastotilastoja Suomesta No. 2002:1. 99 s.
- Dhainaut, J. F., Claessens, Y. E., Ginsburg, C. ja Riou, B. 2003. Unprecedented heat related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments. Critical Care 8: 1-2.
- Euroopan yhteisöjen komissio 2008. Ilmastonmuutos ja kansainvälinen turvallisuus. Korkean edustajan ja Euroopan komission yhteinen asiakirja Eurooppa neuvostolle. 14.3.2008. S113/08. 11 s.
- European Environment Agency 2009a. Ensuring quality of life in Europe's cities and towns. Tackling the environmental challenges driven by European and global change. EEA report 5/2009. Copenhagen, Denmark. 108 s. Saatavilla Internetistä: http://www.eea.europa.eu/publications/quality_of_life_in_Europes_cities_and_towns. Luettu 13.11.2009.
- European Environment Agency 2009b. Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009. Tracking progress towards Kyoto targets. EEA report 9/2009. Copenhagen, Denmark. 179 s. Saatavilla Internetistä: http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2009_9. Luettu 13.11.2009.
- Gregow H., A. Venäläinen, M. Laine, N. Niinimäki, T. Seitola, H. Tuomenvirta, K. Jylhä, T. Tuomi ja A. Mäkelä, 2008. Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. Raportteja 2008:3, 99 s. Ilmatieteen laitos.
- Gregow H., Ruosteenoja K. 2010: How will the surface wind speeds change in Northern Europe due to global warming? (valmisteilla) Grinsted, A., Moore, J.C. and Jevrejeva, S. 2009. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. Climate Dynamics, DOI 10.1007/s00382-008-0507-2.
- Haapala, J., Myrberg, K., Leppänen, J. M., Lumiaro, R., Lehtiniemi, M. ja Tiitta, E. 2009. Ilmastonmuutos muuttaa Itämeren. Itämeriporaali. Saatavilla Internetistä: <http://www.fimr.fi/fi/tietoa/ilmastonmuutos/fi/FI/muutos/>. Luettu 15.10.2009.
- Halonen, J., Acute Cardiorespiratory Health Effects of Size Segregated Ambient Particulate Air Pollution and Ozone. National Institute for Health and Welfare. Helsinki University Print 2009.
- Hansen, K. M., Geels, C., Brandt, J., Andersen, B., Baklanov, A., Christensen, J. H., Christensen, O.B., Ellerman, T., Engardt, M., Foltescu, V., Hansen, A. W., Kaas, E., Karlsson, P. E., Pleijel, H., Stohl, A., Tarrason, L. 2008. Interaction between climate change, air pollution and related impacts. TemaNord 2008:602. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2008. Luettavissa http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2008_602/at_download/publicationfile. Viitattu 12.2.2010.
- Hassi, J. and Rytönen, M. 2005. Climate warming and health adaptation in Finland. FINADAPT working paper 7. Finnish Environment Institute Mimeo-graphs 337. Helsinki, 22pp.
- Helsingin Vesi 2008. Viemäröinti. Saatavilla Internetistä: <http://www.helsinginvesi.fi/viemariverkosto>. Luettu 13.11.2009.
- Horton, R., C. Herweijer, C. Rosenzweig, J. Liu, V. Gornitz, and A. C. Ruane 2008. Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi empirical method. Geophys. Res. Lett. 35, L02715.
- HS 31.7.2004a. Kasvimaiden ja viljapeltojen sato tukehtumassa veden alle. Helsingin Sanomat.
- HS 31.7.2004b. Runsaasti jätevesiä vesistöihin sateiden takia. Helsingin Sanomat.
- HS 31.7.2004c. Vesimassat jatkoivat velloamistaan perjantaina. Helsingin Sanomat.
- HS 10.12.2005. Tulva katkaisi Suomenlinnan lauttaliikenteen. Helsingin Sanomat.
- HS 22.9.2009. Ilmastonmuutos synkentää Helsingin talvipäiviä entisestään. Helsingin Sanomat.
- Ilmatieteenlaitos 2009a. Hiilidioksidin lisääntymisen vaikutukset näkyvät jo Itämeressä. Ilmatieteenlaitoksen uutinen 9.2.2009. Saatavilla Internetistä: <http://www.fmi.fi/uutiset/index.html?A=1&Id=1233926324.html>. Luettu 15.10.2009.
- Ilmatieteenlaitos 2009b. Ilmastonmuutoksen vaikutus auringonsäteilyn määrään ennuste vuoteen 2099. ACCLIM hanke. 7 s. Saatavilla Internetistä: http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuvat/acclim_aurin_koskenaarrio.pdf. Luettu 13.10.2009.
- Ilmatieteenlaitos 2009c. Kuumien päivien yleistyminen ilmaston lämmetessä. ACCLIM hanke. 10 s. Saatavilla Internetistä: http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuvat/acclim_hellepaivat.pdf. Luettu 13.10.2009.

Stern, N. 2007. The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press. 579 s.

STKL 2008. Ilmasto ja energiapolitiittisen tulevaisuusselonteon sidosryhmäpaneelin keskustelutiivistelmät. 16 s. Saatavilla Internetistä: http://www.valtioneuvosto.fi/toiminta/tulevaisuus_selonteko/osallistaminen/fi.jsp. Luettu 15.10.2009.

The World Bank 2009. Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia. 116 s. Saatavilla Internetistä: http://siteresources.worldbank.org/ECAEXT/Resources/2585981243892418318/ECA_CCA_Full_Report.pdf. Luettu 13.11.2009.

Tiehallinto 2009. Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Tiehallinnon selvityksiä 8/2009. Helsinki. Luettavissa http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201122_v_ilmastonmuutoksen_vaiutus_kunnossapitoon.pdf. Viitattu 12.2.2010.

Tuomenvirta, H., Venäläinen, A., Juottonen, A. ja Haapala, J. 2000. The impact of climate change on the Baltic Sea ice and soil frost beneath snow free surfaces in Finland. Publications of the Ministry of Transport and Communications 13/2000.

Turvallisuus ja puolustusasiain komitea 2006. Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen strategia. Valtioneuvoston periaatepäätös 23.11.2006. Puolustusministeriö. Kirjapaino Keili Oy. 48 s. + liitteet. Saatavilla internetistä. http://www.defmin.fi/files/815/YETT_2006.pdf. Luettu 9.11.2009.

TuuliAtlas 2009. Ilmastonmuutos ja tuulienergia. Saatavilla Internetistä: http://www.tuuliAtlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_9.html. Luettu 7.12.2009.

Ulbrich, U., Fink, A.H., Klawa, M. and Pinto, J.G. 2001. Three extreme storms over Europe in December 1999. Weather 56, 70-80.

Ulbrich U., Pinto, J.G., Kupfer, H., Leckebusch, G.C. and T. Pangehl, M. Meyers, 2008. Changing Northern Hemisphere Storm Tracks in and Ensemble of IPCC Climate Change Simulations, Journal of Climate, 21, 1669-1679.

Uudenmaan liitto 2007. Uudenmaan rannikkoalueiden yleispiirteinen tulvakartta. Uudenmaan liiton julkaisuja E 96. Priimus Paino Oy: Helsinki. 17 s. + liitteet. Saatavilla Internetistä: http://www.astra-project.org/sites/download/E_96_Uudenmaan_rannikko_alueiden_yleispiirteinen_tulvakartta.pdf. Luettu 23.10.2009.

Uudenmaan ympäristökeskus 2008. Maisemansuojelu ja hoito. Saatavilla Internetistä: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=32950&lan=fi>. Luettu 17.10.2009.

Vantaan kaupunki 2009a. Hulevesiohjelma. Julkaisu C 16/2009. Vantaan kaupungin kuntatekniikan keskus. 31 s. + liitteet. Saatavilla Internetistä: http://www.vantaa.fi/i_alaetusivu.asp?path=1;221;222;15196. Luettu 17.10.2009.

Vantaan kaupunki 2009b. Vantaan turvallisuussuunnitelma 2009-2012. Saatavilla Internetistä: http://www.vantaa.fi/i_alaetusivu.asp?path=1;135;137;72125. Luettu 11.11.2009.

Vehviläinen, B. & Huttunen, M. 1997. Climate change and Water Resources in Finland. Boreal Environment Research 2, 3-18.

Vehviläinen, B. & Huttunen, M. 2002. The Finnish watershed simulation and forecasting system (WSFS). Publication of the 21st conference of Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management.

Vehviläinen, B., Huttunen, M. & Huttunen, I. 2005. Hydrological forecasting and real time monitoring in Finland: The watershed simulation and forecasting system (WSFS). In Innovation, Advances and Implementation of Flood Forecasting Technology, conference papers, Tromsø, Norway, 17 to 19 October 2005. ISBN Book 1 898485 13 5.

Venäläinen, A., Saku, S., Jylhä, K., Nikulin, G., Kjellström, E., Bärring, L. 2009. Extremes temperatures and enthalpy in Finland, Sweden in a changing climate. Pohjoismainen ydinturvallisuustutkimus, NKS 194, 36s.

Venäläinen, A., Saku, T., Kilpeläinen, K., Jylhä, H., Tuomenvirta, A., Vajda, K. Ruosteenoja 2007. Sään ääri ilmiöistä Suomessa. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2007:4. 81 s.

Vesihuoltolaki 9.2.2001/119. 9§.

Viinikainen, M. 2009. Kirjallinen tiedonanto 25.11.2009. Finavia.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. ja Makkonen, L. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa tapauskohtaisia tarkasteluja. VTT:n tutkimusraportti VTT R 03986 08. 150 s. + liitteet.

Wæver, O. 2008. Security Implications of Climate Change. Raportissa Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H.J., Alcamo, J., Baker, T., Kammen, D.M., Leemans, R., Liverman, D., Munasinghe, M., Osman Elasha, B., Stern, N. ja Wæver, O. 2009. Climate Change. Global Risks, Challenges & Decisions. Synthesis Report. IARU International Scientific Congress, 10.12.3.2009, Copenhagen, Denmark. 39 s. Saatavilla Internetistä: <http://climatecongress.ku.dk/pdf/synthesisreport/>. Luettu 15.10.2009.

Veijalainen, N., Sippel, K. ja Vehviläinen, B. 2009. Tulvien muuttuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Vantaanjoella ja Espoonjoella. Suomen ympäristökeskus 15.12.2009.

WWF 2002. Suomen lajisto muuttuvassa ilmastossa. Suomen WWF:n raportti nro 16. Lappeenrannan kirjapaino. 25 s. Saatavilla Internetistä: http://www.wwf.fi/www/uploads/pdf/ilmastonselvitys_2002.pdf. Luettu 15.10.2009.

WWF 2008. Effects of Climate Change on Eutrophication in the Northern Baltic Sea. 11 s. Saatavilla Internetistä: http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/wwf_report_climate_balticsea_study_2008.pdf. Luettu 15.10.2009.

Ympäristöministeriö 2008. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelma kansallisen sopeutumistrategian toteuttamiseksi. Ympäristöministeriön raportteja 20/2008. Helsinki. 68 s. + liitteet. Saatavilla Internetistä: <http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=90891&lan=fi>. Luettu 17.10.2009.

Kuvaluettelo

Osa A.

PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMASTOTIETOJA JA SKENAARIOITA

Kuva 1.	Yksittäisten sadetapahtuman keskimääräinen sadesumma eri kesäkuukausina ja vuosikymmeninä Helsingin Kaisaniemessä	13
Kuva 2.	Sateen vuorokausivaihtelu Helsinki Vantaan havaintoasemalla kesäkuukausina	14
Kuva 3.	Globaalit ja alueelliset ilmastomallit	16
Kuva 4.	Ihmiskunnan hiilidioksidipäästöjen ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kehitys kolmen SRES skenaarion mukaan	17
Kuva 5.	Fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja sementin valmistuksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt: toteutuneet päästöt verrattuna IPCC:n päästöskenaarioihin	17
Kuva 6.	Vuosikeskilämpötilat Helsingin Kaisaniemessä vuosilta 1830 2009, Jyväskylästä 1884 2009 ja Sodankylästä 1908 2009	18
Kuva 7.	Suomen vuosikeskilämpötilan poikkeamat jakson 1971 2000 keskiarvosta (°C), vuosina 1847 2009	18
Kuva 8.	Vuosikeskilämpötilan todennäköisyysjakauma Helsingissä vuosien 1901 2005 havaintojen mukaan sekä ilmastomallien tulosten avulla arvioitu nykyistä ilmastoa kuvaava jakauma	19
Kuva 9.	Sään ääri ilmiöiden esiintyminen muuttuu sääsuureen keskiarvon ja vaihtelevuuden muuttuessa	19
Kuva 10.	Todennäköisyysjakaumien muutos Suomessa. Ennustettu muutos lämpötilan ja sademäärän jakaumissa 2011 2020	20
Kuva 11.	Yhdeksäntoista ilmastomallin antama paras arvio Suomen lämpötilan vuosikeskiarvon muutoksesta kuluvan vuosisadan aikana	21
Kuva 12.	Keskilämpötilojen muutos Suomessa kaudesta 1971 2000 kauden 2070 2099 vuoden eri kuukausina ...	21
Kuva 13.	Vuoden eri kuukausien keskilämpötilojen muutoksen aikataulu Etelä ja Pohjois Suomessa	21
Kuva 14.	Kuumien päivien lukumäärän vaihtelu kesästä toiseen Helsingissä ja Vantaalla: havaittu jakauma vv. 1971 2000 sekä ennustettu jakauma vuosina 2010 2039, 2040 2069 ja 2070 2099	22
Kuva 15.	Kesän pisimmän yhtenäisen kuumen jakson kestoaika: tilastollinen jakauma Helsingissä ja Vantaalla v. 1971 2000 (havaittu), 2010 2039 (ennustettu), 2040 2069 (ennustettu) ja 2070 2099 (ennustettu)	22
Kuva 16.	Yhdeksäntoista ilmastomallin antama paras arvio Suomen vuotuisen sademäärän muutoksesta mukaan kuluvan vuosisadan aikana	23
Kuva 17.	Koko vuoden sademäärän muutos kaudesta 1971 2000 kauden 2020 2049 A1B skenaarion mukaan	23
Kuva 18.	Suomen keskimääräinen sademäärä eri kuukausina Suomessa vuosina 1961 1990 (havaittu) sekä arvio tulevasta keskimääräisestä vuotuisesta kuluusta vuosina 2020 2049 ja 2070 2099 A1B skenaarioin toteutuessa	23
Kuva 19.	Rankkojen sateiden esiintymisestä Suomessa tulevaisuudessa	24
Kuva 20.	Kesän pisin sateeton jakso	24
Kuva 21.	Prosentteina ilmaistun kokonaispölyisyyden muutos Keski Suomessa vuoden eri kuukausina; verrattu jaksoa 2070 2099 jaksoon 1971 2000	25
Kuva 22.	Lumipeitepäivien keskimääräisen vuotuisen lukumäärän muutos (%) kaudesta 1961 1990 kauden 2071 2100	25
Kuva 23.	Nollarajan ohituspäivien muutos kaudesta 1971 2000 kauden 2071 2100 A2 skenaarion toteutuessa	26
Kuva 24.	Valtameren pinnan noususkenaariorioita eri tutkimuksissa	27

Kuva 25.	Helsingin keskivedenpinnan havaittu muutos sekä skenaario vuoteen 2100 asti	27
Kuva 26.	Helsingin vedenkorkeuden kuukausimaksimien todennäköisyysjakauma	28
Kuva 27.	Termisen talven ja kevään pituuden muutokset vuosisadan loppuun mennessä A1B skenaarion mukaan	29
Kuva 28.	Termisen kesän ja syksyn pituuden muutokset vuosisadan loppuun mennessä A1B skenaarion mukaan	29
Kuva 29.	Keskimääräisen geostrofisen tuulen nopeuden muutos jaksosta 1971 2000 jaksoon 2081 2100 (a) syys marraskuussa ja (b) joulukuussa A1B skenaarion toteutuessa	30
Kuva 30.	Jääpäävien keskimääräinen lukumäärä Itämerellä 1961 1990 sekä kuluvan vuosisadan lopulla	31
Kuva 31.	Maaperän routakerroksen talvikauden aikainen keskimääräinen suurin paksuus lumettomilla alueilla neljän 30 vuotijakson aikana	32

Osa B.

TULVIEN MUUTTUMINEN VANTAANJOELLA JA ESPOONJOELLA

Kuva 1.	Pääkaupunkiseutu ja Vantaan ja Espoonjokien valuma alueet	40
Kuva 2.	Vantaanjoen vesistöalue, sen tulvakartoitetut alueet, ilmastonmuutoksen vaikutuksen tarkastelupisteet, sekä muut tärkeimmät vedenkorkeuden ja/tai virtaaman havaintoasemat	41
Kuva 3.	Espoonjoen valuma alue, tulvakartoitettu alue, tarkastelupiste sekä muut havaintoasemat	42
Kuva 4.	Kaavio tulvatutkimuksen vaiheista	43
Kuva 5.	Hiilidioksidin päästöjen ja pitoisuuden arvioitu kehitys ...	43
Kuva 6.	Lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen valuma alueella jaksolta 1971 2000 jaksolle 2011 2040 ...	45
Kuva 7.	Lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen valuma alueella jaksolta 1971 2000 jaksolle 2041 2070 ...	45
Kuva 8.	Lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen valuma alueella jaksolta 1971 2000 jaksolle 2071 2100 ...	45
Kuva 9.	Tulva arvioinnissa käytetyt kerran 20 vuodessa toistuvan aluesadannan muutokset jaksolta Vantaanjoen valuma alueelle	46
Kuva 10.	Vesistömallin perusrakenne	47
Kuva 11.	Vantaanjoen Oulunkylän simuloitujen virtaamien keskiarvot ja maksimit referenssijaksolla 1961 2008 ja jaksolla 2041 70	49
Kuva 12.	Keravanjoen Hanalan simuloitujen virtaamien keskiarvot ja maksimit referenssijaksolla 1961 2008 ja jaksolla 2041 70	49
Kuva 13.	Espoonjoen simuloitujen virtaamien keskiarvot ja maksimit referenssijaksolla 1961 2008 ja jaksolla 2041 70	51

Osa C.

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET PÄÄKAUPUNKISEUDULLE

Kuva 1.	Vantaanjoen tulva 2004 Tikkurilan Vernissapuistossa ...	60
Kuva 2.	Kuivuuden vaikutuksia kallioliselle metsäalueelle Espoossa	66
Kuva 3.	Vantaanjoen tulva 2002 Keimolassa	69

Taulukkoluetelo

Osa A. PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMASTOTIETOJA JA SKENAARIOITA

Taulukko 1.	Uudenmaan lämpötilaennätyksiä	12
Taulukko 2.	Uudenmaan sade ennätyksiä	12
Taulukko 3.	Termisten vuodenaikojen keskimääräiset alkuaikojen kohdat	15
Taulukko 4.	Eri todennäköisyytasoja vastaavat vedenpinnan korkeuden kuukausimaksimit Helsingissä.....	28

Osa B. TULVIEN MUUTTUMINEN VANTAANJOELLA JA ESPOONJOELLA

Taulukko 1.	Käytetyt ilmastoskenaariot.....	44
Taulukko 2.	Oulunkylän tulvien muuttuminen jaksoilla 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100 referenssijaksioon nähden	48
Taulukko 3.	Myllymäen tulvien muuttuminen jaksoilla 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100 referenssijaksioon nähden	48
Taulukko 4.	Hanalan tulvien muuttuminen jaksoilla 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100 referenssijaksioon nähden	48
Taulukko 5.	Lepsämäenjoen tulvien muuttuminen jaksoilla 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100 referenssijaksioon nähden	49
Taulukko 6.	Vantaanjoen kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttuminen vedenkorkeuksien osalta jaksoilla 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100 referenssijaksioon nähden.....	49
Taulukko 7.	Kerran 100 vuodessa tulvavirtaamien keskimääräinen muutos Vantaanjoella rankkasateiden maksimimuutoksen kanssa ja ilman muutosta.....	50
Taulukko 8.	Espoonjoen tulvavirtaamien muuttuminen jaksoilla 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100 referenssijaksioon nähden	51
Taulukko 9.	Espoonjoen kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttuminen vedenkorkeuksien osalta jaksoilla 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100 referenssijaksioon nähden	51
Taulukko 10.	Kerran 100 vuodessa tulvavirtaamien keskimääräinen muutos Espoonjoella rankkasateiden maksimimuutoksen kanssa ja ilman muutosta.....	51
Taulukko 11.	Kerran 100 vuodessa toistuvan tulvavirtaaman muuttuminen referenssijaksolta 1961 2008 jaksoille 2011 40, 2041 70 ja 2071 2100	53

Osa C. ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET PÄÄKAUPUNKISEUDULLE

Taulukko 1.	Ilmastomuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön	59
Taulukko 2.	Ilmastomuutoksen vaikutukset rakennuksiin ja rakenteisiin	60
Taulukko 3.	Ilmastomuutoksen vaikutukset vesihuoltoon	61
Taulukko 4.	Ilmastomuutoksen vaikutukset jätehuoltoon	61
Taulukko 5.	Ilmastomuutoksen vaikutukset energianhuoltoon ...	62
Taulukko 6.	Ilmastomuutoksen vaikutukset tieverkostoon ja liikenteeseen	63
Taulukko 7.	Ilmastomuutoksen vaikutukset raideliikenteeseen	64
Taulukko 8.	Ilmastomuutoksen vaikutukset merenkulkuun ja satamiin	65
Taulukko 9.	Ilmastomuutoksen vaikutukset tietoliikenteeseen...	65
Taulukko 10.	Ilmastomuutoksen vaikutukset luonnon monimuotoisuudelle	66
Taulukko 11.	Ilmastomuutoksen vaikutukset kulttuuriympäristölle.....	67
Taulukko 12.	Ilmastomuutoksen vaikutukset Itämereen	68
Taulukko 13.	Ilmastomuutoksen vaikutukset vesistö ja rannikkoalueille.....	69
Taulukko 14.	Ilmastomuutoksen vaikutukset fyysiseen ja henkiseen terveyteen.....	71
Taulukko 15.	Ilmastomuutoksen vaikutukset virkistykseen ja vapaa aikaan	72
Taulukko 16.	Ilmastomuutoksen vaikutukset eri ryhmiin ja huono osaisuuteen	73
Taulukko 17.	Ilmastomuutoksen vaikutukset työhön ja talouteen	74
Taulukko 18.	Ilmastomuutoksen vaikutukset turvallisuuteen.....	76
Taulukko 19.	Ilmastomuutoksen vaikutukset muuhun maailmaan ja Suomeen.....	77

Liite

OLEMASSA OLEVIA ILMASTONMUUTOKSEEN SOPEUTUMISEEN LIITTYVIÄ OHJELMIA JA SÄÄDÖKSIÄ

1. EU

1.1. Ilmastomuutokseen sopeutuminen

Valkoinen kirja 2009

Euroopan yhteisöjen komissio. Ilmastomuutokseen sopeutuminen: Kohti eurooppalaista toimintakehystä. Valkoinen kirja. KOM (2009) 147, Bryssel.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:FI:PDF>

Ilmastomuutokseen sopeutumisen valkoinen kirja luo yleispiirteisen puiteohjelman EU maiden haavoittuvuuden vähentämiseksi ilmastomuutoksen vaikutuksille. Ohjelman tarkoituksena on, että vaiheessa 1 (2009-2012) luodaan perusta ilmastomuutokseen sopeutumista koskevan kattavan EU:n strategian valmistelulle. Strategia pannaan täytäntöön vaiheessa 2, joka alkaa vuonna 2013.

1.2. Tulvat

Tulvadirektiivi 2007

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2007/60/EY tulvariskien arvioinnista ja hallinnasta. Annettu 23.10.2007.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:002:7:0034:FI:PDF>

Tulvariskien arvioinnista hallinnasta annetun direktiivin tarkoituksena on luoda tulvariskien arvioinnille ja hallinnalle puitteet, joilla pyritään vähentämään yhteisön alueella esiintyvien tulvien johdosta aiheutuvia vahingollisia seurauksia (ihmisten terveydelle, ympäristölle, kulttuuriperinölle ja taloudelliselle toiminnalle).

Direktiivi edellyttää, että tulvariskit arvioidaan jäsenmaissa laaditaan tulvavaara- ja tulvariskikartat tietyistä alueista sekä laaditaan tulvien hallintasuunnitelmat tietyille alueille

Direktiivissä ei käsitellä korvaus- tai vakuutuskysymyksiä. Jäsenmaiden on vuoteen 2015 mennessä valmistettava tulvariskien hallintasuunnitelmat.

1.3. Ennakkovaroitujärjestelmät

Meteoalarm - alerting Europe for extreme weather. Järjestelmä Internetissä: <http://www.meteoalarm.eu/?lang=FI>

Meteoalarm on eurooppalainen verkkosivusto, joka tiedottaa vaarallisista sääolosuhteista. Meteoalarm on EUMETNET:n eli Euroopan ilmatieteen laitosten yhteistyöverkon kehittämä. Palvelu on vapaasti käytettävissä.

2. SUOMI

2.1. Ilmastomuutokseen sopeutuminen yleisesti

Ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia 2005

Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatukia, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R. ja Paunio, M. 2005. Ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. Maa- ja metsätaloustaloustieteiden tutkimuskeskus Kirjapaino Oy: Vammala. 273 s. +liite.

http://www.mmm.fi/julkaisut/julkaisusarja/2005/MMMjulkaisu2005_1.pdf

Strategiassa on kuvattu ilmastomuutoksen vaikutuksia eri sektoreille (ml. liikenne, alueidenkäyttö, energia jne.), esitetty arvot nykyisestä kyvystä sopeutua vaikutuksiin sekä hahmoteltu sopeutumiskykyä parantavia toimenpiteitä.

2.2. Tulvat ja hulevedet

Ehdotus tulvariskien hallinnasta annettavaksi laiksi

Maa- ja metsätaloustaloustieteiden tutkimuskeskus Kirjapaino Oy: Vammala. 2008. Ehdotus hallituksen esitykseksi tulvariskien hallinnasta annettavaksi laiksi ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi. 20.8.2009.

http://www.mmm.fi/attachments/mmm/lausuntopyynnnot/5JbLXKMty/Ehdotus_HE_laiksi_tulvariskien_hallinnasta_ym_200809.pdf

Tulvariskien hallinta kuuluu maa- ja metsätaloustaloustieteiden tutkimuskeskus Kirjapaino Oy: Vammala. 2008. Ehdotus hallituksen esitykseksi tulvariskien hallinnasta annettavaksi laiksi ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi. 20.8.2009.

Kansallisella tasolla on aloitettu valmistella lainsäädäntöä direktiivin toteuttamiseksi: MMM on tehnyt esityksen hallituksen esitykseksi laiksi tulvariskien hallinnasta sekä vesilakiin liittyvistä muutoksista.

Ympäristöhallinnon tulvatietojärjestelmän Internet sivut.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=316780&lan=fi>

Internet sivuille "Vesistöennusteet, vesitilannekartat ja tulvaravitukset" on koottu kaikkien Suomen jokien vesistöennusteet, joita päivitetään jatkuvasti. Lisäksi linkit vedenkorkeus- ja tulvaravituksiin, sadevaroituksiin, lumen sulantaan jne.

Suurtulvatyöryhmän loppuraportti

Maa- ja metsätaloustaloustieteiden tutkimuskeskus Kirjapaino Oy: Vammala. 2003. Suurtulvatyöryhmän loppuraportti. Työryhmämuistio 6/2003. Helsinki.

[http://www.mmm.fi/attachments/vesivarat/5fDcMTEHP/tr2003_6\[1\].pdf](http://www.mmm.fi/attachments/vesivarat/5fDcMTEHP/tr2003_6[1].pdf)

Laki ja asetukset poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta

Laki poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta 18.3.1983/284. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1983/19830284>

Asetus poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta 24.11.1995/93. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1995/19950093>

Maa- ja metsätaloustaloustieteiden tutkimuskeskus Kirjapaino Oy: Vammala. 2008. Ehdotus hallituksen esitykseksi laiksi tulvavahinkokorvauksista ja arviointiperusteista 13.11.2008/ 698.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080698>

Laissa säädetään tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta. Maa- ja metsätaloustaloustieteiden tutkimuskeskus Kirjapaino Oy: Vammala. 2008. Ehdotus hallituksen esitykseksi laiksi tulvavahinkokorvauksista ja arviointiperusteista 13.11.2008/ 698.

Pelastuslaki

Pelastuslaki 13.6.2003/468. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2003/20030468>

Viranomaisten vastuusta tulvatilanteessa säädetään pelastuslaissa. Lisää tietoa viranomaisten vastuunjaosta löytyy raportista "Viranomaisten varautuminen rankkasadetulvatilanteisiin" (Raivio ym. 2006, 76-79). Pelastuslakia ollaan parhaillaan uudistamassa, ja uudistusten on suunniteltu tulevan voimaan vuoden 2011 alussa.

asemakaava alueen ulkopuolella noudatetaan oppaan ”Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumavaarat ranta alueille rakennettaessa” (Ollila 2002) suosituksia, eli tulvavesirajan alapuolelle ei saa sijoittaa rakennuksia. Oppaan suosituksissa on huomioitu ilmastonmuutoksen vaikutukset tulviin. Suositukset koskevat sekä sisävesien että rannikon ranta alueita.

Espoon kaupunki on täydentänyt rakentamismääräyksiä (C 12) kosteuden huomioimisen osalta 1990 luvun lopussa. Ohje on sovellettavissa myös ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautumisessa.

Helsinki

Rakennusviraston vaikutukset ilmastonmuutokseen ja arvio sopeutumisen toimista

Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 2010. Esiselvitys. Rakennusviraston vaikutukset ilmastonmuutokseen sekä arvio yleisten alueiden rakentamisen ja ylläpidon sopeutumistoimista 28.12.2010. Helsingin kaupunki, Rakennusvirasto.

Rakennettujen viheralueiden kasvien käytön linjaus

Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 2009. Kasvit ovat kaupungin vaatteen. Helsingin rakennettujen viheralueiden kasvien käytön linjaus. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisu 2009:11/Katu ja puisto osasto.

<http://www.hrk.hel.fi>

Tulvakohteiden määrittely

Helsingin kaupungin rakennusvirasto, katu ja puisto osasto. 2007. Tulvakohteiden määrittely. Esiselvitys. FCG Suunnittelukeskus oy, Helsingin kaupunki, rakennusvirasto.

http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/tulvakohteet/tulvakohteet_esiselvitys.pdf

Esiselvityksessä tarkastellaan Helsingin kaupungin rakennettujen ranta alueiden tulvavaara alueita meriveden noustessa tasoille NN +110 m ja NN +2.00 m. Esiselvityksessä on inventoitu kaupunginosittain ne riskikohteet, joissa merivedenkorkeuden äkillisestä noususta (tulvimisesta) voi aiheutua haittaa tai vahinkoa kiinteistöille, rakennuksille ja muille ranta alueella sijaitseville rakenteille. Esiselvitys toimii riskikohteista laadittavien jatkosuunnitelmien lähtöaineistona. Esiselvityksen ulkopuolelle on rajattu Suomenlinna, Santahamina, ulkosaaret ja Vantaanjoen alue sekä uudet ja suunnittelukohteina olevat alueet (esim. Pikku Huopalahti, Aurinkolahti, Sörnäistenranta, Hermanninranta, Arabianranta, Kruunuvuorenranta, Jätkä , Herne ja Koivusaari), sillä näiden alueiden maankäytön suunnittelussa on otettu huomioon meriveden noususta mahdollisesti aiheutuva tulvavaara. Riskikohteina ei käsitellä kantakaupungin rantavyöhykettä. Näiden alueiden tulvasuojaus tulee jatkossakin tapahtumaan tilapäisten tulvasuojelurakenteiden avulla. Tarkastelussa ei ole myöskään riskikohteina ranta alueiden ulkopuolisia alueita, joissa sadevesiviemäreiden kautta mahdollisesti tapahtuvan merivedennousun seurauksena aiheutuisi tulvatilanne.

Rakennusjärjestys

Helsingin kaupunki 2000. Helsingin kaupungin rakennusjärjestys. Päivitetty 8.4.2005.

<http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/4c1d80004a17215784b4ec3d8d1d4668/Rakennusjarjestys.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=4c1d80004a17215784b4ec3d8d1d4668>

Rakennusjärjestyksessä säädetään mm. kiinteistöjen velvollisuuksista hulevesien johtamisesta (15§ ja 17§). Rakennusjärjestyksessä on lisäksi määräyksiä mm. rantarakentamisen rakennuskorkeuksista (26§ ja 27§). Rakennuskorkeuksia koskevilla määräyksissä noudatetaan oppaan ”Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumavaarat ranta alueille rakennettaessa” (Ollila 2002) suosituksia. Oppaan suosituksissa on huomioitu ilmastonmuutoksen vaikutukset tulviin. Suositukset koskevat sekä sisävesien että rannikon ranta alueita. Helsingissä ranta alueille rakennettaessa huomioidaan kerran 200 vuodessa toistuvan tulvan mahdollisuus, joka nousee korkeustasolle +2,3 metriä.

Vantaa

Rakennusjärjestys

Vantaan kaupunki 2008. Vantaan kaupungin rakennusjärjestys. Rakennusjärjestyksessä säädetään mm. tontin hulevesien johtamisesta (24§).

Uusimaa

Alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Uudenmaan suurimpien järvien rannoilla.

Uudenmaan ympäristökeskus. Alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Uudenmaan ja Itä Uudenmaan suurimpien järvien rannoilla.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=58981&lan=fi>

Tiedostoon on koottu alimmat rakentamiskorkeudet Uudenmaan järvien rannoilla. Tämä koskee Espoota, Kauniaista ja Vantaata, ei sen sijaan Helsinkiä.

Hulevesien käsittely maankäytön suunnittelussa

Tornivaara Ruikka, R. 2006. Hulevesien käsittely maankäytön suunnittelu Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 3/2006. Uudenmaan ympäristökeskus. Helsinki. 29 s. +liitteet.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=104390&lan=fi>

Julkaisussa on selvitetty maankäytön vaikutuksia hulevesiin sekä muutamalla esimerkillä havainnollistettu, kuinka hulevesiä on huomioitu maankäytön suunnittelussa. Yksi esimerkeistä on Viikin alue. Lisäksi julkaisussa on esitetty suosituksia hulevesien hallinnan huomioimiseen.

3.4. Ympäristö

Helsingin luonnon monimuotoisuuden turvaamisen toimintaohjelma.

Helsingin luonnon monimuotoisuuden turvaaminen. Toimintaohjelma 2008 2017. Khs 8.2.2010. Luonnos: http://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunkisuunnittelulautakunta/Suomi/Esitys/2008/Ksv_2008_01_10_Kslk_01_EI/58F94212_421C_44F3_B540_8DBAE234F109/Helsingin_luonnon_monimuotoisuuden_turvaamisen_toi.pdf

Ohjelman tavoitteena on säilyttää luonnon monimuotoisuus, jotta kaupunkilaisille voidaan turvata terveellinen, viihtyisä ja monimuotoinen ympäristö. Ohjelmassa on esitetty toimenpiteitä luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseksi, jotka on tarkoitettu ottaa huomioon maankäytön suunnittelussa ja viheralueiden suunnittelussa ja hoidossa. Ohjelman toimenpiteiksi on esitetty mm. huleveden hyödyntämistä rakentamalla kosteikkoja ja tulvaniittyjen perustamista. Lumo ohjelman lähtökohtana on ollut se, että terveet ekosysteemit ja monimuotoinen luonto kestävät parhaiten ilmastomuutoksen vaikutuksia.

3.5. Turvallisuus ja pelastustoimi

Vantaan turvallisuussuunnitelma

Vantaan kaupunki 2009. Vantaan turvallisuussuunnitelma 2009 2012. 18 s.

http://www.vantaa.fi/i_alaetusivu.asp?path=1;135;137;72125

Vantaan kaupungin, Keski Uudenmaan pelastuslaitoksen, Itä Uudenmaan pelastuslaitoksen ja Vantaan seurakuntayhtymän yhteistyössä laadittu turvallisuussuunnitelman tavoitteena on lisätä mm. liikenteen ja ympäristön turvallisuuden tilaa Vantaalla.

Valmiussuunnitelmat

Helsingin pelastuslaitoksen valmiussuunnitelma 2007.

Valmiussuunnitelma on pelastuslaitoksen yleisluontoinen suunnitelma laitoksen valmiuden ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi sekä normaaliajan häiriötilanteissa että poikkeusoloissa. Keskeisenä ajatuksena on, että pelastuslaitos pystyy turvaamaan palvelunsa valmiutta joustavasti kohottamalla.

Keski Uudenmaan pelastuslaitoksen valmiussuunnitelma.

Länsi Uudenmaan pelastuslaitoksen valmiussuunnitelma.

3.6 Tutkimukset ja selvitykset

Astra hanke (Towards Climate Change Adaptation Strategies in the Baltic Sea Region), päättyi 2007. <http://www.astra-project.org/>

BaltCICA hanke (Climate Change: Impacts, Costs and Adaptation in the Baltic Sea Region) 2009 2011. <http://www.baltcica.org/casestudies/helsinki.html>

Julia 2030 hanke (Ilmastonmuutos Helsingin seudulla hillintä ja sopeutuminen) 2009 2011, http://www.hsy.fi/julia2030/Sivut/Julia2030_etusivu.aspx

Wahlgren, I., Kuismanen, K. ja Makkonen, L. 2007. VTT. Sörnäistenranta Hermanninranta osayleiskaava. Ilmastonmuutoksen huomioointaminen. VTT:n tutkimusraportti VTT R 00471 07. Helsingin kaupungin kaupunki suunnitteluvirasto ja VTT. 48 s. +liitteet. Saatavilla Internetistä: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_Ilmastonmuutos_kaavoitus_Kalasadama.pdf

Helsingissä on rakenteilla kolme uutta aluetta merenrannalle: Kalasataman alue, Kruunuvuorenranta ja Jätkäsaari. Helsingissä ranta alueille rakennettaessa on huomioitava meri ja jokitulvien mahdollisuus. Niiden varalta on määritetty alimmat rakentamiskorkeudet, joista säädetään mm. rakennusjärjestyksessä (ks. Helsingin kaupunki 2000). Lisäksi rankkasade tulvat ja hulevesien johtaminen on huomioitu rakentamisen kortotasossa, alueiden kuivatuksessa sekä kunnallistekniikassa. Kruunuvuorenrannan ja Jätkäsaaren osalta on huomioitu myös tuulisuusvaikutukset, Jätkäsaaren aallokon vaikutukset ja Kalasataman osalta on laadittu selvitys ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja annettu suunnitteluohteita mm. mikroilmaston huomioimiseksi.



HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
PL 100, 00066 HSY, Opastinsilta 6 A, 00520 Helsinki
Puh. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, www.hsy.fi

HRM Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster
PB 100, 00066 HSY, Semaforbron 6 A, 00520 Helsingfors
Tfn. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, www.hsy.fi