



© Jussi Nukari / Lehtikuva

PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMASTO MUUTTUU

Sopeutumisstrategian taustaselvityksiä

HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut
HRM Helsingforsregionens miljötjänster

Esipuhe

Ilmastomuutoksen 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 haitallisia vaikutuksia tai hyötyä mahdollisista eduista.

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

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

Pääkaupunkiseudun kaupunkien Helsingin, Espoon, Kauniaisten ja Vantaan yhteisen ilmastomuutokseen 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 ilmastomuutoksen vaikutusten ja sopeutumisen kustannuksia seudulla mahdollisuuksien 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 ilmastomuutoksen 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 (Ilmastomuutos Helsingin seudulla – hillintä ja sopeutuminen), jonka yksi osaprojekti on ilmastomuutokseen 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 ilmastomuutokseen 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 ilmastomuutokseen sopeutumisen strategian valmistelulla yhteistyössä kuntayhtymän jäsenkaupunkien kanssa. Työtä ohjaa pääkaupunkiseudun kaupunkien yhteinen ohjausryhmä, jossa ovat edustettuina sopeutumisen kannalta avaintoimialat kustakin HSY -jäsenkaupungista. Ohjausryhmän puheenjohtajana on Helsingin kaupungininsinööri 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+)



Raimo Inkinen
Toimitusjohtaja
HSY



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 ilmastomuutos 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 terminen talvi lyhenee ja muut vuodenajat 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 senttimetristä 2 metriin vuoteen 2100 mennessä. Epävarmuutta aiheuttaa esimerkiksi mannerjäätiköiden sulamisnopeudessa tapahtuvien muutosten vaikea 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.

Ilmastomuutos vaikuttaa merkittävästi tulvien yleisyyteen ja ajoitukseen Suomessa. Vantaanjoen pääuomassa tulvien arvioidaan keskimäärin pienenevän ilmastomuutoksen 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. Ilmastomuutoksen vaikutukset ovat kuitenkin vielä epävarmoja ja esimerkiksi rankkojen sateiden muuttuminen nyt arvioitua enemmän voi muuttaa tuloksia. Havaintojen perusteella laaditut tulvakartat ovat kuitenkin käyttökelpoisia myös ilmastomuutos huomioon ottaen. Tarvittaessa ilmastomuutokseen voidaan varautua ottamalla suunnittelussa käyttöön entistä suurempaa toistumisaikaa vastaava tulvakartta. Kerran 100 vuodessa toistuva tai sitä suurempi tulva aiheuttaisi toteutuessaan merkittäviä vahinkoja.

Ilmastomuutoksen 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 ilmastomuutoksen 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 ilmastomuutoksen vaikutukset voivat heijastua Suomeen esimerkiksi kansainvälisen turvallisuuden kautta.

AVAINSANAT: ilmastomuutos, 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 1561 2011

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 bibehålls 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 tjälen blir grundare. På Östersjön minskar vinterns havsis och antalet isdygn blir färre. Sommartemperaturens ökning 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.

Till ändringar 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 scenarior 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 vinteröversvämningar. Klimatförändringens verkningar är dock fortfarande osäkra och resultaten kan förändras av till exempel en större förändring av slagregn än nu beräknats. Översvämningskartor, 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 översvämningskarta 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 energidistribution, upprätthållandet av kommunikationsnät och extrema väderleksfenomen. Luftkvaliteten kan försämrast, nollgradigt före med halka öka och klimatförändringens globala effekter kan även reflekteras på Finland, till exempel via den internationella säkerheten.

NYCKELORD: klimatförändring, anpassning, scenarier, 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 1 2011

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) 1798-6087ISSN (pdf) 1798-6095Language: Finnish

ISBN (print) 978-952-6604-04-6ISBN (pdf) 978-952-6604-05-3Pages: 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. Ilmastonmuutos 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 ilmastonmuutokseen 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 vuodenajat 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 vuodenajat.....	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 Uttamaata on eteläboreaalista luon-nonvyöhykettä, mutta maakunnan eteläisin osa kuuluu ns. hemiboreaaliseen eli tammivyöhykkeeseen. Tämän vyöhyk-keen pohjoisreuna kulkee Lohjanjärveltä itäkaakkoon. Koko Uudenmaan alue kuuluu peräti neljään eri kasvien menesty-misvyöhykkeeseen. Hankoniemen seutu on edullisinta la-vyö-hykettä, lb-vyöhyke ulottuu Sammatti-Helsinki-linjalle asti, sen pohjoispuolinen alue on ll-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 alku-kesällä, syksyllä ja alkutalvella lämmittää. Yleisesti ottaen meren vaikutus pienenee lounaasta sisämaahan siirryt-täessä, 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 korkeim-milla seuduilla jopa 1,5-kertainen rannikkoseutuihin verrattuna. Erityisesti Lohjanharju ympäristöineen on oma ilmastollinen erikoisalueensa. Uudenmaan pohjoisimmat osat ovat Salpaus-selän 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 kauimpana 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 Nuuksion ylänköalue ovat keskimäärin maamme sateisinta aluetta. Kevät on tavallisesti vuoden kuivinta aikaa varsin-kin rannikolla, sillä esimerkiksi toukokuun sademäärä on

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

1.2 LÄMPÖTILAT

Uudenmaan lämpötilaolot ovat rannikolla ja sisämaassa erilaiset. Vertailukauden 1971-2000 havaintotietojen (Drebs ym. 2002) mukaan vuoden kylmimmän ja lämpimimmän ka-lenterikuukauden keskilämpötilojen ero on Helsingin Kaisanie-messä 22 °C ja Hyvinkäällä noin 23 °C. Vuotuisten äärilämpöti-lojen 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 kuukau-sista voidaan mainita, että helmikuun koko maan lämpöen-nätys 11,8 °C mitattiin Helsingin Ilmalassa vuonna 1943 ja maa-liskuun ennätys 17,5 °C vuonna 2007 Helsinki-Vantaan lentokentällä (**taulukko 1**). Myös toukokuun koko maan ylin läm-pötila 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 puo-lestaan esiintyy touko-elokuun aikana Kaisaniemessä keski-määrin 7 ja Helsinki-Vantaalla 14.

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 Lahnus 21.7.1944, 198 mm

1.3 SATEET

Sateidenkin suhteen Uusimaa pitää hallussaan useita Suomen ennätyksiä (**taulukko 2**). Maininnanarvoisin lienee koko maan suurin yhden vuoden aikana mitattu sademäärä 1 109 mm, Espoon Nupurissa v.1981. Yli 1 000 millimetrin on päästy myös v. 1944, kun Lohjan Porlassa satoi 1 056 mm ja Kirkkonum-men Pikkalassa 1 051 mm. Itä-Uudellamaan suurin lukema 986 mm on peräisin Loviisasta vuodelta 1904. Kaisaniemen sa-teisin vuosi on ollut 1974, jolloin sadetta saatiin 880 mm. Pienimmät vuosisateet on tilastojen mukaan havaittu ranni-kolla. Tietävästi kuivin vuosi on ollut 1959 Hangon Russarössä, jolloin sadetta kertyi ainoastaan 287 mm. Helsingin Isosaarella satoi vuonna 2002 294 mm. Nämä ovatkin ainoat 300 mm:n alitukset. Myös Kaisaniemessä oli vuosi-tasolla kuivinta vuonna 2002 sademäärän jäädessä täpä-rästi 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 kuukau-sien ”Suomen ennätyksiä” ovat helmikuun 119 mm vuonna 1990 Pohjankurussa, lokakuun Vihdin Hiiskulan lukema, mar-raskuun 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 Lahnuksessa 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 kuu-kausien ”Suomen ennätyksiä” ovat helmikuun 119 mm vuonna 1990 Pohjankurussa, lokakuun Vihdin Hiiskulan lukema,

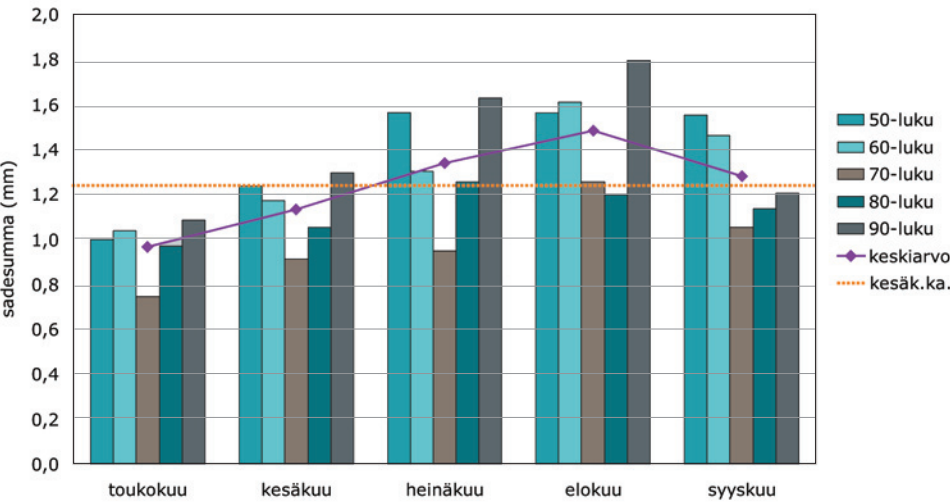
marraskuun 223 mm Tuusulan Ruotsinkylässä vuonna 1996 sekä joulukuun 159 mm Pohjankurussa vuonna 1974.

Myös vuorokauden suurin maassamme mitattu sademäärä on Uudeltamaalta, sillä 21. heinäkuuta 1944 Espoon Lahnuksessa 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.

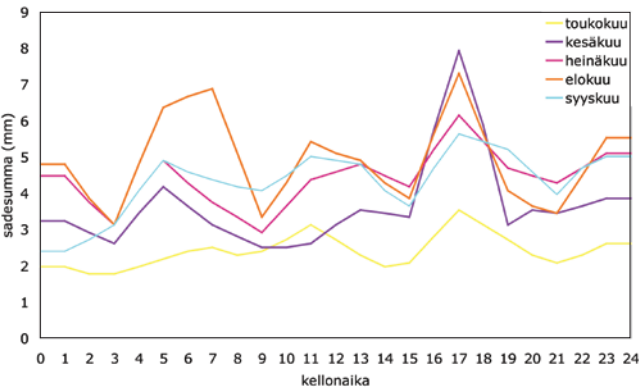
1.3.1 KESÄSATEIDEN ILMASTOLLISIA PIIRTEITÄ

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

Toukokuussa sademäärä on Helsingin Kaisaniemen mittaus-asemalla selvästi pienempi kuin muina kesäkuukausina. Touko-kuun sateet kestävät yhteensä noin 25 tuntia. Sadetapahtumat ovat toukokuussa suhteellisen pitkäkestoisia, koska kylmä meri ja viileä ilma vähentävät kuoroluonteisten 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 vaihtele vuorokauden kuluessa paljon. Suurimmat sadesum-mat kertyvät klo 10-12 ja 16-18 (**kuva 2**). Sateen intensiteetti on kuitenkin suurin kello 08-10. Suurimmat sadesummat ja inten-



KUVA 1. Yksittäisten sadetapahtuman keskimääräinen sadesumma eri kesäkuukausina ja vuosi-kymmeninä 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.

sateetit 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 iltapäivämaksimi ja toinen pienempi maksimi klo 04-06, mutta muuten sadesumman vuorokautinen vaihtelu on pientä. Sateen intensiteetin iltapäivämaksimi ei ole suhteellisesti yhtä voimakas kuin sadesumman iltapäivämaksimi, ja intensiteetin 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 todennäköisimpiä 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 satunnaiseen 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 touku-kuussa sekä syyskuussa. Toukokuussa on kuitenkin vähemmän sadetapahtumia kuin syyskuussa, minkä 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 oikullista 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. Eroa 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 (lämmen 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 talvinen lumipeite on pysynyt jopa yli 5 kuukautta. Pitkä lumitalvi koettiin v. 1995-96, kun lumi saatiin 28.11. ja se hävisi 14.4. kestätyään 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 vuorokauteen.

Myös lumensyvytydet 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 lumensyvytydet jäivät 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 maalishuhtikuun vaihteessa ja luoteisilla ylänköseuduilla huhtikuun 10. päivän vaiheilla.

TAULUKKO 3. Termisten vuodenaikojen keskimääräiset alkuaajajankohdat

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.

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 pysyvämmiin pakkasen puolelle, ts. terminen 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 maalishuhtikuun 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 alkupäivinä, mikä johtuu kylmästä ja osittain vielä jääpeitteisestä merestä. Termisen 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 vrkeen.

2. Ilmastonmuutos pääkaupunkiseudulla

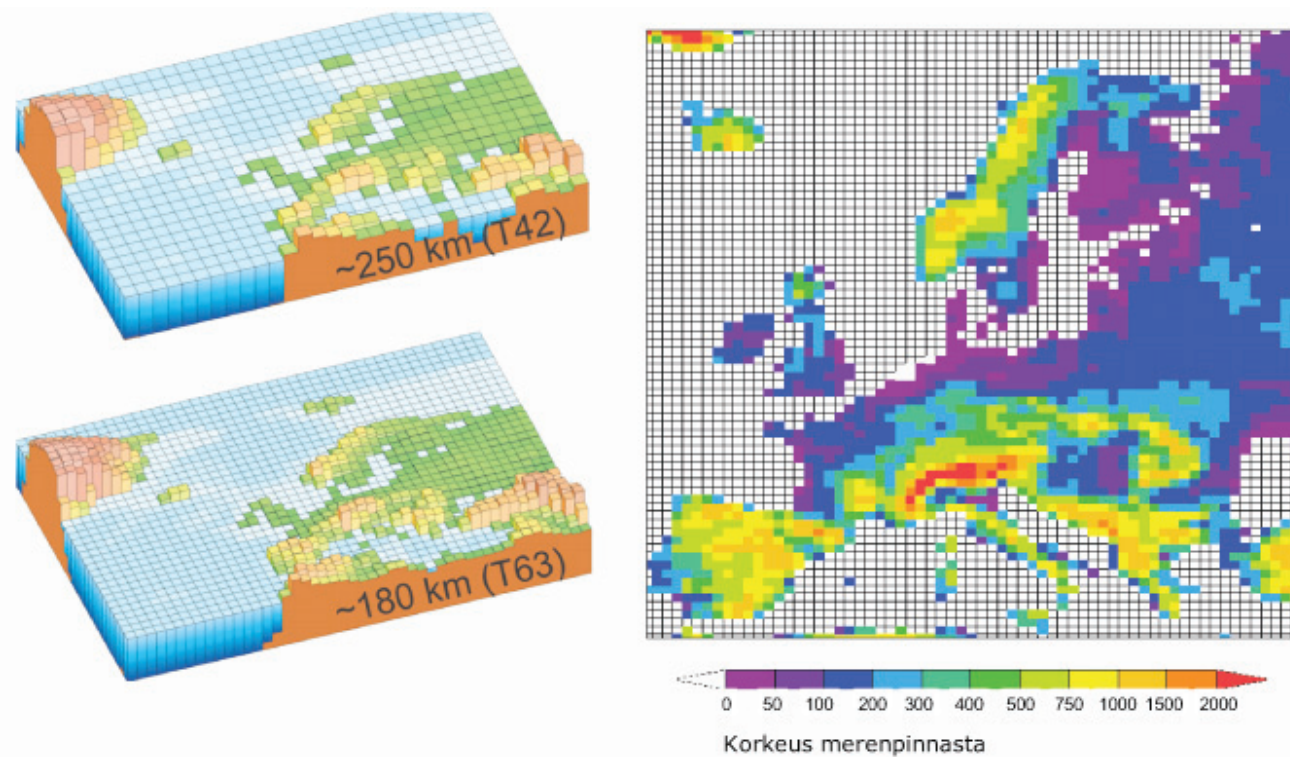
Ihmiskunnan toiminta muuttaa planeettamme ilmakehän koostumusta. Kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, pitoisuus ilmakehässä on nousussa. Kasvihuonekaasujen lisääntyminen näkyy jo ilmastossa. Hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) mukaan ilmaston lämpeneminen on kiistatonta. Havainnot osoittavat, 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 pohjalte, joita mallin laskentaan käytettävää tietokoneohjelmaa laadittaessa kylläkin täytyy yksinkertaistaa. Ilmaston mallittamisessa ei siten ole kysymys tulevaisuuden ennustamisesta tilastollisin keinoin ilmaston tähänastisten havaintujen vaihtelujen perusteella. Malleissa ilmakehän, merten 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 ilmastomuutosennusteissa 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 hilapiste arvot on annettu, mallin yhtälöitten avulla voidaan laskea eri suureille muutosnopeudet kaikissa hilapisteissä. Lisäämällä



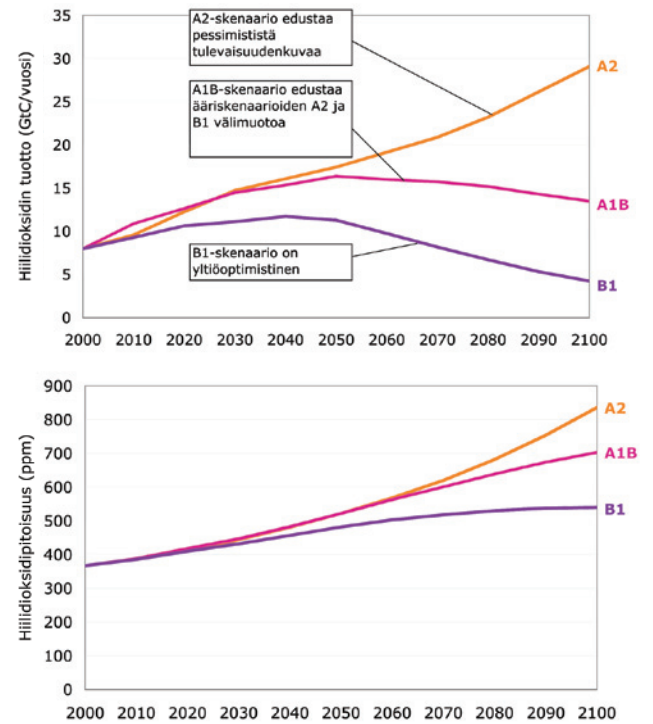
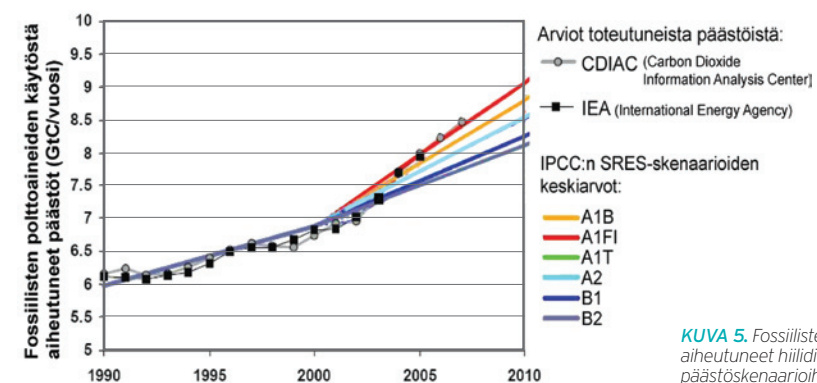
KUVA 3. Useimpien globaalien ilmastomallien (kuva vasemmalla) erotuskyky tänä päivänä on noin 200 km luokkaa. Maapallonlaajuiset ilmastomallit ovat kehittyneet, mutta usein niiden tuloksia on välttämätöntä tarkentaa alueellisilla ilmastomalleilla, joissa (kuva oikealla) laskentaväli on 25-50 km.

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

Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen sekä pienhiukasten pitoisuuksien annetaan kasvaa havaintoja vastaavalla tavalla malliajon alkuhetkestä (esim. vuodesta 1800 lähtien) aina nykyhetkeen asti. Nykyhetkestä eteenpäin kaasujen pitoisuudet voidaan ottaa skenaarista. Nykyisin ilmastomallikokeitten pohjana käytetään yleisesti IPCC:n SRES-kasvihuonekaasuskenarioita (lyhenne SRES viittaa IPCC:n (2000) päästöskenaarioraporttiin "Special Report on Emission Scenarios"). SRES-skenariot voidaan jakaa kahteen ryhmään: kulutusyhteiskuntaskenariot (A-skenariot) ja kestävään kehitykseen tähtäävät skenaariot (B-skenariot). Malliajoissa on eniten käytetty näistä skenaarioista kolmea:

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

Skenarioiden erot päästöjen kehityksessä ovat suuria (kuva 4). A2-skenaarion toteutuessa sekä hiilidioksidin että metaanin päästöt suurin piirtein kolminkertaistuvat tämän vuosisadan aikana, ja ovat selvässä kasvussa vielä vuoden 2100 tienoillakin. Kahdessa muussa skenaarissa päästömäärät kääntyvät laskuun vuosisadan puoliväliä lähestyttäessä. B1-skenaarissa pudotus on voimakkaampaa. Tämän skenaarion toteutuessa hiilidioksidipäästöt olisivat vuosisadan lopussa enää puolet vuoden 2000 määrästä. Metaaninkin päästöt olisivat pudonneet 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-skenaarion mukaan.

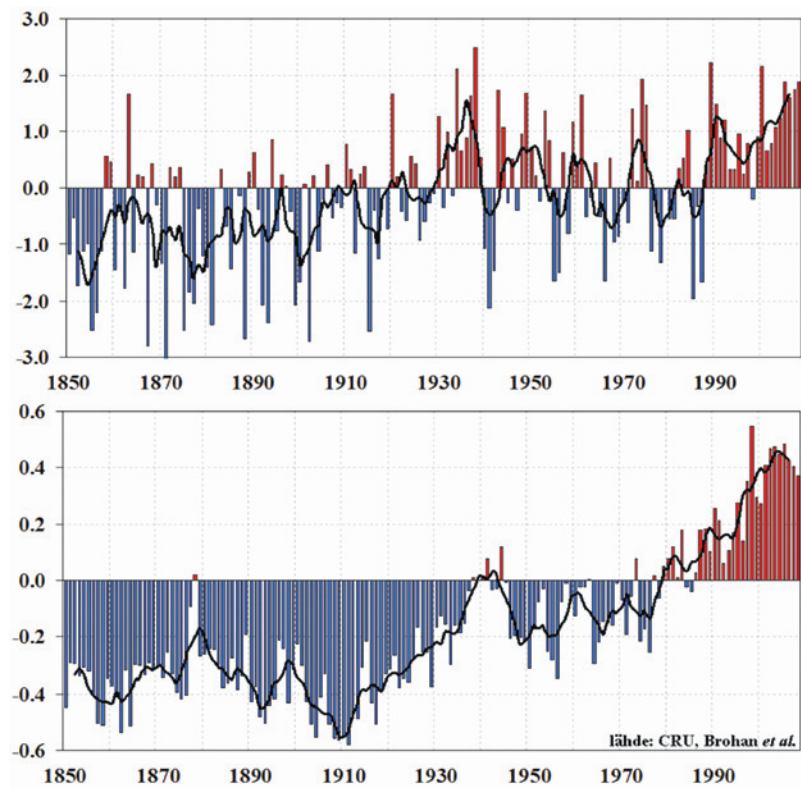
2006, 2007 ja 2008 kuitenkin yhtä suuret tai jopa hieman suuremmat kuin IPCC:n suurimpien päästöjen A1FI-skenariossa (Allison ym. 2009, kuva 5).

Ilmakehän kaoottisen luonteen vuoksi sääolot vaihtelevat vuodesta toiseen varsin paljon. Jonkun yksittäisen vuoden sääolot eivät siis anna oikeaa kuvaa 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 ilmaston vaihteluja ei kuitenkaan ole koko totuus sen kyvystä ennustaa tulevaa ilmastoa, sillä odotettavissa oleva ilmastomuutos vie maapallon ilmaston tilaan, jollaisesta meillä ei välttämättä ole havaintoja. Ilmastomuutosennusteiden epävarmuuden mittana käytetäänkin usein ilmastomuutoksen vaihtelua eri mallien välillä.

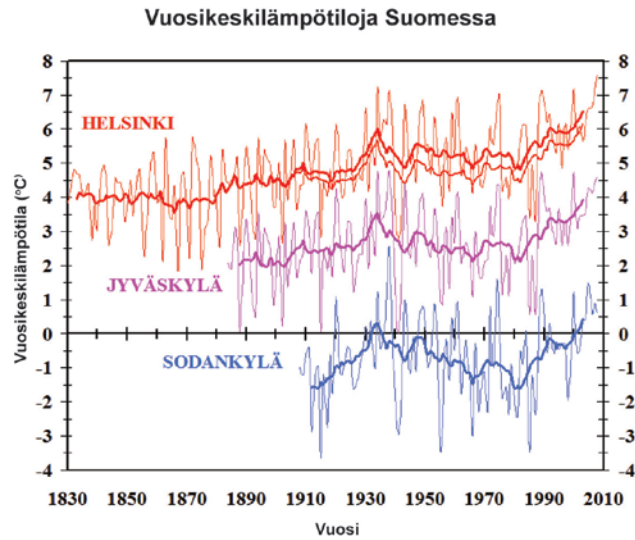
KUVA 5. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja sementin valmistuksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt: toteutuneet päästöt verrattuna IPCC:n päästöskenarioihin (Allison ym. 2009).

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

Tietokoneilla lasketuissa ilmastomuutosennusteissa epävarmuutta aiheuttavat siis ilmaston luonnollinen vaihtelu, epävarmuus tulevaisuuden päästöjen määrästä sekä itse mallien yksinkertaistukset. Puutteistaan huolimatta mallit ovat osoittaneet, että tiettyjä ilmiöitä niillä voidaan ennustaa. Jo IPCC:n ensimmäisessä arviointiraportissa (Houghton et al. 1990) esitettiin mallilaskelmia Arktisen alueen voimakkaasta lämpenemisestä, ja 1990-luvun alun jälkeen ilmastomallit ovat entisestään kehittyneet ja tarkentuneet. Arviot ilmastomuutoksesta muuttuvat sitä epävarmemmiksi, mitä pidemmälle tulevaisuuteen ennustetaan ja mitä pienempään mittakaavaan (esim. 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. Esimerkiksi maapallon keskilämpötilan nousun ennuste kuluvalle vuosisadalle vaihtelee eri malleilla ja päästöskenaarioilla laskettaessa 1,1 °C:sta (alaraja B1-skenaariolle) 6,4 °C:seen (yläraja A1FI-skenaariolle).



KUVA 7. Suomen vuosikeskilämpötilan 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.



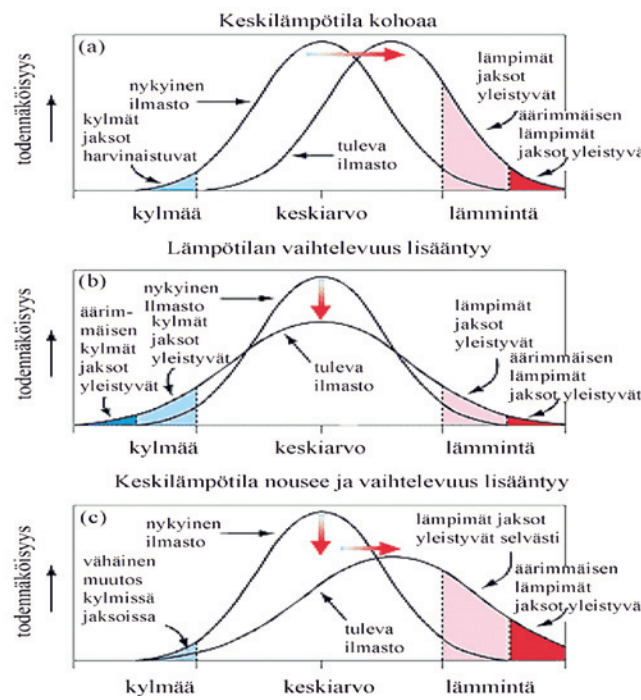
KUVA 6. Vuosikeskilämpötilat Helsingin Kaisaniemessä vuosilta 1830–2009, Jyväskylästä 1884–2009 ja Sodankylästä 1908–2009. Vuotuiset arvot ovat ohuella viivalla ja kymmenen vuoden liukuva keskiarvo paksulla. Helsingin lämpötiloista mukana myös arvio siitä, miten paljon kaupungistuminen on kohottanut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

2.2 ÄÄRI-ILMIÖT JA VAIHTELEVUUS

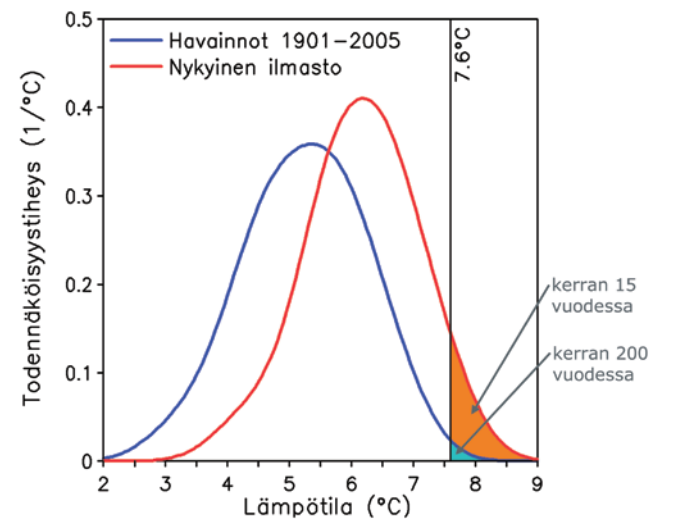
Ilmastollisen suureen, kuten tietyn alueen tai paikkakunnan keskilämpötilan vuosien välistä vaihtelua voidaan kuvata todennäköisyysjakaumalla. *Kuvassa 8* on kuvattu sinisellä käyrällä vuosikeskilämpötilan todennäköisyysjakauma Helsingissä vuosien 1901–2005 havaintojen mukaan. Keskilämpötilan ääriarvojen – hyvin kylmien ja hyvin korkeiden keskilämpötilojen – esiintymistä kuvaavat todennäköisyysjakauman ääripäät ("hännät").

Ääriarvojen yhteydessä käytetään usein termejä toistuvuus aika ja toistuvuus taso. Toistuvuus aika on ilmiön käänteinen todennäköisyys, ja se kuvaa aikaa, jonka kuluessa ilmiön odotetaan esiintyvän keskimäärin kerran. Toistumistaso kertoo ilmastollisen suureen arvon, joka keskimäärin ylittyy tai alittuu kerran määrättyssä toistumisajassa. *Kuvan 8* havaintoihin perustuvan todennäköisyysjakauman (sininen käyrä) perusteella Helsingin vuosikeskilämpötila 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. Vuorovaikutuksen luonne vaihtelee muuttujasta toiseen, riippuen kunkin muuttujan tilastollisesta jakaumasta. Esimerkiksi lämpötilojen jakauma muistuttaa usein normaalijakaumaa, jossa jakauman muutos ajan myötä voi johtua keskiarvon tai keskihajonnan muutoksista. Muuttua voivat jakauman keskiarvo tai keskihajonta tai molemmat.



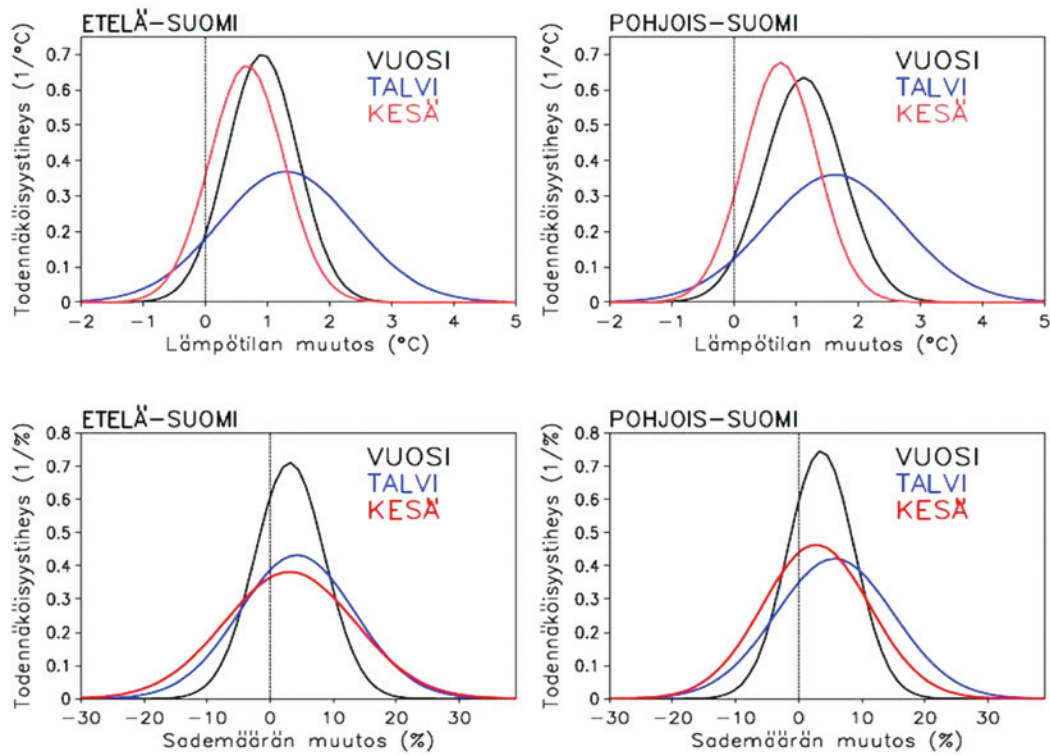
KUVA 9. Sään ääri-ilmiöiden esiintyminen muuttuu sääsuureen keskiarvon ja vaihtelevuuden muuttuessa.



KUVA 8. Vuosikeskilämpötilan 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 (Räisänen 2009).

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 vaihteluväli kuumimpien ja kylmimpien lämpötilojen välillä muutu. Mikäli vain hajonta kasvaa (*kuva 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 alaiset lämpötilat harvinaistuvat. Vaikka havaintojen perusteella ääriarvoissa olisikin havaittu muutoksia, on usein epävarmaa, johtuvatko muutokset keskiarvon, keskihajonnan vai kummankin muutoksista.

Kuvassa 10 on esitetty ennusteita lämpötilan ja sademäärän jakaumien muuttumisesta Suomessa vuosina 2011–2020 (Ruokolainen ja Räisänen 2007). Lämpötilan osalta suurimmat muutokset ovat odotettavissa talvilämpötiloissa: äärimmäisen kylmien jaksoiden ennustetaan vähenevän ja tavanomaista lämpimämpien jaksoiden ennustetaan lisääntyvän. *Kuvassa 8* on esitetty vuosikeskilämpötilan todennäköisyysjakauma Helsingissä vuosien 1901–2005 havaintojen mukaan (sininen käyrä) sekä ilmastomal-



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 (punainen 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.

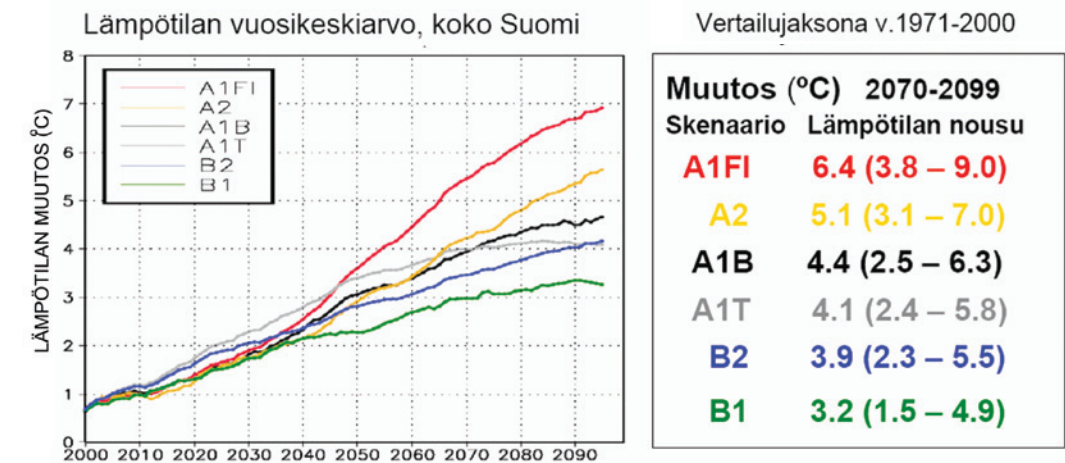
2.3 LÄMPÖTILAN MUUTOS

Lähi vuosikymmeninä 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-skenaariotapauksessakin ensi vuosisadan puolelle saakka. Lämpötilan nousu ei kuitenkaan jakaannu tasaisesti maapallolle. Voimakainta lämpeneminen on maa-alueilla ja erityisesti pohjoisen pallopuoliskon korkeilla leveysasteilla.

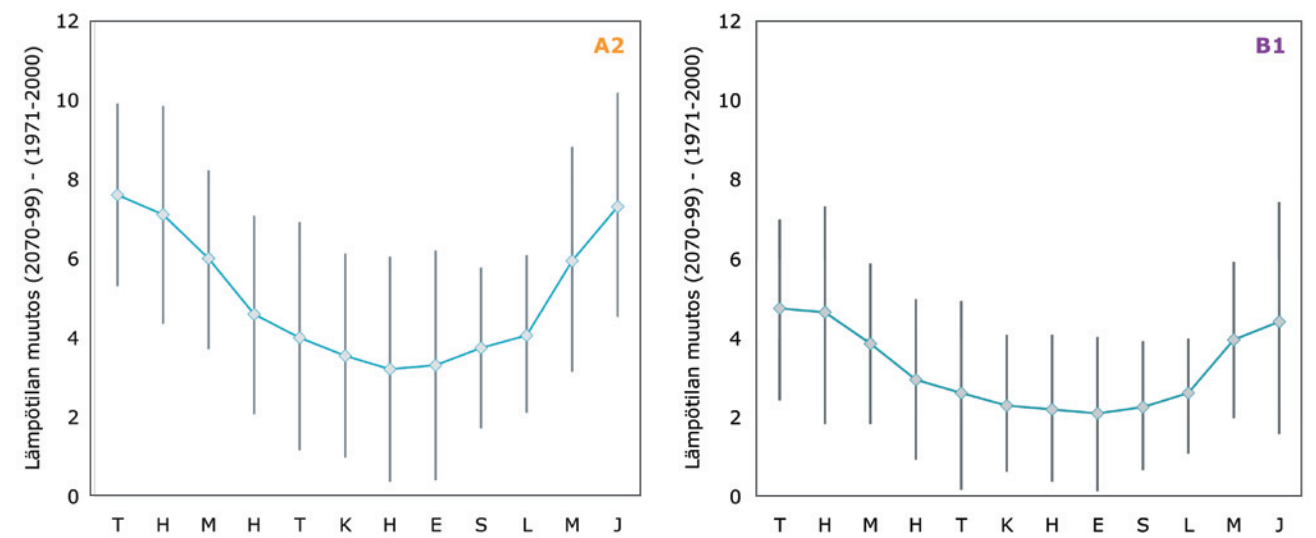
Suomessa vuosikeskilämpötilan nousunopeuden arvioidaan olevan tällä vuosisadalla 0,4 +0,1 °C vuosikymmentä kohti. Kuluva vuosisadan loppuun mennessä lämpötilan arvellaan nousevan 3,2-6,4 astetta (kuva 11). Malleista ja käytetyistä skenaarioista aiheutuvien epävarmuustekijöiden merkitys kuitenkin kasvaa sitä suuremmaksi mitä pidemmälle ennusteet ulottuvat. Lähi vuosikymmeninä 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

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-skenaariotapauksessa. 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.

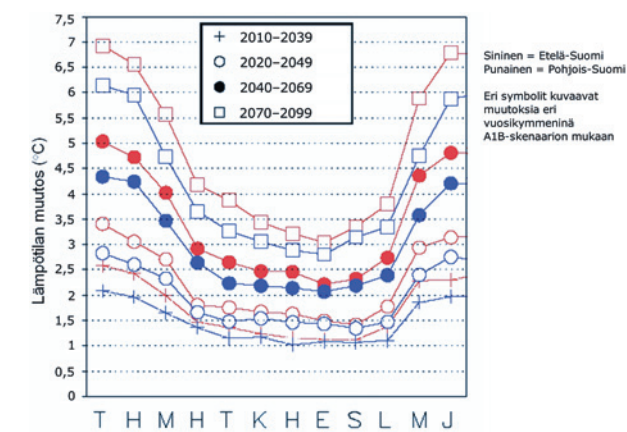
Lämpötilan noustessa hellepäivien määrä lisääntyy. Kuumien päivien (vuorokauden keskilämpötila korkeampi kuin 20 °C) määrä lisääntyy selvästi jo lähi vuosikymmeninä (Ruosteenoja 2009a ja kuva 14). Vuosisadan puolivälin jälkeen niitä on lämpötilan nousun keskiskenaariotapauksessa verrattuna 2,4-3 kertaa, vuosisadan lopulla 3-4 kertaa enemmän. Ilmaston lämmitessä pitenee myös kesän pisin yhtenäinen kuuma jakso (kuva 15). Perusjakson (1971-2000) aikana tällainen hellejakso kestää tyypillisenä kesänä pääkaupunkiseudulla (kuva 15, Helsinki ja Vantaa) 1-6 vrk, kuumimpina kesinä 9-14 vrk. Vuosisatamme loppuvuosikymmeninä kesto vastaavasti on tavanomaisena kesänä 6-17 vrk, kuumimpina kesinä 30:stä jopa yli 40 vuorokauden. 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).



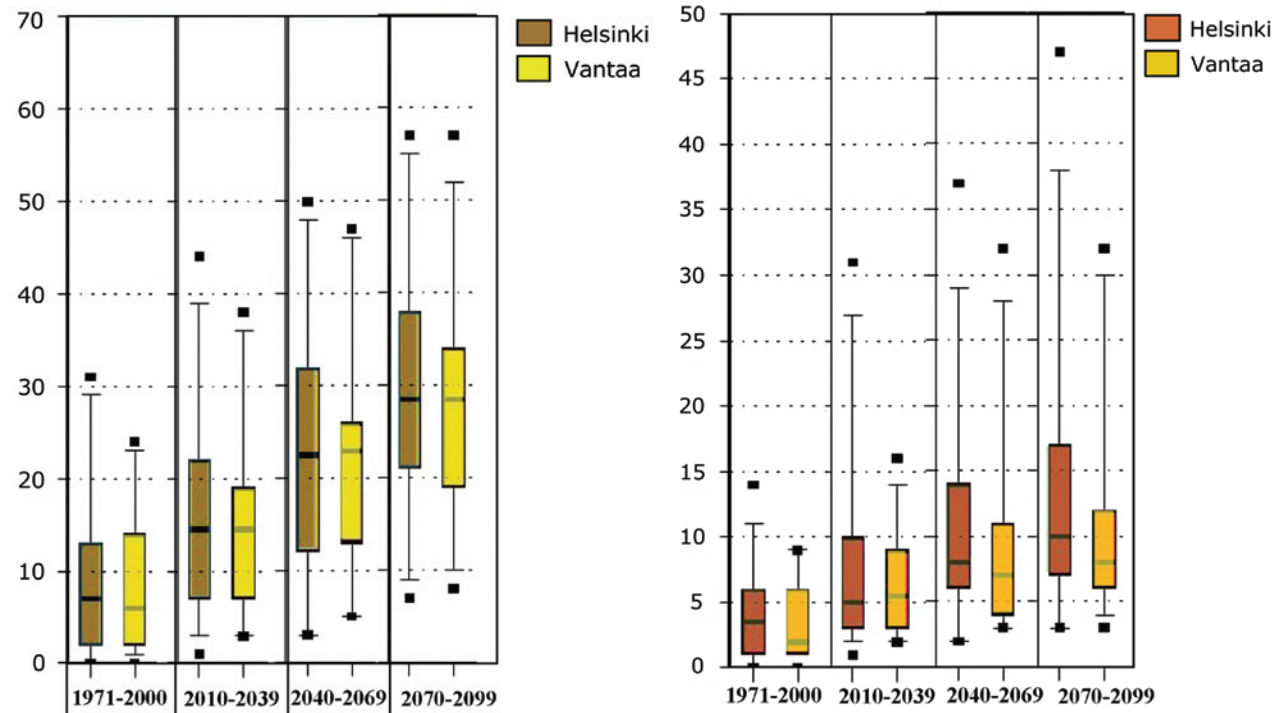
KUVA 11. Yhdeksäntoista ilmastomallin antama paras arvio (suluissa eri mallien tuloksien perusteella laskettu 90 %:n todennäköisyysväli) Suomen lämpötilan vuosikeskiarvon muutoksesta eri SRES-skenaarioiden mukaan kuluva vuosisadan aikana verrattuna ilmastollisen normaaliarvon 1971-2000 keskiarvoon.



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.

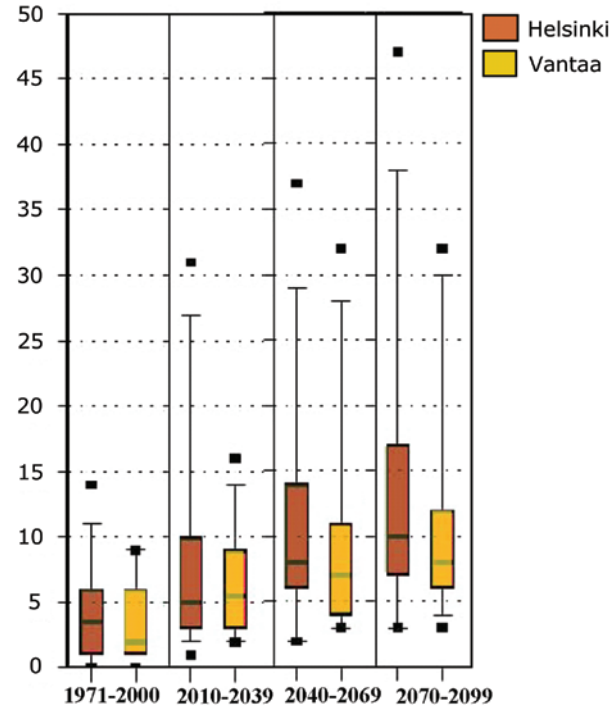


KUVA 14. Kuumien päivien (keskilämpötila yli 20 °C) lukumäärän vaihtelu kesästä toiseen Helsingissä (violetti) ja Vantaalla (keltainen): havaittu jakauma v. 1971-2000 sekä ennustettu jakauma vuosina 2010-2039, 2040-2069 ja 2070-2099; lämpötilan muutokselle on käytetty mallitulosten keskiarvoa (Ruosteenoja 2009a). Pylvään ylä- ja alapää esittävät frekvenssijakauman ala- ja yläkvartiili (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.

2.4 MUUTOKSET SADEMÄÄRISSÄ

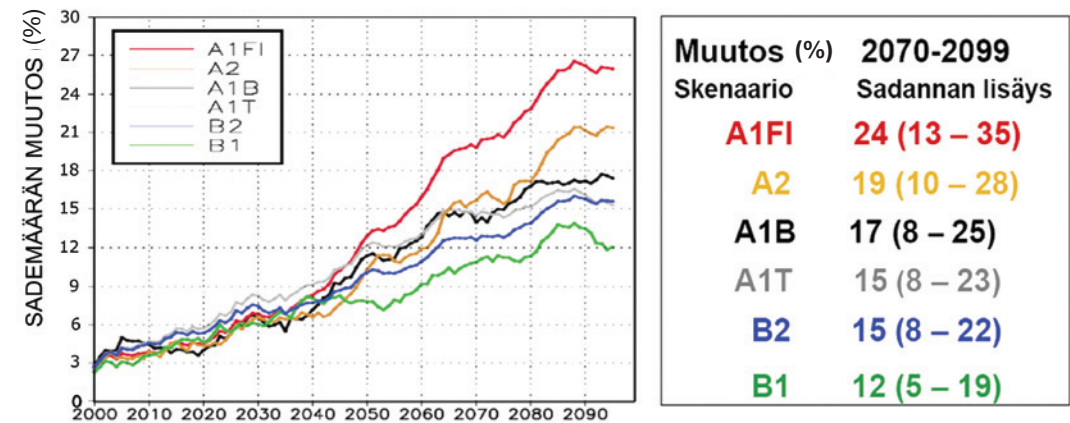
Suomen vuotuisen sademäärän arvioidaan lisääntyvän tasaisesti kuluvaan vuosisadan aikana. Vuosisadan loppuun mennessä sademäärä kasvaa jaksoon 1971-2000 verrattuna skenaariosta riippuen 12-24 % (**kuva 16**). Pohjois-Suomessa sademäärä näyttää lisääntyvän jonkin verran nopeammin kuin maan eteläosissa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

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

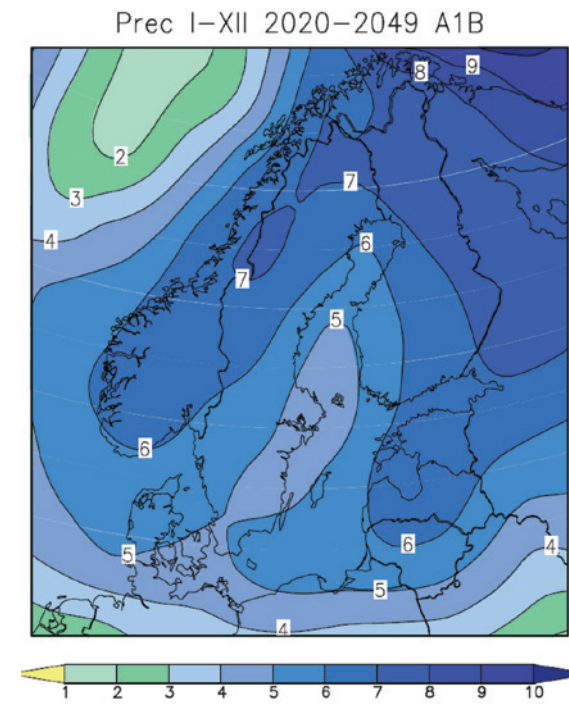


KUVA 15. Kesän pisimmän yhtenäisen kuumun jakson (keskilämpötila koko ajan yli 20 °C) kesto: tilastollinen jakauma Helsingissä (violetti) ja Vantaalla (keltainen) v. 1971-2000 (havaittu), 2010-2039 (ennustettu), 2040-2069 (ennustettu) ja 2070-2099 (ennustettu) (Ruosteenoja 2009a). Lämpötilan muutokselle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

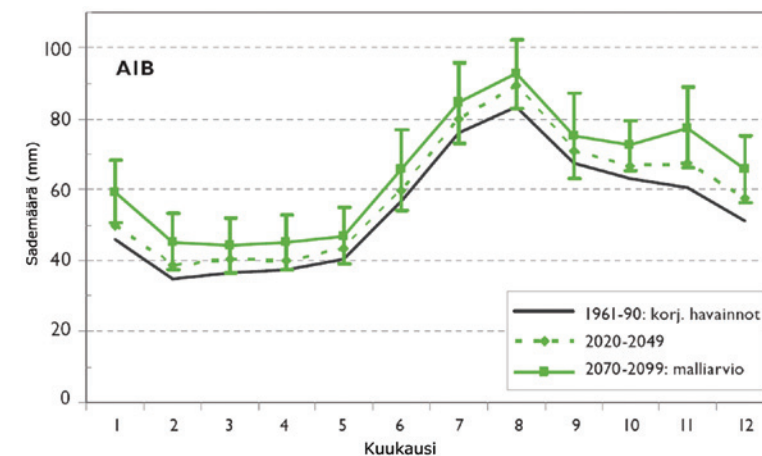
Ilmastoennusteet eivät anna selvää näyttöä siitä, pidentyvätkö kesän kuivat jaksot Suomessa. Seitsemän ilmastomallin tulokset ovat tässä suhteessa keskenään erimielisiä (**kuva 20**). Esimerkiksi Etelä-Skandinaviassa sen sijaan enemmistö ilmastomalleista ennakoivat kesän pisimmän sateettoman jakson pitenevän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



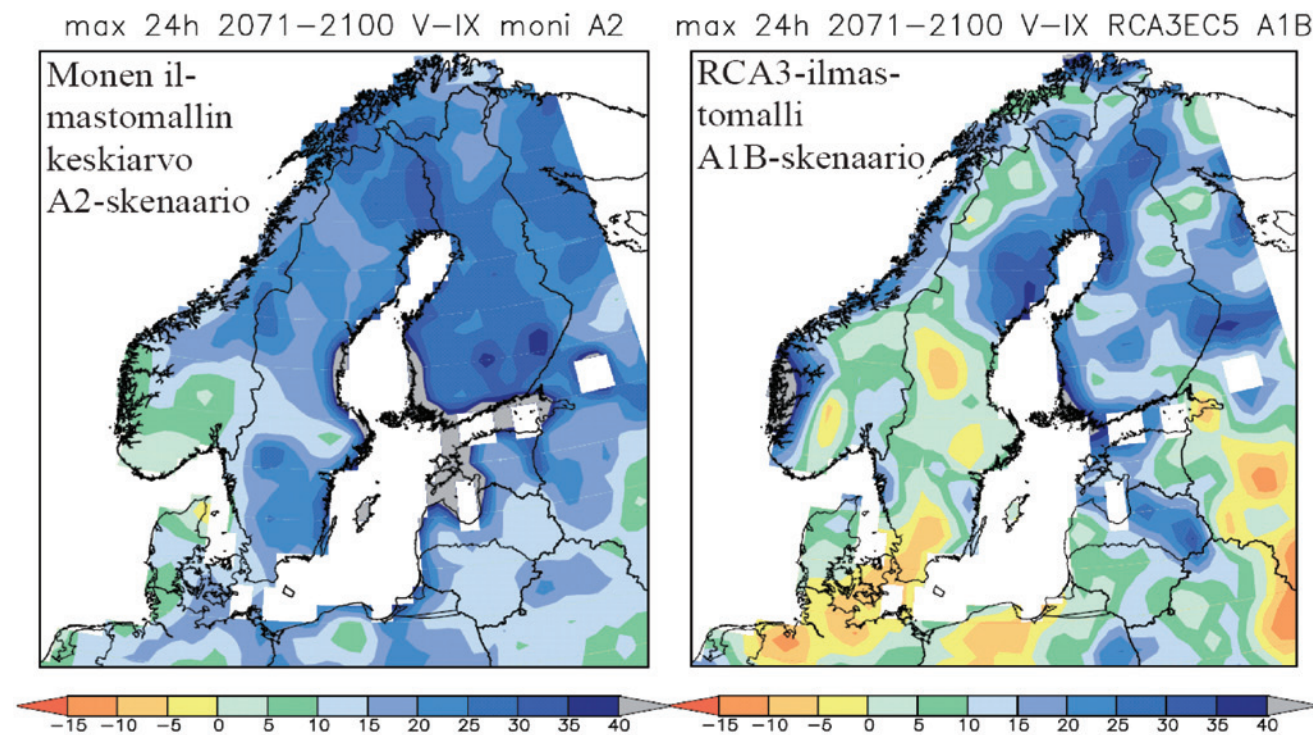
KUVA 16. Yhdeksäntoista ilmastomallin antama paras arvio (suluissa eri mallien tuloksien perusteella laskettu 90 %:n todennäköisyysväli) Suomen vuotuisen sademäärän muutoksesta eri SRES-skenaarioiden mukaan kuluvaan vuosisadan aikana verrattuna ilmastollisen normaalijakson 1971-2000 keskiarvoon.



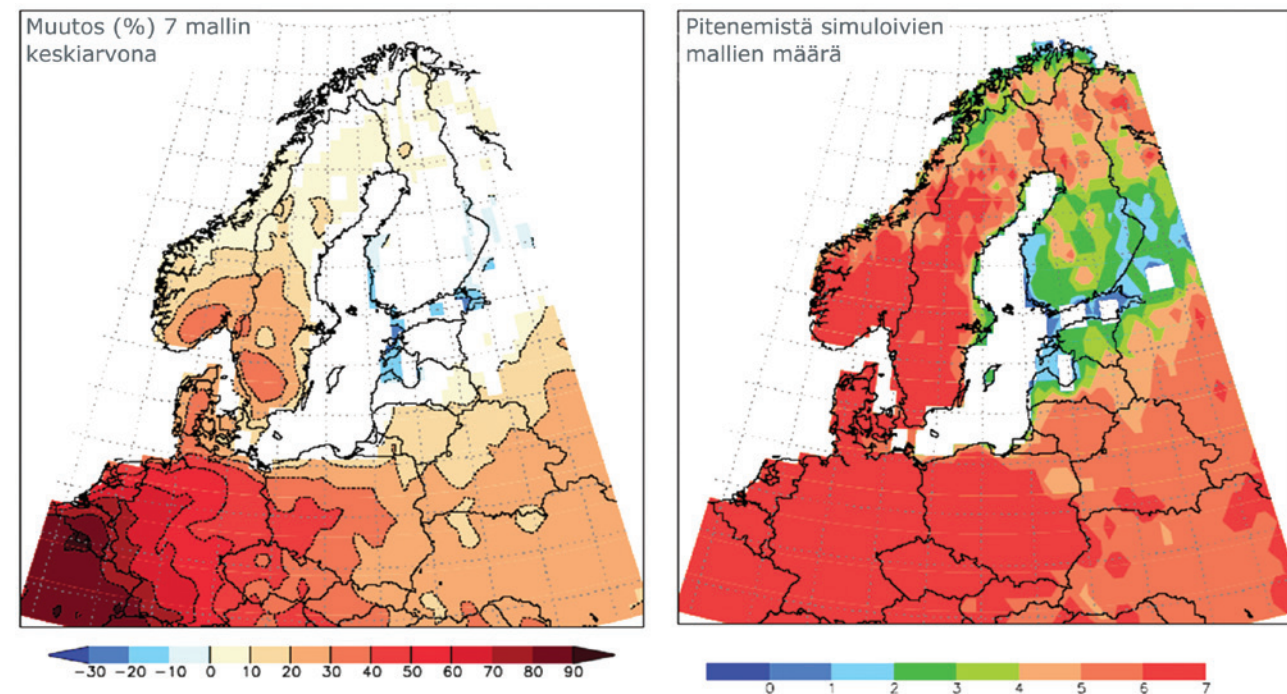
KUVA 17. Koko vuoden sademäärän muutos (%) kaudesta 1971-2000 kauteen 2020-2049 A1B-skenaariion mukaan.



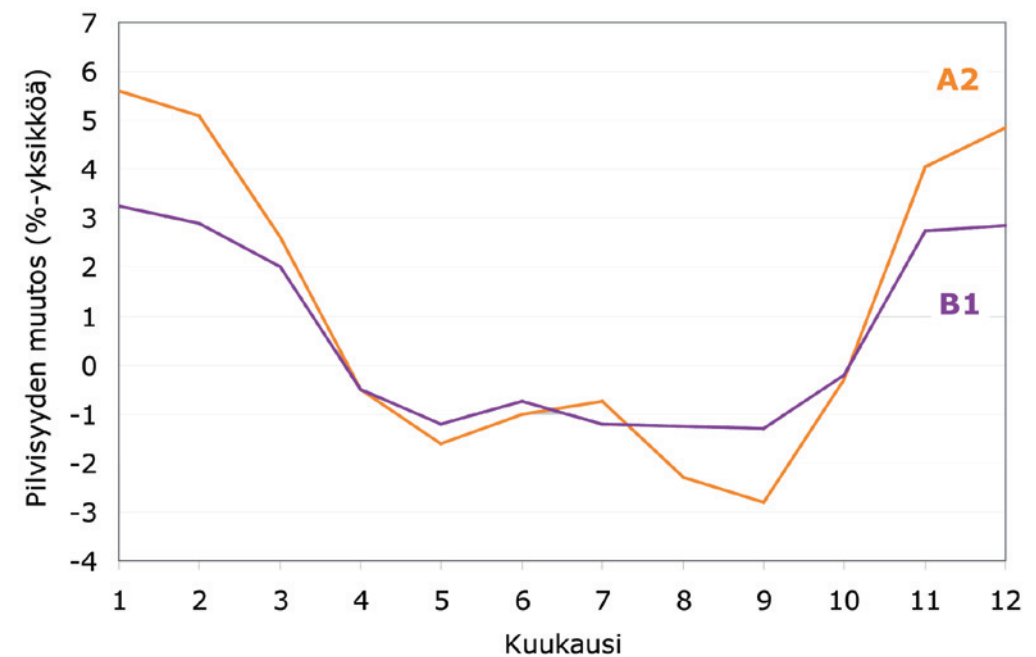
KUVA 18. Suomen keskimääräinen sademäärä eri kuukausina Suomessa vuosina 1961-1990 (havaittu) sekä arvio tulevasta keskimääräisestä vuotuisesta kulusta vuosina 2020-2049 ja 2070-2099 A1B-skenaarioin toteutuessa. Arviot perustuvat 19 ilmastomallin keskiarvoon kullekin kalenterikuukaudelle. Virherajat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



KUVA 19. Rankkojen sateiden esiintymisestä Suomessa tulevaisuudessa (Aaltonen ym. 2008). Touko-syyskuun suurin vrk-sade, muutos (%) kaudesta 1961–1990 kauteen 2071–2100. Vasemmanpuoleisessa kuvassa usean ilmastomallin keskiarvo A2-skenaariota 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 jaksen muutoksesta (%) kaudesta 1961–1990 kauteen 2071–2100 A2-skenaariota mukaan. Oikeanpuoleisessa kuvassa on sateettoman jaksen pitenemistä simuloivien ilmastomallien lukumäärä. Valkoisilla maa-alueilla mallit ovat erimielisiä muutoksen suunnasta. Punaisilla maa-alueilla enemmistö malleista ennakoivat sateettomien jaksoiden pidentymistä, sinisillä vastaavasti lyhentymistä. 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

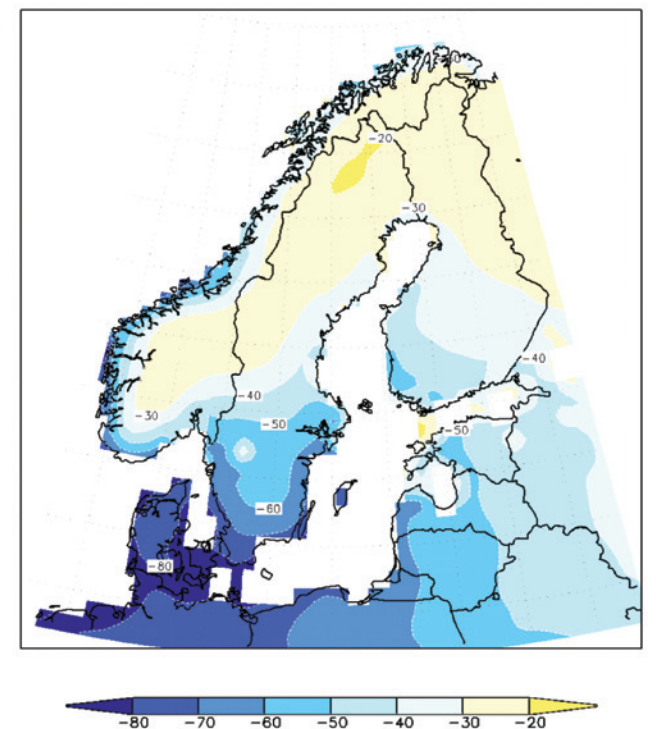
Kuvassa 21 on esitetty kokonaispilvisyyden muutos Keski-Suomessa vuoden eri kuukausina vertaamalla jaksoa 2070–2099 jaksoon 1971–2000. Punaiset käyrät ilmaisevat A2-skenaariota, vihreät B1-skenaariota vastaavat muutokset. Kuva perustuu 19 ilmastomallin tuloksiin.

Pilvisuus näyttäisi talvisin selvästi lisääntyvän. Koska pilvisuus on jo tätä nykyä alku- 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.

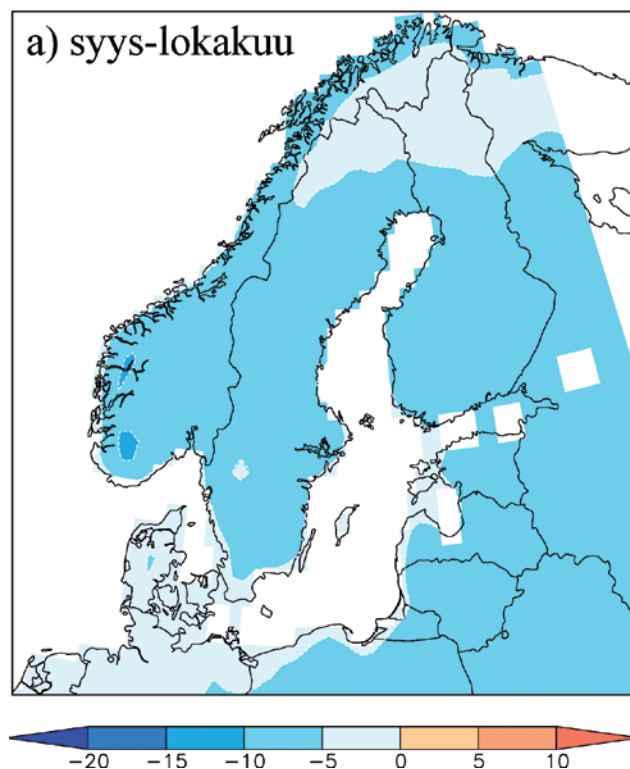
Sopuosinnassa pilvisyyden lisääntymisen kanssa myös auringon säteily vähenee talvisin. Esimerkiksi joulukuussa pudotus on jopa 20 %:n luokkaa. Pinnalta heijastunut auringonsäteily vähenee vieläkin enemmän, maan eteläosissa yli 30 %. Tähän vaikuttaa pilvistymisen ohella säteilyä heijastavan lumipeitteen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

2.6 LUMISUUS

Alueellisten ilmastomallien tulosten mukaan lämpötilan noustessa 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

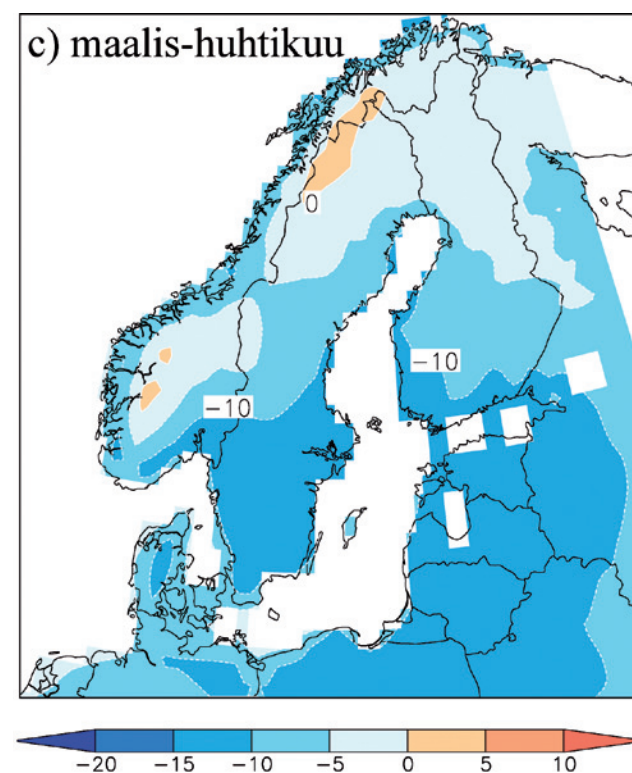
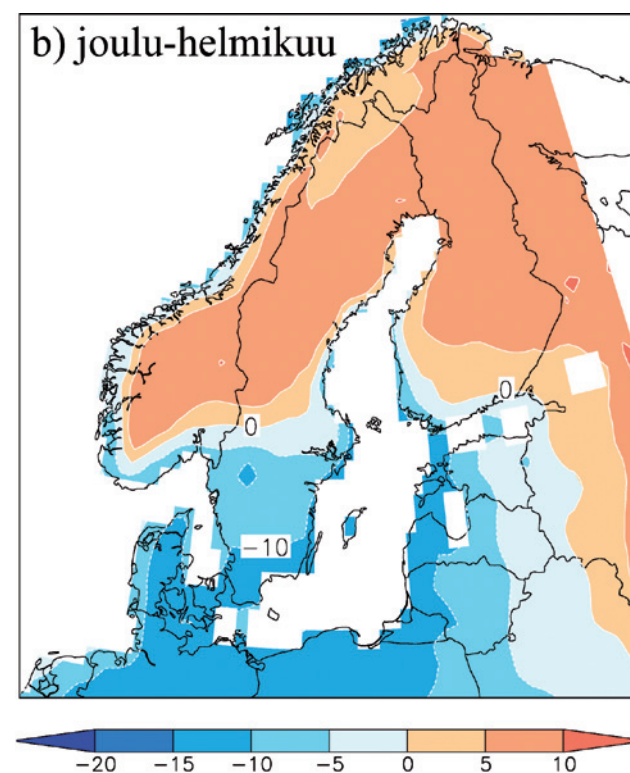


KUVA 22. Lumipeitepäivien keskimääräisen vuotuisen lukumäärän muutos (%) kaudesta 1961–1990 kauteen 2071–2100 (Gregow ym. 2008).



vähentymistä tapahtuu huhtikuussa. Talvi siis lyhenee kummatakin 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).

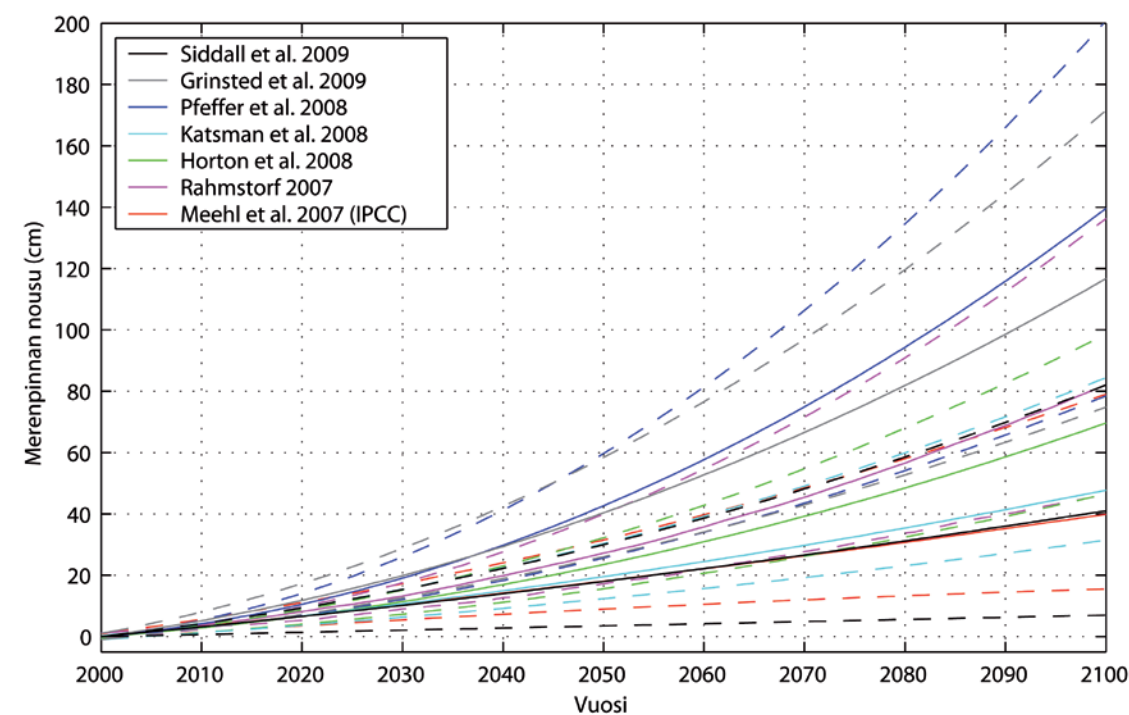


KUVA 23. Nollarajan ohituspäivien muutos (vuorokausina) kaudesta 1971–2000 kauteen 2071–2100 A2-skenaarion toteutuessa syys-lokakuussa (yllin kuva), jouluhelmikuussa (vasemmanpuoleinen kuva) ja maaliskuuhuhtikuussa (oikeanpuoleinen kuva). Lisätietoja: Jylhä ym. 2008.

2.7 MERENPINNAN NOUSU

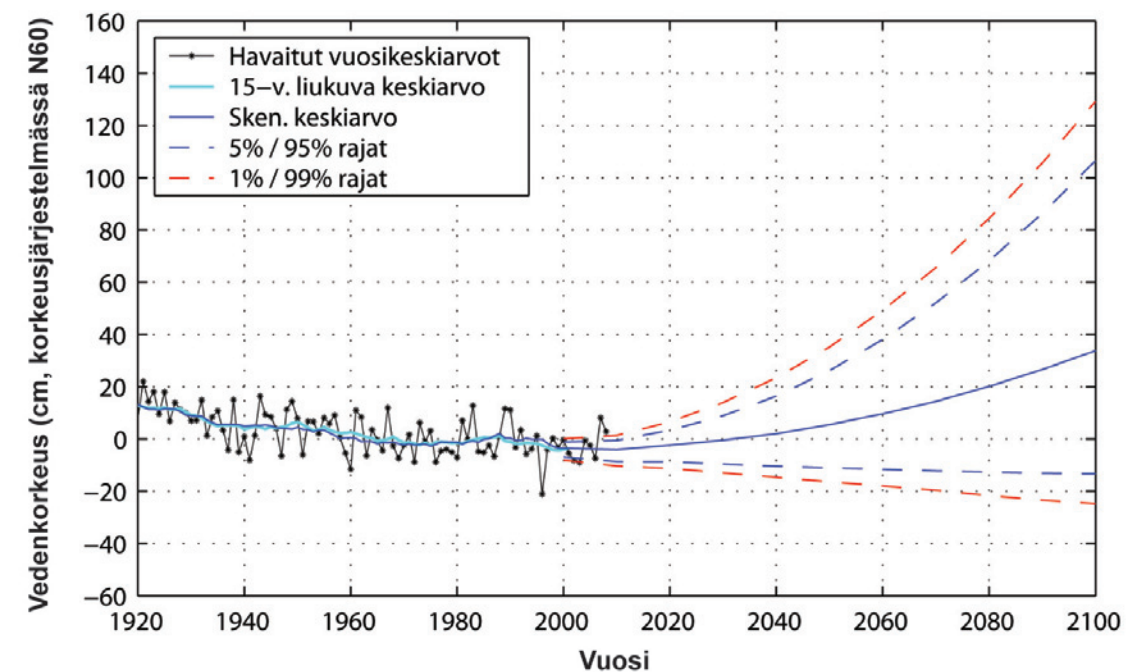
Keskimääräisen merenpinnan korkeuden muutoksiin Itämerellä ja Suomen rannikolla vaikuttavat pääasiassa valtameren pinnan nousu, maankohoaminen ja Itämeren kokonaisvesimäärän pitkäaikaiset muutokset (Johansson et al. 2004). Valtameren

pinnan nousu tämänhetkiset arviot vaihtelevat n. 10 cm:stä 2 m:iin vuoteen 2100 mennessä (**kuva 24**). Epävarmuutta aiheuttaa mm. mannerjäätiköiden sulamisnopeudessa tapahtuvien muutosten vaikea ennustettavuus.



KUVA 24. Valtameren pinnan noususkenaarioita eri tutkimuksissa.

Helsingin keskivedenpinnan havaittu muutos ja ennusteita vuoteen 2100 asti



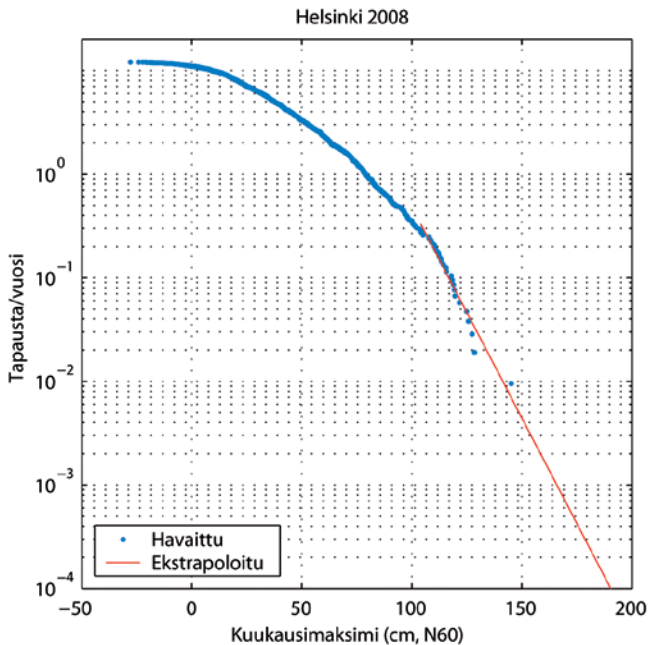
KUVA 25. Helsingin keskivedenpinnan havaittu muutos sekä skenaario vuoteen 2100 asti.

Jäätiköiden sulamisesta aiheutuva valtameren pinnan nousu ei jakaannu tasaisesti eri merialueille ja Itämeren alueen kannalta Grönlannin sulamisella ei ole suurta vaikutusta. Vedennousu Itämerellä on sen vuoksi **kuvan 25** huippuarvoja vähäisempää. Suurin epävarmuustekijä Itämerellä on Länsi-Antarktiksien jäätikön sulaminen.

Maankohoamisen nopeus vaihtelee Suomen rannikolla, se on voimakkainta Vaasan ympäristössä ja vähäisintä Suomenlahdella. Helsingissä absoluuttinen maankohoaminen on n. 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 esim. sääolojen muuttumisen seurauk-



senä. Keskivesiskenaarioiden epävarmuusrajat (**kuva 24**) vaikuttavat myös tulevaisuuden vedenkorkeusjakaumien arvioihin. Taulukossa 4 on ennusteita eri todennäköisyystasojen 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 pinnannousu, jonka tuolloin ennustettiin jäävän alle kahden metrin jopa vuoteen 2200 asti, kun nykyiset korkeammat ennusteet ulottuvat kahteen metriin jo tämän vuosisadan lopulla.

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

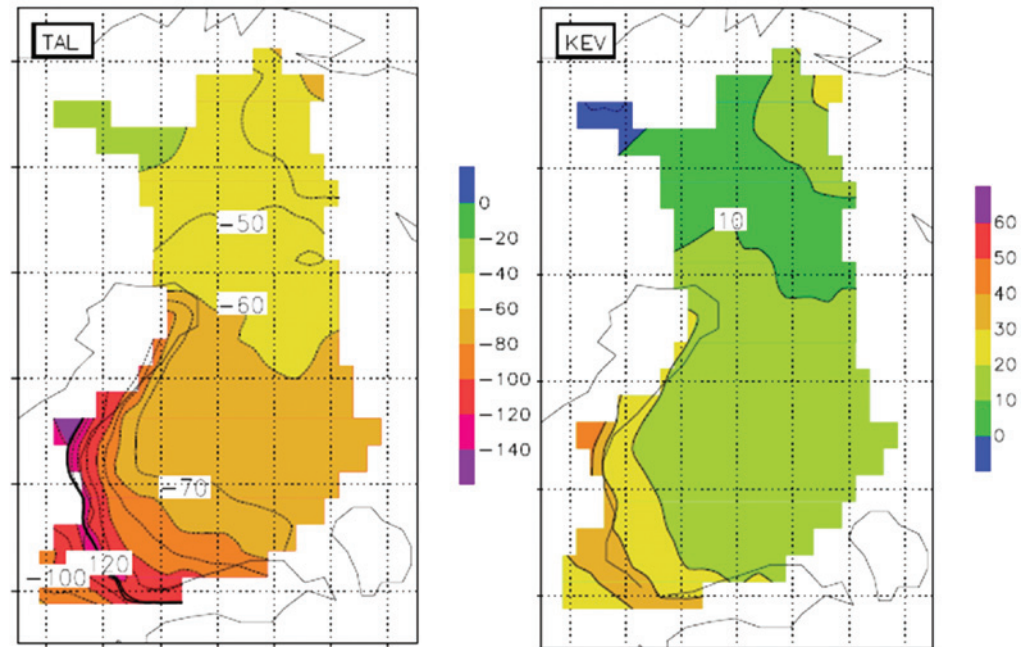
Yliytystodennäköisyys	Vedenkorkeus (cm)			
tapausta/vuosi	v. 2000	v. 2020	v. 2050	v. 2100
0.1	+117	+121	+137	+212
0.02	+134	+139	+157	+241
0.01	+142	+146	+164	+252
0.005	+149	+154	+172	+262

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

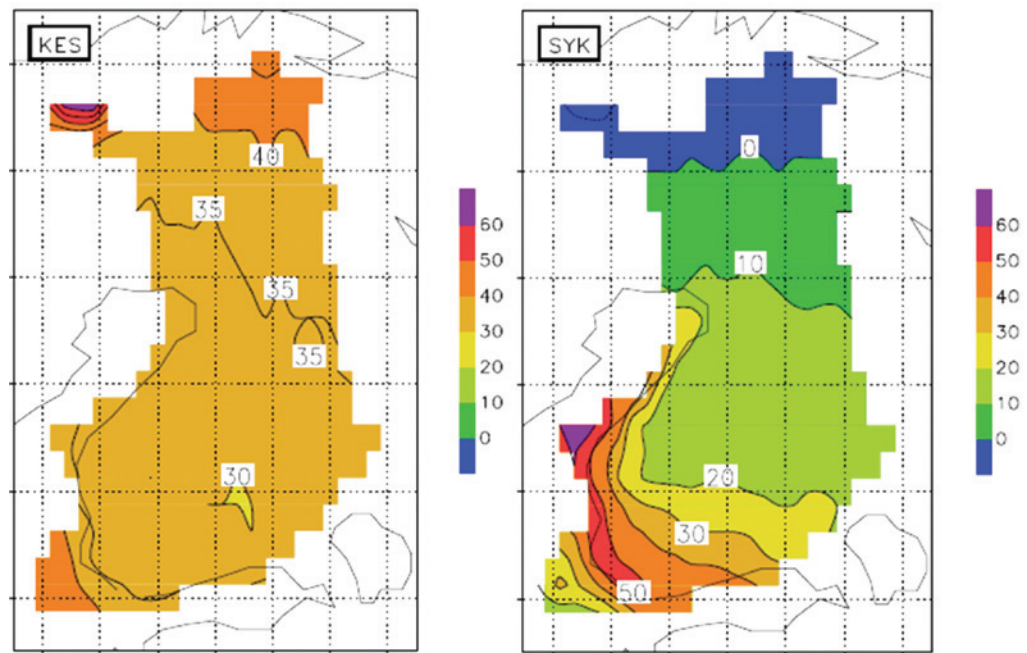
2.8 TERMISET VUODENAJAT

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

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



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



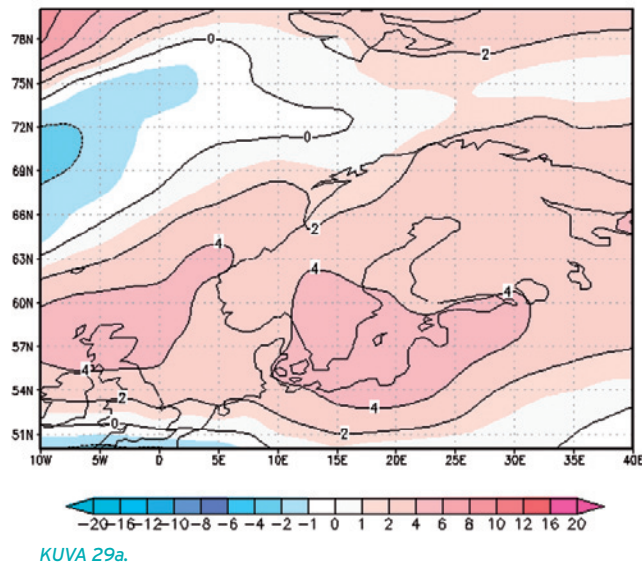
KUVA 28. Termisen kesän ja syksyn pituuden muutokset (vrk) vuosisadan loppuun mennessä A1B-skenaarion mukaan (Jylhä ym. 2009).

2.9 TUULI

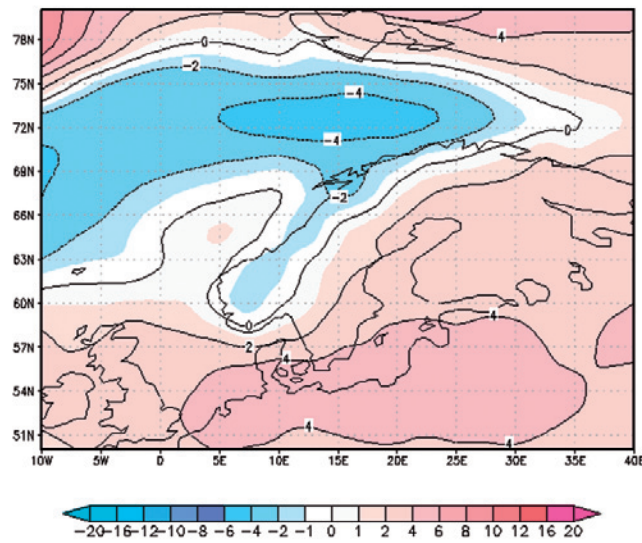
Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tuulisuuteen ja myrskyisyyteen on tutkittu viime aikoina paljon (esim. Bengtsson ym. 2006, 2009; Leckebusch ja Ulbrich 2004; Leckebusch ym. 2008, Ulbrich ym. 2008). Tulosten mukaan myrskyradat voivat ilmaston lämmetessä muuttua siten, että yhä todennäköisimmin matalapaineet kulkevat Brittein saarten tienoilta itään tai koilliseen ja liikkuvat yli Keski- ja/tai Pohjois-Euroopan. Viimeisten vuosikymmenten aikana pahimmat myrskyt on koettu mantereisessa osassa Keski- ja Pohjois-Eurooppaa 60°N eteläpuolella (esim. 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 niin ikään 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.

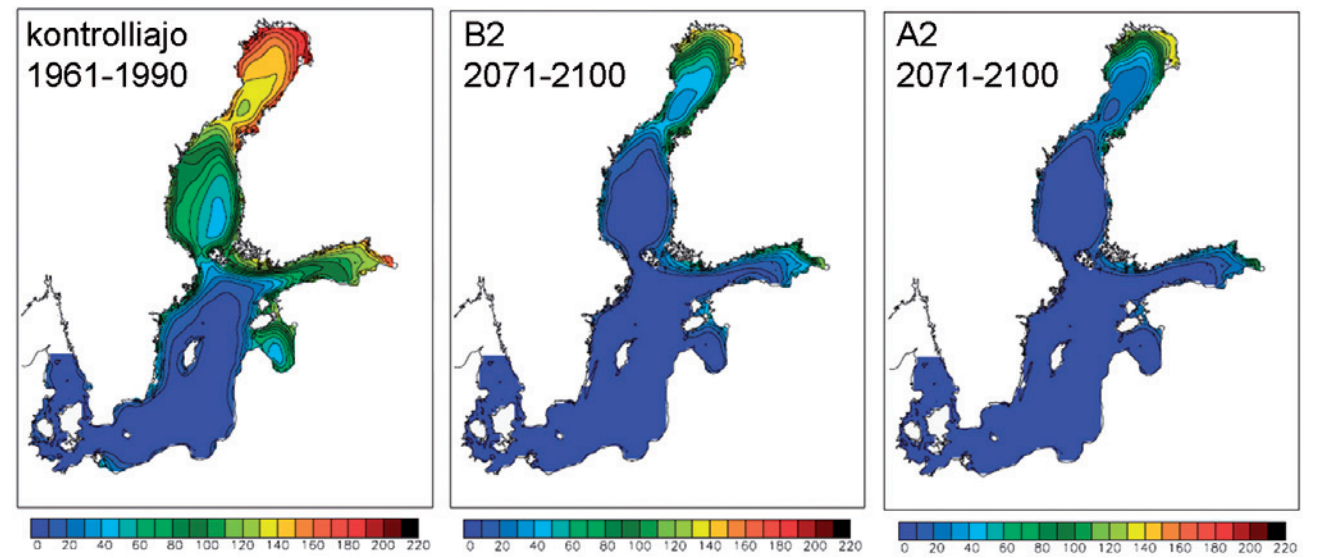


KUVA 29b.

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

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 skenaariorista riippuen (B2/A2) arviolta 57–71 % (Meier et al. 2004). Siellä missä jäätä vielä on, se on tulevaisuudessa nykyistä ohuempaa (Tuomenvirta 2000).

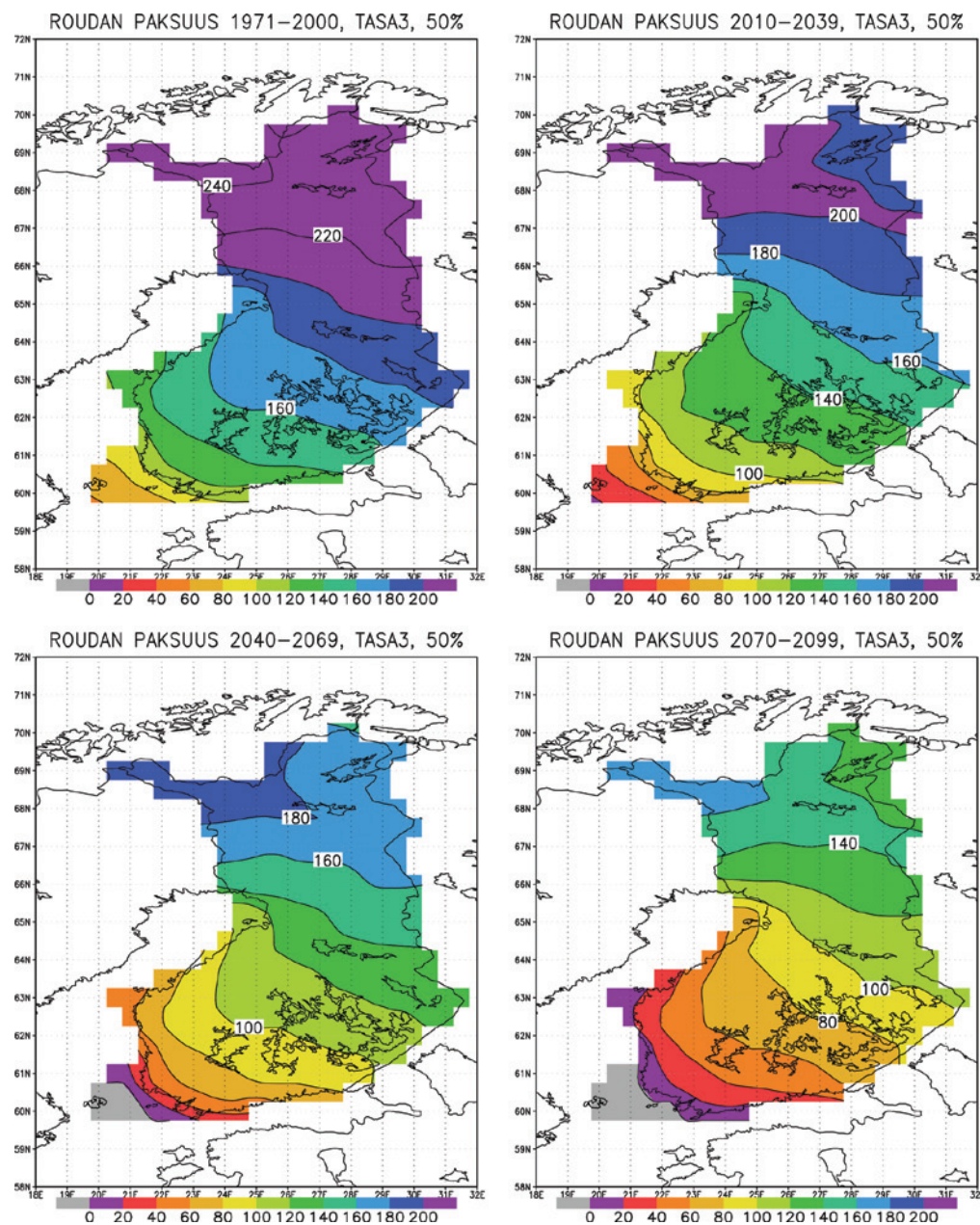


KUVA 30. Mallilla laskettu jääpäävien keskimääräinen lukumäärä Itämerellä kontrolliajossa (v.1961-1990) sekä kuluva vuosisadan lopulla B2- ja A2- skenaarioissa (Meier et al. 2004).

2.11 ROUTA

Ilmaston lämmetessä roudan määrä vähenee. Kuvassa 31 on esitetty ACCLIM-hankkeen (Ruosteenoja 2009b) tuloksia roudan paksuuden muuttumisesta lumettomilla alueilla kuluvan vuosisadan aikana. Mikäli 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

ainoastaan 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, ankaraa enemmän.



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

3. Johtopäätöksiä

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

3.1 LÄMPÖTILA JA LUMI

Suomessa muutoksia on odotettavissa etenkin lämpötila- ja lumioloissa. Kuluvan 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 terminen talvi lyhenee ja muut termiset vuodenaajat pitenevät. Talvien lyheneminen ja lämpeneminen johtaa lumipeitteen vähenemiseen, lumettomilla alueilla roudan ohenemiseen ja Itämerellä talvisen merijään vähenemiseen ja ohenemiseen ja jääpäivien määrän vähenemiseen. Kesälämpötilan nousu kuluvan 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 kuluvan vuosisadan aikana. Vuosisadan loppuun mennessä sademäärä kasvaisi skenaariosta riippuen 12-24 % jaksoon 1971-2000 verrattuna. Alueellisten ilmastomallitulosten mukaan myös rankkasateet voimistuvat Suomessa. Tarkkoja arvioita tietylle alueelle rankkasateiden voimistumisesta ei voida tehdä, sillä niiden alueelliset jakaumat vaihtelevat mallikokeesta toiseen. Kesän kuivien jaksojen 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 ilmastomuutokseen 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 pitempään syksyllä ja alkavat varhemmin 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													
	Lämpötila (°C)			Auringonpaiste (h)			Sade (mm)	Sadep. >0,1 mm (lkm)			Sadep. >1 mm (lkm)		
kk	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													
	Lämpötila (°C)			Auringonpaiste (h)			Sade (mm)	Sadep. >0,1 mm (lkm)			Sadep. >1 mm (lkm)		
kk	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													
	Lämpötila (°C)			Auringonpaiste (h)			Sade (mm)	Sadep. >0,1 mm (lkm)			Sadep. >1 mm (lkm)		
kk	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

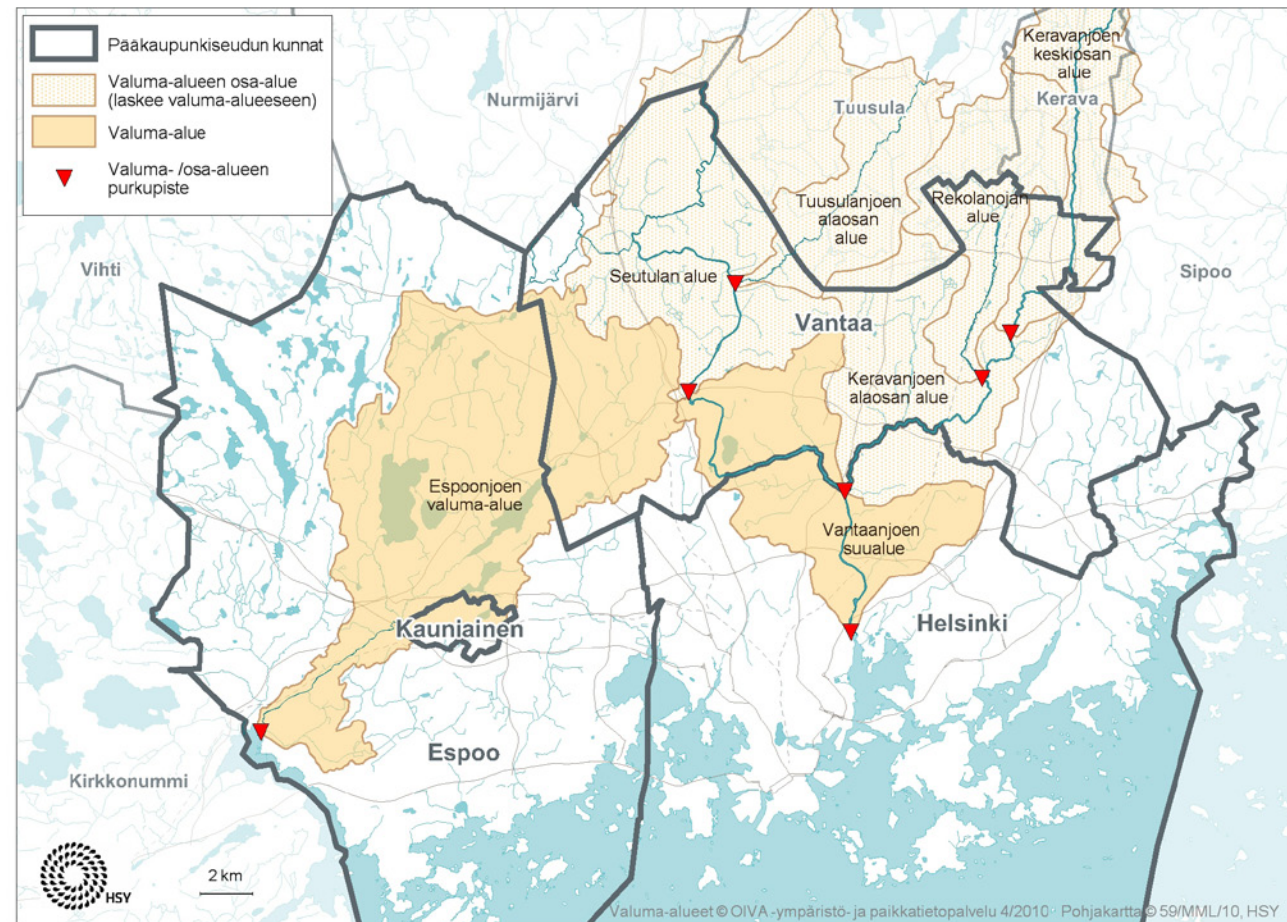
1. JOHDANTO.....	40
2. ALUEEN KUVAUS	
2.1 Vantaanjoen vesistöalue.....	41
2.2 Espoonjoen valuma-alue.....	42
3. KÄYTETTY MENETELMÄ.....	43
4. ILMASTOSKENAARIOT.....	44
4.1 Harvinaisten sateiden muuttuminen.....	46
5. HYDROLOGINEN MALLI.....	47
6. TULOKSET	
6.1 Vantaanjoki.....	48
6.2 Espoonjoki.....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

1. Johdanto

Ilmastomuutos tulee vaikuttamaan merkittävästi tulvien yleisyyteen ja ajoitukseen Suomessa. Tässä työssä ilmastomuutoksen vaikutuksia vesistötulviin Vantaan- ja Espoonjoella arvioitiin käyttäen Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Vesistömallijärjestelmää (Vehviläinen ym. 2005) ja useita ilmastoskenaarioita. 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. Ilmastomuutos otetaan vesistömallissa huomioon muuttamalla referenssijaksen havaintoihin perustuvia lämpötiloja ja -sadan-toja valitun ilmastoskenaarion mukaisesti. Virtaamat ja vedenkorkeudet simuloidaan sitten käyttäen näitä lähtötietoja. Harvinaisia sateita muutetaan lisäksi tavanomaisista sateista poikkeavasti, sillä ilmastomuutoksen on arvioitu kasvattavan erityisesti rankkoja sateita. Tulvien suuruudet arvioidaan todennäköisyysjakaumaa (Gumbel) käyttäen ja tulevaisuuden jaksoille arvioitua tulvia verrataan referenssijaksolle arvioituihin tulviin. Simuloinnit tehtiin neljällä ilmastoskenaariolla, jotta voitaisiin arvioida ilmastomuutokseen 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 Erköylänjärvestä ja laskee Suomenlahteen Helsingissä Vanhankaupunginkoskella. Vantaan pisin 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 reaaliaikaisesti 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. Ilmastomuutoksen vaikutuksia tutkittaessa tarkasteluksiteiksi valittiin Oulunkylä, Myllymäki, Hanala sekä Lepsämänjoki.

Vantaanjoella havaintojaksen ylivoimaisesti suurin tulva on ollut vuonna 1966 keväällä; Oulunkylässä virtaama oli 317 m³/s, Myllymäessä 228 m³/s ja Keravanjoella Hanalassa 63 m³/s. Viimeisten 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 kesäaikaan se on havaintojaksen suurin tulva.



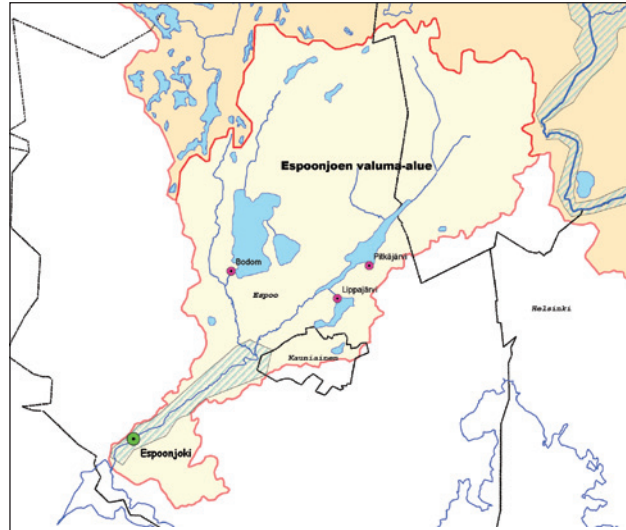
KUVA 2. Vantaanjoen vesistöalue, sen tulvakartoitetut alueet (rasteroituna), ilmastomuutoksen vaikutuksen tarkastelupisteet (vihreät pisteet) sekä muut tärkeimmät vedenkorkeuden ja/tai virtaaman havaintoasemat (punaiset pisteet).

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 havainto-asema 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).



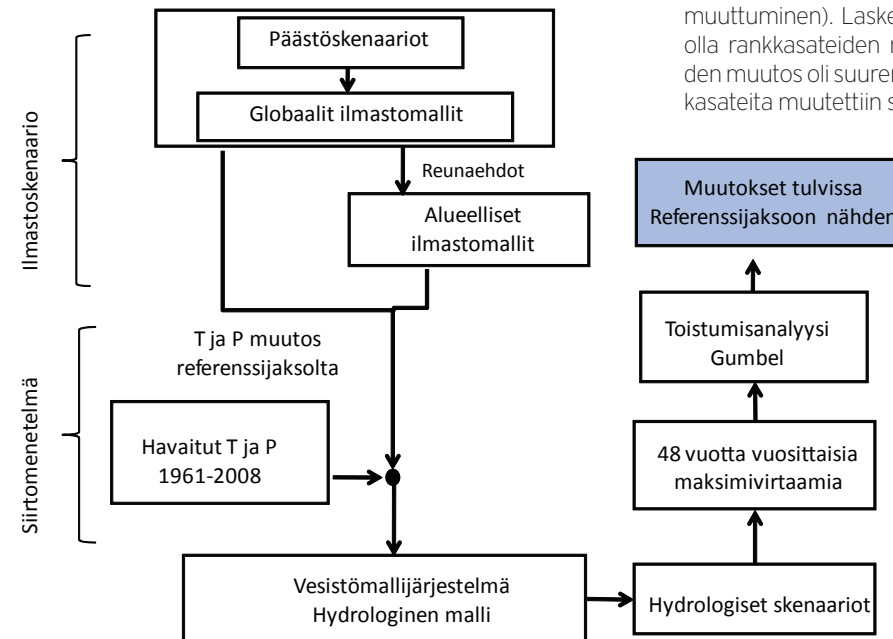
KUVA 3. Espoonjoen valuma-alue, tulvakartoitettu alue (rasteroituna), tarkastelupiste (vihreä piste) sekä muut havaintoasemat (punaiset pisteet).

3. Käytetty menetelmä

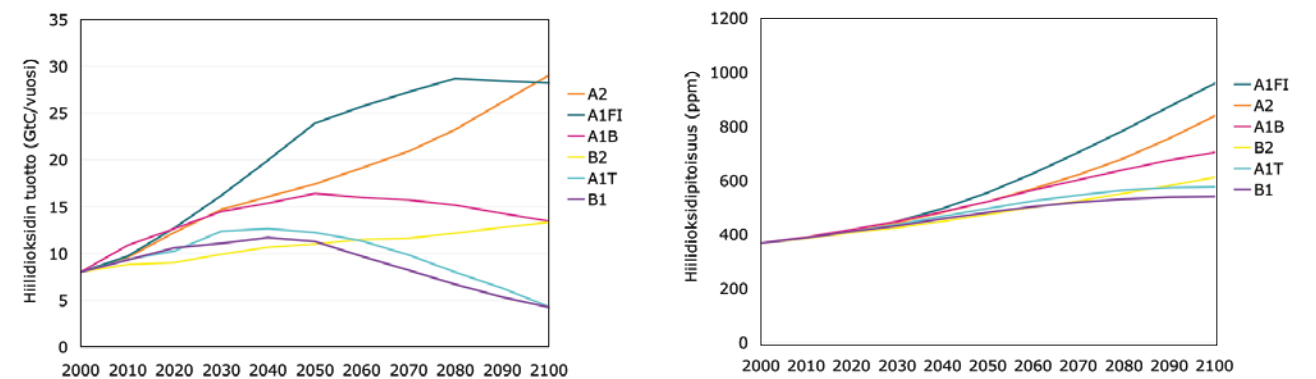
Tulvien muutokset arvioidaan Vantaanjoella ja Espoonjoella Vesistömallijärjestelmän simuloiteja ja Gumbelin jakaumaa käyttäen (kuva 4). Vesistömallijärjestelmällä on simuloitu 48 vuoden jakso päivittäisiä virtaamia, joista on poimittu vuosimaksimit hydrologiselta vuodelta syyskuu-elokuu. Virtaamamaksimeihin 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 samaa referenssijaksoa käyttäen jaksoille 2011-2040, 2041-2070 ja 2071-2100. Ilmastonmuutos on otettu huomioon lisäämällä

referenssijakson 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 versioilla 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, tekniikan 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. Päästöskenaarion 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.

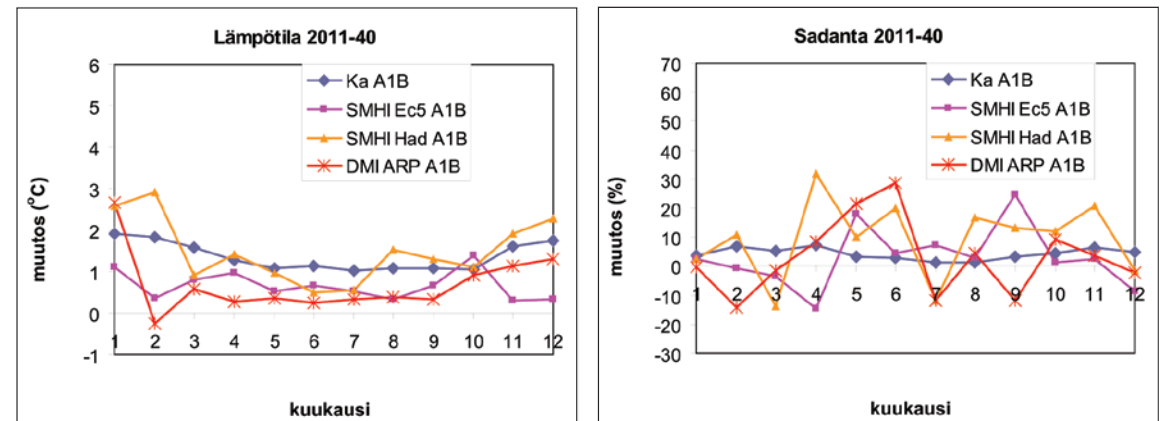
Käytettävät ilmastomuutoskenaariot on saatu Ilmatieteen laitokselta ja EU:n ENSEMBLES projektista. Yksi skenaario on Ilmatieteen laitoksen laskema 19 globaalin mallin keskiarvo A1B päästöskenaariolla ja loput kolme ovat osa ENSEMBLES-projektin alueellisia skenaarioita. Alueelliset skenaariot on tehty kahdella eri alueellisella mallilla käyttäen reunaehtoina 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

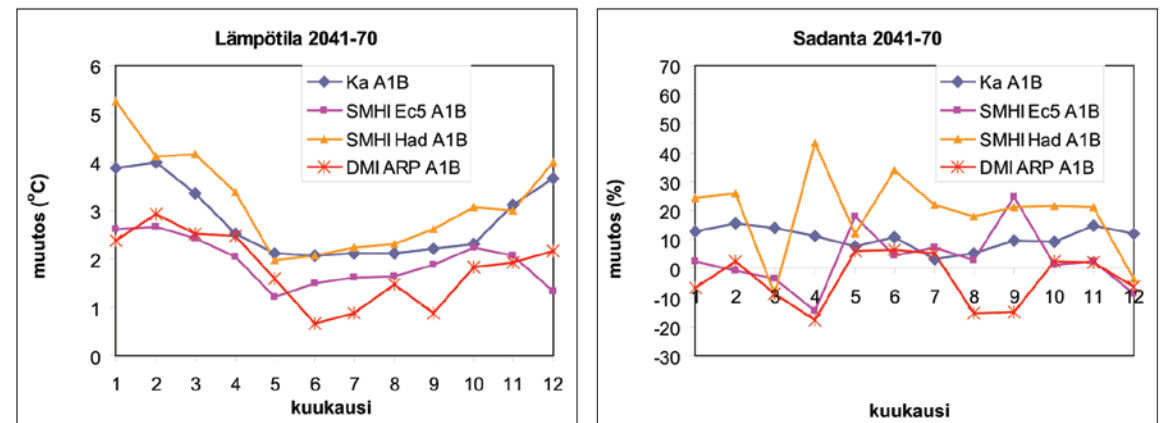
Mallin ajanut instituutti	Alueellinen ilmastomalli	Globaali ilmastomalli	Päästöskenaario	Lyhenne
useita	-	19 mallin keskiarvo	A1B	Ka A1B
SMHI (Ruotsi)	RCA3	HadCM3-Q3	A1B	SMHI Had A1B
SMHI (Ruotsi)	RCA3	ECHAM5	A1B	SMHI Ec5 A1B
DMI (Tanska)	HIRHAM	CNMR/ARPEGE	A1B	DMI ARP A1B

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 saatuihin muutoksiin ja tuovat satunnaisen elementin mukaan tarkasteluun. Tästä syystä on tärkeää tarkastella useita eri skenaarioita. Ilmastoskenaariot on siirretty hydrologiseen malliin ns. deltamuutosmenetelmällä eli lisäämällä skenaarioiden arvioimat lämpötilan ja sadannan kuukausimuutokset referenssijakson havaittuihin sadantoihin ja lämpötiloihin.

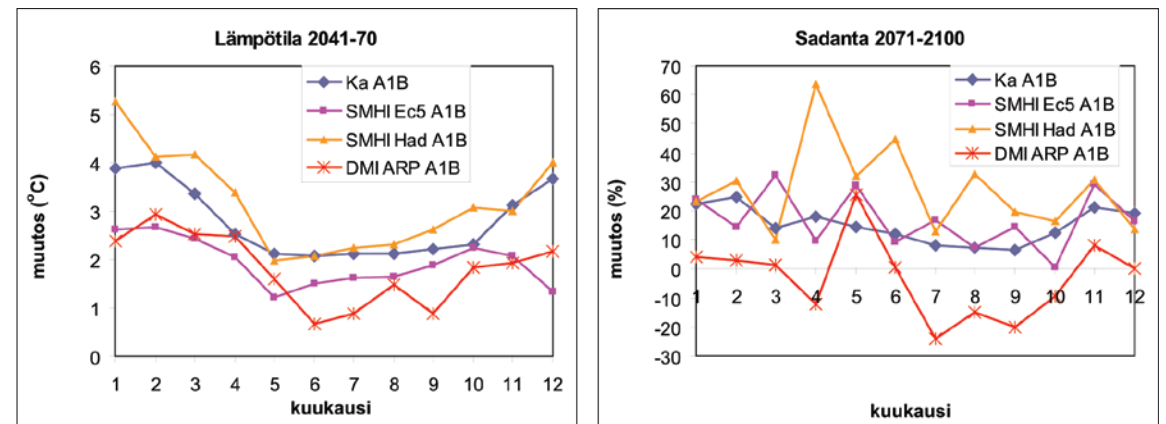
Useissa ilmastoskenaarioissa on arvioitu, että kylmät jaksot lämpenevät keskimääräistä enemmän (IPCC 2007), minkä vuoksi lämpötilan muutoksen suuruuden oletettiin tässä tutkimuksessa riippuvan lämpötilasta. Kyseinen riippuvuus on arvioitu alueellisten mallien päivittäisten tulosten perusteella erikseen eri vuodenajoille. Tällöin lämpötila muuttuu enemmän alhaisemmillä lämpötiloilla ja kylmimmät talvipäivät lämpenevät suhteessa eniten. Lämpötilan muutos on kuitenkin skaalattu, siten että kukin kuukausi lämpenee keskimäärin skenaarion mukaisella astemäärillä.



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.



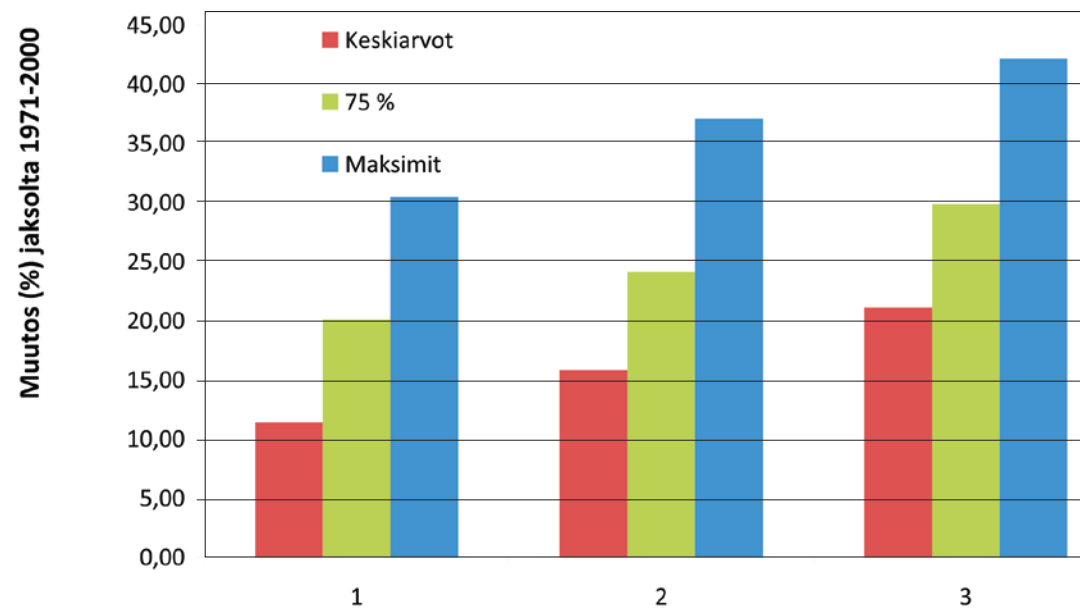
KUVA 8. Lämpötilan ja sadannan muutos Vantaanjoen valuma-alueella jaksolta 1971-2000 jaksolle 2071-2100 neljän eri ilmastoskenaarioiden mukaan.

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 sovittamalla alueellisista ilmastomalleista laskettuihin Vantaanjoen alue-sadantoihin Gumbelin jakauma ja vertaamalla jaksojen 2011-40,

2041-70 ja 2071-2100 kerran 20 vuodessa toistuvia sadantoja vastaaviin jakson 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 % fraktaalimukaista 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.

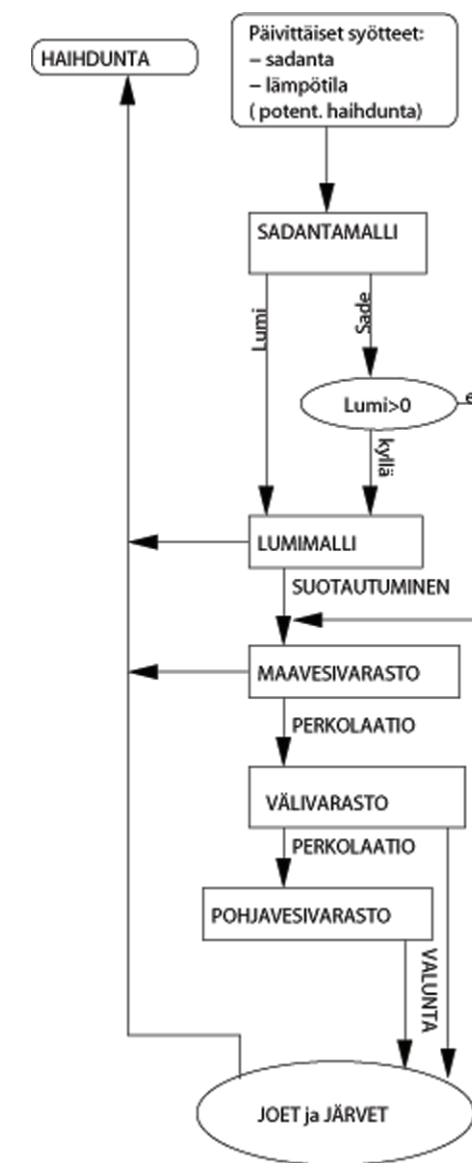


KUVA 9. Tulva-arvioinnissa käytetyt kerran 20 vuodessa toistuvan aluesadannan muutokset jaksolta 1971-2000 jaksoille 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 Vantaanjoen valuma-alueelle.

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 kasvillisuushaihdunta), lumivarasto, maankosteus, järvihaihdunta, pinta-, pintakerros- ja pohjavesivarasto, valunta sekä virtaamat ja vedenkorkeudet tärkeimmissä joissa 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 referenssijaksolla havaintoihin ja joita tulevaisuuden jaksolla muokataan ilmastoskenaarioiden 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 keskimäärin 3 %, jaksolla 2041-2070 5 % ja jaksolla 2071-2100 12 % (**taulukko 2**). **Kuvassa 11** on esitetty 48 vuoden simulointien keskimääräiset ja suurimmat virtaamat Oulunkylässä. Muutokset ylempänä Vantaanjoen pääuomassa Myllymäessä ovat samankaltaisia kuin Oulunkylässä (**taulukko 3**).

TAULUKKO 2. Oulunkylän tulvien muuttuminen jaksoilla 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 (m³/s) Muutos	183 -5.9 %	189 -3,0 %	196 +0.5 %	232 -5.2 %	238 -2,9 %	244 -0.4 %
2041-2070 (m³/s) Muutos	169 -13.4 %	187 -4,2 %	201 +3.2 %	214 -12.5 %	233 -4,6 %	253 +3.5 %
2071-2100 (m³/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 jaksoilla 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 (m³/s) Muutos	133 -5.9 %	138 -2,5 %	143 +0.9 %	168 -5,1 %	174 -2.1 %	178 0,3 %
2041-2070 (m³/s) Muutos	125 -11.6 %	137 -2,8 %	149 +5.1 %	159 -10,3 %	173 -2.5 %	188 +6,1 %
2071-2100 (m³/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 jaksoilla 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 (m³/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 (m³/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 (m³/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 Lepsämänjoella 100 vuoden tulvat keskimäärin kasvavat jaksolla 2011-40 ja jaksolla 2041-70, Lepsämänjoessa enemmän kuin Keravanjoessa (**taulukot 4 ja 5, kuva 12**). Jaksolla 2071-2100 Keravanjoen tulvat keskimäärin pysyvät nykyisen kaltaisina, kun taas Lepsämänjoessa on tälläkin jaksolla pientä kasvua (5 %) tulvien suuruudessa.

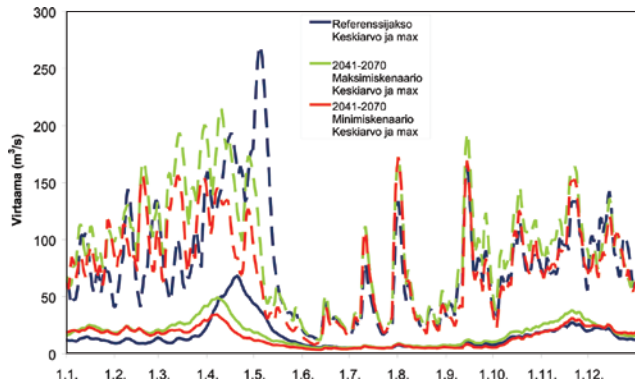
TAULUKKO 5. Lepsämänjoen tulvien muuttuminen jaksoilla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

Toistumisaika (vuotta)						
	20			100		
	Min	Keskiarvo	Max	Min	Keskiarvo	Max
Referenssi 1961-2005	25,0			30,8		
2011-2040 (m³/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 (m³/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 (m³/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 %

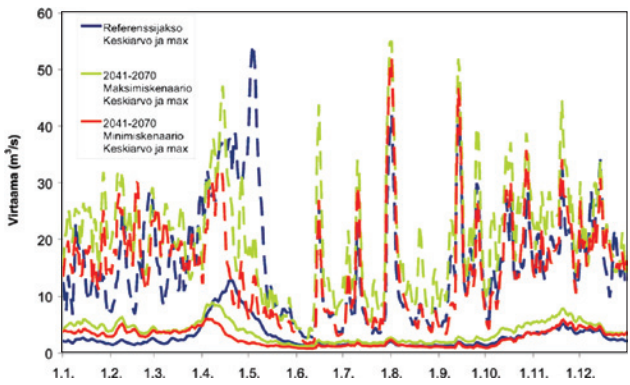
TAULUKKO 6. Vantaanjoen kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttuminen vedenkorkeuksien osalta (korkeustaso suluisa) jaksoilla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi-, maksimi- ja keskiarvon muutos.

	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 jaksoilla 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 kesätulvat 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 paremmuuden arvioiminen on vaikeaa tai mahdotonta. Ilmastonmuutoksen mallintaminen kehittyy kuitenkin koko ajan ja tiedon lisääntyessä ja menetelmien parantuessa arvioita kannattaa päivittää.

Tuloksia voidaan selittää alueen hydrologialla. Pienissä joissa tulva syntyy nopeasti lyhytkestoistenkin sateiden seurauksena. Suuremmissa joissa tulvan syntymiseen tarvitaan merkittävää lumen sulamista tai pitkään jatkuvia rankkoja sateita. Erityisesti lumen sulamisesta aiheutuvat tulvat pienenevät ja aiheuttavat Vantaanjoen tulvien keskimääräistä pienenemistä. Yhtenä syytä tulvien pienenemiseen on myös havaintohistorian 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

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

	Kohde							
	Oulunkylä		Myllymäki		Hanala		Lepsämänjoki	
	Maksimi-muutos	Ei muutosta	Maksimi-muutos	Ei muutosta	Maksimi-muutos	Ei muutosta	Maksimi-muutos	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

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 pienemissä joissa.

6.2 ESPOONJOKI

Espoonjoen kerran 100 vuodessa toistuvat tulvat kasvavat jaksolla 2011-40 5 %, jaksolla 2041-70 2 % ja pienenevät jaksolla 2071-2100 4 % (**taulukko 8, kuva 13**). Maksimimuutokset ovat suurimmillaan jaksolla 2041-70 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

TAULUKKO 8. Espoonjoen tulvavirtaamien 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	13,4			16,7		
2011-2040 (m³/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 (m³/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 (m³/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 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijakssoon nähden. Neljän skenaarion minimi- ja maksimi- ja keskiarvon muutos.

	Toistumisaika (vuotta)		
	Min	Keskiarvo	Max
	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

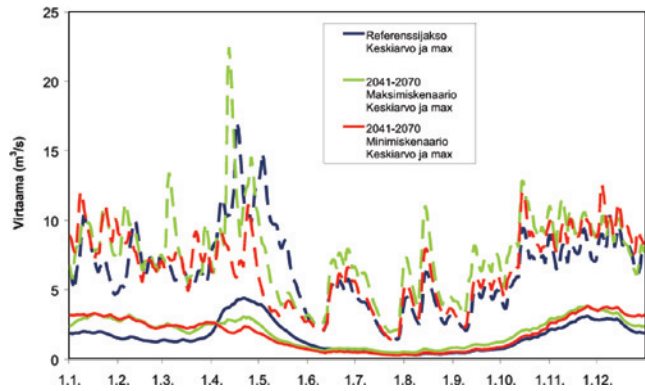
*Riippuu purkautumiskäyrän ekstrapoloinnista, tulvakartoissa suurempi vedenkorkeus (3,41 m N60) vaikka virtaama sama.

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

Taulukosta 10 nähdään, että rankkasateiden suuremmalla maksimimuutoksella tulvat kasvavat lähivuosisikymmeninä 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 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



KUVA 13. Espoonjoen simuloitujen virtaamien keskiarvot ja maksimit referenssijaksolla 1961-2008 ja jaksolla 2041-70 minimi- ja maksimiskenaariolla.

6.3 TULVA-ALUEIDEN MUUTTUMINEN

Vantaanjoen kartoitetut tulva-alueet ovat pääuoman läheisyydessä 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 uusiminen 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 ilmastonmuutos otetaan huomioon. Joillain ilmastoskenaariolla tulvavirtaaman muutokset olivat kuitenkin suurempia kuin keskimäärin johtuen suuremmasta sadannan kasvusta. Tarvittaessa ilmastonmuutokseen 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 ilmastonmuutos 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 ilmasto-oloissa. 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 käytökelpoisia myös ilmastonmuutos huomioon ottaen. Maksimiskenaariolla muutokset olivat hieman suurempia; vedenkorkeudet kasvoivat 7-19 cm. Tarvittaessa ilmastonmuutokseen 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 jaksolle 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 PÄÄKAUIPISEUDULLA

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 sään ääri-ilmiöiden esiintymisessä. Näitä ilmiöitä on nykyisinkin, mutta ilmastomuutoksen myötä niiden esiintymisalueiden, -tiheyden ja voimakkuuden ennustetaan lisääntyvän. (Ympäristöministeriö 2008).

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat luonteeltaan välittömiä sekä välillisiä. Välittömillä vaikutuksilla tarkoitetaan ympäristössä tapahtuvia, suoraan ilmastomuutoksesta johtuvia muutoksia. Nämä tapahtumat synnyttävät välillisiä, kumuloituvia vaikutuksia, jotka voivat näkyä esimerkiksi sosiaalisina, taloudellisina, ekologisina tai yhteisöllisinä muutuksina (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 ilmastomuutoksen suoria ja välillisiä vaikutuksia pääkaupunkiseudulla erityisesti rakennetun ympäristön osalta. Katsaus perustuu julkaistuihin tutkimuksiin ja selvityksiin ilmastomuutoksen vaikutuksista Suomessa ja pääkaupunkiseudulla. Ilmastomuutoksen kansalliseen sopeutumistrategiaan (Marttila ym. 2005) koottiin tietoja ilmastomuutoksen vaikutuksista Suomessa. FINADAPT -tutkimushanke (Carter 2007) kokosi vaikutustietoa sekä arvioi suomalaisen ympäristön ja yhteiskunnan kykyä sopeutua ilmastomuutokseen. ISTO -tutkimusohjelman (2006-2010) hankkeissa on jatkettu ilmastomuutoksen vaikutusten ja sopeutumisen tutkimusta. Aiemmin ilmastomuutoksen vaikutuksia pääkaupunkiseudulla on selvitetty YTV:n vuonna 2001 julkaisemassa raportissa (Pelin 2001).

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

1.2 VAIKUTUKSISTA JA EPÄVARMUUSTEKIJÖISTÄ

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

Lämpötilan ja sateisuuden muutokset kyetään 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. Valtamerten pinnannousu tuntuu myös Itämerellä, mutta pitkäaikaiseen vedenpinnankorkeuteen 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). Mikäli kasvihuonekaasupäästöt eivät käännä 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, kyetäänkö sopeutumistoimenpiteillä enää hallitsemaan ilmastomuutoksen vaikutuksia yhteiskunnille. (Richardson ym. 2009).

2. Vaikutukset yhdyskuntiin

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 sekaviemäröityä, jolloin hulevedet menevät jätevesien mukana vedenpuhdistamoon. Kantakaupungin ulkopuolella on kuitenkin käytössä erillisviemäröinti, 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, logistiikkakeskukset 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).

TAULUKKO 1. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista rakennettuun ympäristöön.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
- lisääntyvät taajamatulvat riskeinä 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. auras 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 pienemisenä. Suomessa lämmitystarpeen on arveltu vähenevän vuosisadan loppuun mennessä 20-30 % (IPCC 2007a). Tosin kesäisin rakennusten jäähdytystarve voi lisääntyä kuumien jaksojen pitenemisen 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 jähdyttävä 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 estein, 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 vuorotellessa. Tämä saattaa aiheuttaa maaperän lujuuden vähenemistä, vaikuttaa rakenteiden kantavuuteen ja johtaa perustusten ja paalutusten vaurioitumiseen. (Saarelainen 2006).

Leutoinakin talvina voi esiintyä äärimmäisen kylmiä ilmoja, mikä aiheuttaa lisästressiä rakennuksille muun muassa aiheuttaen ennen aikaista rakenteiden vanhenemista (Kuismanen 2008). Lumimäärät niukkenevat, minkä johdosta lumen huo-mioon ottamisen tarve rakennus- ja rakennesuunnittelussa vähenee (Saarelainen 2006). Leudompien talvien myötä myös 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 rasituksen (kosteus, tulvat...) lisääntyessä: korjaustarve ja taloudelliset kustannukset voivat lisääntyä	+/- roudan väheneminen ei muuta roudan suojautumistarvetta, 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 vesihuollolle 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 aiemmin suunnitellusta ja niiden huolto- ja kunnossapitotarve lisääntyy (Aaltonen ym. 2008). Rankkasateet voivat aiheuttaa ongelmia myös jätevedenpuhdistamoilla, kun viemäriverkostojen ylikuormittumisen johdosta jätevesiä saatetaan joutua päästämään käsittelemättöminä 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 pintavettä. 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 ohijuoksutukset aiheuttavat vesistöjen saastumista		
- jäteveden ohijuoksutuksen ja juomaveden saastumisen kustannukset		
- jäteveden sekoittumisen riski juomaveteen tulvan aikana		
- kuivuuskausien aikana riskit pohjavesien laadun heikkenemiseen		

2.4 JÄTEHUOLTO

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

pitäisi olla haittaa, mutta tulviin 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

Ilmastomuutoksen merkittävimmät vaikutukset energiasektorille johtuvat ilmastomuutoksen hillintätoimista, mutta myös ilmastomuutoksen suorilla vaikutuksilla on merkitystä energiasektorin toimintaan. Lämpenemisen myötä energiankysynnän kausivaihtelut pienenevät jossain määrin: talvisin lämmitystarve vähenee ja kesäisin jäähdytystarve lisääntyy. Kaukolämmön tarve pääkaupunkiseudulla vähentyyne, kun rakennusmääräykset kiristyvät ja rakennusten eristäminen tehostuu. Kuitenkin kylmiä kausia on yhä odotettavissa talvisin, samoin kuin kuumia kausia kesäisin ja kysyntähuippuihin 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.

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

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

Ilmastomuutos vaikuttaa useimpiin uusiutuviin energianlähteisiin, kun luonnonolot muuttuvat ja kysyntä kasvaa. Sen sijaan hiili-, maakaasu- ja ydinvoiman tuotantoon ei ilmastomuutoksella 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 peltobioenergian potentiaalin arvioidaan niin ikään kasvavan (Perrels ym. 2005). Toisaalta tuholaisten 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 ohjuoksutusta, mikä vähentää sähkön tuotantoa. (Marttila ym. 2005).

TAULUKKO 5. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista energianhuoltoon.

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

3. Liikenne

3.1 TIEVERKOSTOT JA LENTOLIIKENNE

Ilmastomuutoksen vaikutuksia tieverkostoon on arvioitu mm. Tiehallinnon (2009) selvityksessä, Ilmastomuutoksen kansallises- sopeutumisstrategiassa (Marttila ym. 2005) ja liikenne- ja viestintäministeriön (2009) ilmastopoliittisessa ohjelmassa. Lentoliikennettä on käsitelty näissä raporteissa, mutta yksityis- kohtaisempia vaikutusarviointeja tai lentoliikennettä koskevia sopeutumisstrategioita tai -ohjelmia ei ole tehty. Finavia on kuitenkin laatinut sisäisiä arvioita koskien ilmastomuutokseen sopeutumista (Viinikainen 2009).

3.1.1 HOUKUTTELEVVUUS

Kävely ja pyöräily voivat lisääntyä lämpenemisen myötä, sillä sula kausi pidentyy syksyisin ja alkaa 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 ilmastoinnin tarvetta liikennevälineissä kesäisin (IPCC 2007a). Kyse on sekä mukavuudesta että kuljettajan ja matkustajien turvallisuudesta. Joukkoliikenteen sopeutumi- sella kuumiin kausiin saattaa olla merkitystä joukkoliikenteen houkuttelevuuteen kesäisin.

3.1.2 HÄIRIÖTTÖMYYS

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

3.1.3 LIIKENNETURVALLISUUS

Ilmastomuutos vaikuttaa liikenneturvallisuuteen sekä myönteis- estä kielteisesti. Sään äkillisten vaihteluiden vaikutus onnet- tomuuksiin maalla ja merellä on nostettu esiin sisäasiainministe- riön (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 riskei- hin, ilmastomuutos voi kuitenkin tuoda uudenlaisia riskejä. Tule- vaisuudessa talvikuukausien sadannasta yhä suurempi osa tulee vetenä. Pakkasella vesi jäätyy tehden tienpinnat vaarallisiksi. Liuk- kaudentorjunnan tarve lisääntyy etenkin rannikon läheisyydessä sekä lentokentillä. (Marttila ym. 2005).

TAULUKKO 6. Yhteenveto ilmastomuutoksen 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 vaaralliseksikin	+/- routasuojaukset ovat edelleen tarpeen kylmien talvien varalta	+ kevyen liikenteen suosio voi kasvaa sulan kauden pidentyessä
- ääri-ilmiöt voivat vaikeuttaa liikennettä ja aiheuttaa viivästyksiä joukkoliiken- teessä ja kuljetuksissa		+ liikenneväylät pysyvät sulina pidempään, mikä lisää turvallisuutta
- liukkaus lisääntyy lisäten vaara- tilanteita ja liukkaudentorjunnan tarvetta ja kustannuksia		+ lumenpoistotarpeen väheneminen vähentää kustannuksia
- taajamatulvat voivat nousta tieväylille aiheuttaen ongelmia liikenteelle		+ roudan väheneminen vähentää routavaurioiden riskiä
- ilmastomuutos aiheuttaa rasitusta tierakenteille, mikä lisää kunnossapidon kustannuksia		

Viime vuosina liukkaudentorjunnan tarve on pysynyt ennallaan Etelä-Suomessa, mutta lumenpoiston tarve on vähentynyt. Vaikka lumen määrän väheneminen lisää tieturvallisuutta, lumimyrskyjä luultavasti esiintyy tulevaisuudessakin. On havaittu, että mitä harvinaisempia vaativat talvikelit ovat, sitä suurempi onnettomuus-riski niihin sisältyy. (Tiehallinto 2009). Pääkaupunkiseudulla lumen määrän ja lumipeitepäivien väheneminen (Ilmatieteen-laitos 2009d) näyttäisi tuovan kustannussäästöjä väylien talvi-hoidon osalta (Marttila ym. 2005). 90 % talvihoidon kustannuk-sista muodostuu lumenpoistosta ja liukkaudentorjunnasta (Tiehallinto 2009).

Riskejä liikenteelle aiheutuu myös kovista tuulista. Arvioitu tuuli-suuden lisääntyminen (Ilmatieteenlaitos 2009d; IPCC 2007b) haittaa kävelijöiden ja pyöräilijöiden ulkona liikkumista. Liikku-minen avoimilla alueilla, kuten silloilla, voi olla vaikeaa ja vaarallista (Kuismanen 2008). Lisäksi kovat tuulet lisäävät puiden kaatu-misen riskiä liikenneväylille (Saarelainen 2006). Matkustajaliiken-teen osalta ääri-ilmiöt voivat vaikuttaa matkustajien kokemaan turvallisuuden tunteeseen (Marttila ym. 2005).

Taajamatulvien nousu tieväylille voi aiheuttaa riskejä liikenteelle. Esimerkiksi Porin vuoden 2007 kaupunkitulvan yhteydessä pe-lastustoimen 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

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

Lämpimät ja sateiset talvet pitävät tienpinnat paljaina, mikä nope-uttaa teiden kulumista. Lisäksi talvisin lämpötilan sahaaminen nollan molemmin puolin rapauttaa tien pintoja. (Tiehallinto

2009). Nastarenkaiden käyttö lumettomilla teillä voi myös hei-kentää ilmanlaatua (ks. luku 6.1.1).

Routasyvyyyden arvioidaan vähenevän Uudenmaan lumettomilla alueilla nykyisestä 120-140 cm:n keskiarvosta 20-40 cm:iin vuosi-sadan loppuun mennessä (Ilmatieteenlaitos 2009d). Roudan vähentymisen myötä maaperän kantokyky heikkenee. Toisaalta tulevaisuudessa pakkasjaksoja saattaa esiintyä talvisin lumetto-maan aikaan, jolloin routaa syntyy syvemmälle maaperään kuin lumen peittäessä maata. Yleisesti ottaen routa kuitenkin vähe-nee, mistä kärsivät etenkin soratiet. Ne vaurioituvat helposti sulan maan aikaan, erityisesti raskaan liikenteen alla, mikä kas-vattaa sorateiden hoidon kustannuksia. (Tiehallinto 2009).

3.2 RAIDELIIKENNE

Lisääntyvät helteet ja vähentyvä routiminen lisäävät rataraken-teiden vaurioriskiä ja sitä mukaa myös turvallisuusriskiä. Maape-rän kantokyvyn heikkeneminen aiheuttaa epätasaisuuksien syn-tymistä ratoihin, ja helteet käyristävät kiskoja, minkä vuoksi junien nopeuksia on paikoin alennettava. Vesistötulvat eivät sen sijaan ole nousseet junaradoille, mutta noustessaan ratapenke-reiden tasolle ne voivat heikentää penkereiden kuntoa. Lisäksi pohjaveden pinnan kohoaminen vähentää ratarakenteiden kan-tavuutta ja siten lyhentää niiden elinkaarta. (Saarelainen ja Mak-konen 2008).

Rataliikenteelle aiheuttavat riskejäovat lumipyryt etenkin yhdis-tettyinä kovaan pakkaseen ja tuuleen. Kiskojen vaihteiden toimin-ta voi vaikeutua ja liikennöinti radoilla hidastua. Liukkaudentor-junnan lisääminen paitsi raiteilla, myös asemalaitureilla on tärkeää junaliikenteen matkustajien turvallisuuden kannalta. (Saarelainen ja Makkonen 2008).

Ilmastomuutoksen vaikutukset aiheuttavat jo nyt ongelmia rai-deliikenteelle, 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 ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista raideliikenteeseen.

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

Merenkulkulaitos (2009) on selvittänyt ilmastomuutoksen vai-kutuksia merenkulkuun. Leudontuvat talvet ovat merkittävä muutos merenkululle, mutta tämä ei välttämättä tarkoita hel-pompia olosuhteita ainakaan lähitulevaisuudessa. Vuosisadan loppua kohti mentäessä merenkulku voi helpottua Itämeren ollessa lähes kokonaan jäätön. (Merenkulkulaitos 2009). Ilmas-tonmuutoksen vaikutuksesta jään peittävyys vähenee, jääpeite ohenee ja jäätalvi lyhenee. Suomenlahdella jäättömien päivien lukumäärä lisääntyy vuosisadan loppuun mennessä merkittä-västi. Tällä on huomattavia vaikutuksia merenkulkuun, merikulje-tuksiin sekä satamien ja jäänmurtajien toimintaan. (Ilmatieteen-laitos 2009d; Marttila ym. 2005).

Tuulisuuden ja myrskyjen tulevasta kehityksestä on vaikea antaa selkää arviota. Tiedetään kuitenkin, että keskituulennopeus kasvaa muutamalla prosentilla Itämeren ollessa tulevaisuu-dessa yhä pidempiä aikoja jäättömänä (Ilmatieteenlaitos 2009d). Tuulisuuden kasvaessa ja jääpeitteen vähentyessä aallo- kon ankaruus voimistuu merialueilla, mikä vaikeuttaa meriliikennettä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009; Merenkulku-laitos 2009). Lisäksi näkyvyyden odotetaan huononevan, kun lisääntyvä kosteus ja sateet muodostavat aiempaa enemmän sumua (Launiainen ym. 2008).

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

joita rannikotulvat saattavat vahingoittaa (Merenkulkulaitos 2009). Lisäksi lounaan- ja lännenpuoleiset tuulet lisäävät meri-jään ahtautumista talvisin satamien edustoille Suomenlahdella.

Vaikka jääpeite vähenee ja ohenee, talvimerenkululle on odotet-tavissa ajoittain vaikeita olosuhteita. Jääpeitteisen kauden lyhe-neminen tuo kuitenkin kustannussäästöjä merenkulun ja sata-mien talvikunnossapidolle. (Marttila ym. 2005).

3.4 TIETOLIIKENNE

Ilmastomuutos voi aiheuttaa ongelmia tietoliikenteen infra-struktuurille ja sähkönsaannille. Tällä voi olla merkittäviä yhteis-kunnallisia vaikutuksia, sillä useiden perustoimintojen ylläpito perustuu tietoteknisiin ratkaisuihin ja toimiviin tietoverkkoihin (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009). Tuulisuuden lisäänty-misen myötä tietoliikenteen ilmajohtojen päälle kaatuvien puiden riski voi kasvaa (Saarelainen 2006). Lisäksi äärimmäisten ilmasto-olojen esiintyminen lisää korjaus- ja huoltotarvetta ja sitä kautta kustannuksia (Marttila ym. 2005).

Äärimmäiset sääilmiöt lisäävät pitkäaikaisten sähkökatkosten riskiä. Tietoliikenteen häiriötön toiminta on keskeistä poikkeus-tilojen hallinnassa ja sähkökatkosten aikana. Erityisesti talviaikana sähkökatkos yhdistettynä häiriöihin tietoliikenteessä voi aiheut-taa poikkeustilan, joka voi johtaa suuronnettomuuden kaltaiseen tilanteeseen. (Sisäasiainministeriö 2008).

TAULUKKO 8. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista merenkulkuun ja satamiin.

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

TAULUKKO 9. Yhteenveto ilmastomuutoksen 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 mahdol-lisuus lisääntyy ääri-ilmiöiden myötä		

4. Luonto ja kulttuuriympäristö

4.1 LUONNON MONIMUOTOISUUS JA VIHERALUEET

Luonnon monimuotoisuuteen vaikuttavat useat ihmisestä riippu-
puvaiset ja riippumattomat tekijät. Ilmastomuutos on yksi kes-
keinen stressitekijä kasvi- ja eläinlajeille (ks. Marttila ym. 2005;
WWF 2002). Pääkaupunkiseudulla monimuotoisuuteen vaikutta-
vat merkittävästi myös jatkuvasti laajeneva kaupunkirakenne
sekä kasvavat asukasmäärät. Tästä syystä kaupunkisuunnitte-
lulla on pääkaupunkiseudulla tärkeä rooli luonnon monimuotoi-
suuden ylläpitäjänä.

Pohjoisen ekosysteemit ovat hyvin haavoittuvaisia ilmastomuut-
oksen 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). Ilmastomuutos myös muuttaa lajien elin-
alueita sekä aiheuttaa sukupuuttoja ja uusien lajien leviämistä
Suomeen (Richardson 2009; LUMONET 2005). Merkittävimmät
vaikutukset pohjoisten ekosysteemien kannalta ovat ilmaston
muuttuminen keskimääraistä lämpimämmäksi, kasvukauden
piteneminen, tilapäisten kuivuusjaksojen yleistyminen sekä lumi-
ja jääpeiteajan muuttuminen lyhyemmäksi ja epäsäännöllisem-
mäksi (Marttila ym. 2005; Ilmatieteenlaitos 2009d).

Kaupunkialueilla nämä vaikutukset koskettavat kaupunkipuistoja
sekä ulkoilu-, metsä- ja suojelualueita. Kuivuusjaksot voivat ko-
etella puustoa ja kasvillisuutta etenkin kallioisilla alueilla, ja metsä-
palojen riski viheralueilla lisääntyy. Toisaalta ilmastomuutoksen
myötä pitenevä kasvukausi näyttäisi lisäävän viheralueiden tuot-
tokykyä (IPCC 2007b; Marttila ym. 2005).

Lämpeneminen tuo mukanaan uusia lajeja, sillä lajien esiinty-
misalueet siirtyvät pohjoisemmaksi sadoilla kilometreillä. Pää-
kaupunkiseudulla lajimäärien ennustetaan kasvavan Suomen



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

ulkopuolelta tulevilla lajeilla. Samalla lajisuhteet muuttuvat. Ilmas-
tonmuutos ei välttämättä hyödytä kaikkia alkuperäisiä laje-
jamme, vaan osa hyötyy ja osa kärsii muutoksista. (Marttila ym.
2005, Kellomäki ym. 2006).

Sopeutuakseen ilmastomuutokseen nykyisin pääkaupunki-
seudulla menestyvät lajit tarvitsevat mahdollisuuksia siirtyä poh-
joisemmaksi. Vaikeimmassa asemassa ovat ne, jotka ovat jo vaa-
rantuneita tai joilla on rajoitetut maantieteelliset leviämis-
mahdollisuudet tai jotka sietävät muuten huonosti ilmaston-
muutoksen vaikutuksia (Marttila ym. 2005; Suomen ympäristö-
keskus 2005).

Ilmastomuutos asettaa haasteita suojelualueverkoston kehittä-
miselle. Riittävän laajat suojelualueet turvaavat varmimmin luon-
non monimuotoisuutta ja niitä yhdistävien ekologisten käytävien
ylläpitäminen ja parantaminen auttaa lajien leviämisessä. Moni-
muotoisuuden kannalta on tärkeää, että lajit pystyvät siirtymään

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

Käytännössä lajien liikkumisen turvaaminen voi tarkoittaa esi-
merkiksi taajamien suunnittelemista selkeiksi kokonaisuuksiksi
niin, että jäljelle jää riittävästi yhtenäisiä luonto- ja virkistysalueita
muodostamaan ekologisten käytävien ja lajien elinalueiden ver-
koston (Wahlgren ym. 2008). Ekologiset käytävät eivät kuiten-
kaan ratkaise kaikkea, sillä ne hyödyttävät vain lajeja, jotka kyke-
nevät liikkumaan riittävän nopeasti ilmastomuutoksen
edetessä. Näin ollen myös suojelualueiden ja ekologisten käytä-
vien ulkopuolisten metsien hoitotavalla on merkitystä lajien sel-
viytymiselle muuttuvassa ilmastossa. (Pöyry ja Toivonen 2005).

4.2 KULTTUURIYMPÄRISTÖ

Kulttuuriympäristö ilmentää ihmisen ja luonnon vuorovaikutus-
ta. Pääkaupunkiseudulla on useita maisemallisesti ja kulttuurihis-
toriallisesti tärkeitä kohteita: 2 valtakunnallisesti merkittävää
maisema-aluetta (Suomenlinna ja Vantaanjokilaakso), 2 kansal-
lismaisemaa (merellinen Helsinki ja Espoon Tapiola) ja 17 perinne-

biotooppia (Uudenmaan ympäristökeskus 2008). Kulttuuriym-
päristön vaaliminen on tärkeää paitsi kulttuurihistoriallisten ja
maisemallisten arvojen, myös luonnon monimuotoisuuden takia.
Perinnebiotoopit ovat uhanalaisin luontotyyppimme ja ne tarjo-
avat elinympäristön 28 %:lle Suomen uhanalaisista lajeista.
(Berghäll ja Pesu 2008; Rassi ym. 2001).

Kulttuuriympäristö on vahvasti sidoksissa ilmastoon: maisemaa
muokkaavat elinkeinot perustuvat kyseisessä ilmastossa viihty-
viin lajeihin, ja yhdyskuntien rakenne heijastelee paikallista ilmas-
toa. Ilmastomuutoksen arvellaan vaikuttavan negatiivisesti kult-
tuuriympäristöön, sillä se muuttaa lajistoa ja lajien elinympä-
ristöjä ja siten myös kulttuuriympäristöjen elinkeinojen
edellytyksiä. (Berghäll ja Pesu 2008).

Ilmastomuutos on riski myös rakennetulle kulttuuriympäris-
tölle. Esimerkiksi Suomenlinnan rantarakenteet (laiturit, sillat jne).
ja huoltoliikenne ovat vaarassa merenpinnan kohotessa. Sään
muuttuminen kosteammaksi voi aiheuttaa rakennusten ennen-
aikaista lahoamista ja synnyttää homevaurioita. Lämpötilan
sahaamisesta johtuvaa rakenteiden vaurioitumista ja suolara-
pautumista on jo nykyisinkin havaittavissa Suomenlinnassa.
(Berghäll ja Pesu 2008).

TAULUKKO 10. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista rakennettuun ympäristöön.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
- pohjoiset ekosysteemit haavoittuvaisia ilmastomuutoksen 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	

TAULUKKO 11. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoituista vaikutuksista kulttuuriympäristölle.

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

4.3 ITÄMERI

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

Merkittävimmän muutoksen Itämeri kokee luultavasti talviaikaan. 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 liikkuminen, 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. (Launiainen ym. 2008; Marttila ym. 2005).

Lisääntyvä valunta (IPCC 2007b) voi myös edesauttaa Itämeren rehevöitymistä. Kun maa on sula 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. Mikäli näin käy, Itämeren ekologia ja sitä kautta lajisto muuttuvat. (Launiainen 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 ilmastomuutoksen ennakoiduista vaikutuksista Itämereen.

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
- Itämeren jäättömyys lisää tuulisuutta	-/+ Itämeren ekologia ja lajisto muuttuvat ilmastomuutoksen vaikutus-ten 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 (Veijalainen ym. 2009) on kuitenkin havaittu, että vuosisadan loppua kohden Vantaanjoen tulvat saattavat vähentyä lämpötilan kohoamisen ja sitä kautta lisääntyvän haihdunnan myötä. Viimeksi jokitulvia koettiin pääkaupunkiseudulla loppukeuhällä 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 maantiiliikenteelle 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).

Valuma-alueen maankäytöllä on merkitystä joen veden laatuun ja hulevesien valumiin. Sekä Espoon- että Vantaanjoen tulvaherkkyyttä 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. Rannikkotulvat voivat nousta herkästi maanalaisiin rakenteisiin, kuten tunneleihin. Ne voivat niin ikään nousta mereen laskeviin jokiin, joten merellä tapahtuvia myrskyjä voidaan kokea myös sisämaassa. Viimeksi ongelmia aiheu-



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

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 meritulvista johtuvia tapaturmia tai kuolemantapauksia.

TAULUKKO 13. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoiduista 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 1-6 päivää (Neitiniemi-Upola ym. 2009).

Lämpötilannousuun liittyvät kielteiset vaikutukset ajoittuvat pääasiassa kesän hellejaksoihin. Laajojen ja tiiviisti rakennettujen kaupunkikeskusten lämpötilat voivat olla jopa 10 astetta maa-seutua korkeammat, erityisesti tuulettomina öinä. Ilmiö johtuu lämpösaarekeilmiöstä, 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 yksin asuvia vanhuksia ja heistä etenkin niitä, joilla oli jokin kuumuuteen herkästi reagoiva sairaus ja huonompi sosio-ekonominen asema. (Dhainaut ym. 2003; Marttila ym. 2005). Myös muut tekijät, kuten ikä, lääkitys tai henkinen terveys voivat altistaa ihmisiä helteen kaltaisille ilmaston ääri-ilmiöille. Toistaiseksi pääkaupunkiseudulla ei ole tutkittu, ketkä ovat haavoittuvimpia 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 tieliikenneonnettomuuksien syiden osalta.

Lämpötilannousu voi lisätä ruuasta saatavien infektiautien 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. Lämpötilannousulla on merkitystä myös työturvallisuuden kannalta, vaikka nykyisin työsuojelliset minimi- ja maksimilämpötilat on määriteltty (Marttila ym. 2005).

Kaupunkitilan mikroilmasto vaikuttaa ulkona oleskelun terveellisyysyteen ja miellyttävyyteen. Puuskittaisessa, kovassa tuulessa kaatumis- ja sitä myötä loukkaantumisriskit kasvavat etenkin talvisin. Tämä johtuu paitsi tuulesta, myös siitä, että katujen liukaus todennäköisesti lisääntyy. Lisäksi käveleminen puuskittaisessa tuulessa voi olla hankalaa (ks. luku 5.1.3). Avoimet alueet, joissa vietetään aikaa, esimerkiksi leikkipaikat ja parvekkeet, vaativat suojausta koviilta tuuilta. (Kuismanen 2008).

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

kutuksista huolimattakin väestön ikääntymisestä johtuen, sillä ikääntyneillä on muuta väestöä korkeampi riski liukastua tapaturmaisesti (Ruuhela ym. 2005; Vantaan kaupunki 2009b). Helsingin kaupunki ja Ilmatieteenlaitos varoittavat kaupunkilaisia liukkaista jalankulkukeleistä tekstiviestillä.

6.2 ILMANLAATU

Ilmastomuutoksella on suuri vaikutus ilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin, leviämiseen ja kulkeutumiseen, mutta näitä vaikutuksia on toistaiseksi tutkittu melko vähän. Esimerkiksi tuulisuudessa tapahtuvat muutokset voivat suosia ilmansaasteiden kaukokulkeutumista. 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 hengityselinsairauksia. 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 siten olettaa pahenevan pääkaupunkiseudulla. Niin ikään puun polton tulisijoissa oletetaan yleistyvän, sillä ilmastomuutoksen hillitsemiseksi uusiutuvien energialähteiden käyttöä lisättäneen. Tiheästi asutuilla pientalo-alueilla 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 lumipeitteisyydessä tapahtuu muutoksia. Kun lämpötilat ovat jatkuvasti plussan puolella, liukaudentorjunnan tarve vähenee. Toisaalta lähellä nollaa olevat kelit lisäävät hiekoitustarvetta polanteisilla teillä. (Tiehallinto 2009).

Otsonin pitoisuudet ovat korkeimmillaan keväisin ja kesäisin. Tulevaa ilmastoa koskevat ennustemallit osoittavat, että otsonipitoisuudet nousevat tulevaisuudessa pohjoisella pallonpuoliskolla jo pelkästään ilmaston muuttumisen takia, vaikka otsonia muodostavien yhdisteiden päästöissä ei tapahtuisi muutoksia. Otsonipitoisuuksien nousu on havaittu myös pääkaupunkiseudulla. Osittain tämä johtuu typenoksidien päästöjen vähentymisestä, ja osittain yleisestä taustapitoisuuksien noususta. (Niemi ym. 2009).

6.3 HENKINEN HYVINVOINTI

Suurin osa ilmastomuutoksen terveysvaikutuksiin keskittyvästä tutkimuksesta on liittynyt 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 lumimyrskyllä 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 myönteisemmin valon määrän lisääntymiseen keväällä.

Ilmatieteenlaitoksen tutkimuksen mukaan talviajan auringonsäteily vähenee ilmastomuutoksen myötä. Lisäksi talvia pimentää entisestään valoa heijastavan lumipeitteen väheneminen ja pilvisyyden lisääntyminen (Ilmatieteenlaitos 2009b,d).

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

TAULUKKO 14. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoiduista 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 infektiautien riski voi nousta lämpenemisen johdosta	-/+ lisääntyvän pimeyden vaikutukset ulkoiluun, tulevaisuuden odotuksiin jne.	
- juomaveden saastuminen tulvien johdosta mahdollista		
- liukkauden lisääntyminen talvisin lisää loukkaantumisriskiä		
- lisääntyvä tuulisuus voi tehdä avoimista alueista epämiellyttäviä ja epäterveellisiä		
- lisääntyvällä pimeydellä on luultavasti vaikutuksia jaksamiseen		
- otsoni- ja pienhiukkaspitoisuudet voivat kohota ja aiheuttaa hengityselinsairauksia		

7. Sosiaaliset vaikutukset

7.1 VIRKISTYS JA VAPAA-AIKA

Ilmastonmuutoksen seurauksena luonnon virkistyskäyttö ja ulkoiluharrastukset kokevat muutoksia. Ihmisten on sopeutettava harrastuksiaan uudenaiseen 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 ilmastomuutoksen 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. hiihtolatujen) lumitilanteen heikentyessä. Toisaalta monet voivat vaihtaa esim. hiihdon johonkin korvaavaan lajiin. (Sievänen ym. 2005, Marttila ym. 2005, Perrels ym. 2005).

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

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

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

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
- talvilajien harrastaminen vaikeutuu	-/+ on epävarmaa, miten ilmastomuutos 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 ilmastomuutoksen 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, resursien vähyyden tai sosiaalisen aseman takia. Pääkaupunkiseudulla ei vielä ole selvitetty, mitkä väestöryhmät ovat seudulla ilmastomuutoksen suhteen huono-osaisia, eli niitä, joihin ilmastomuutos 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 vanhukset, lapset ja pienituloiset ovat ryhmiä joihin ilmastomuutos vaikuttaa eniten. Lisäksi ihmiset, joilla on jokin sairaus, jota ilmastomuutoksen vaikutukset pahentavat (esim. sydän- ja hengitystiesairaat), ovat tässä suhteessa muita alttiimpia ilmastomuutoksen haitallisille vaikutuksille.

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

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

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

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

8. Talous

Ekonomisti Nicholas Sternin (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 jäätilanne Suomenlahdella oli niin keho, että talvikalastuskausi jäi suurimalta osalta kalastajista kokonaan väliin (Haapala ym. 2009). Joihinkin elinkeinoihin ilmastonmuutos vaikuttaa välillisesti, esimerkiksi talviurheiluvälineiden valmistajiin ja jälleenmyyjiin.

Joillakin aloilla ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat olla myönteisiä. Pidentyvä kasvukausi ja lämpimämpi ilmasto lisäävät kasvien tuotantoa ja parantavat maatalouden ja puutarhatuotannonedellytyksiä. Ilmastonmuutos edistää metsien kasvua Suomessa, mutta alueelliset erot voivat olla suuria. Esimerkiksi Etelä-Suomessa kuusi todennäköisesti kärsii eikä pysty sopeutumaan muutoksiin 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 ilmaston 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 % arviodusta vahingosta.

Vakuutuksen osalta käytännöt vaihtelevat ja osa vakuutuksista 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 vaikuttanee talouselämään merkittävimmin päästövähennysveloitteiden kautta. Uudet tavat tuottaa energiaa ja vähäpäästöiset teknologiat vaativat suuria investointeja, mutta tarjoavat samalla merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia niin suurteollisuudessa kuin pk-sektorilla.

9. Turvallisuus

Ilmastonmuutos ja turvallisuus ovat nousseet tärkeäksi aiheiksi viime vuosina, mm. YK:n turvallisuusneuvosto käsitteli aihetta päivän pituisessa kokouksessaan vuonna 2007. Turvallisuuskysymykset 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. domino-vaikutuksen, jossa järjestelmä toisensa perään kaatuu. Laajamittaisena tällainen tilanne olisi vakava riski yhteiskunnan turvallisuudelle.

Väestön ikääntyminen vaikuttaa 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 turvattomuutta. Heillä on myös muita heikommät valmiudet toimia kriisitilanteissa.

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

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

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	

TAULUKKO 18. Yhteenveto ilmastomuutoksen ennakoiduista vaikutuksista turvallisuuteen.

Ilmaston-muutoksen vaikutus	Seuraukset turvallisuuteen	Ks. lisää
Tulvat	Henkilövahingot mahdollisia	luku 5
	Voivat aiheuttaa katkoksia tieto- ja sähköverkkojen toimivuudessa ja sitä kautta aiheuttaa tietokatkoksia ja suuronnettomuuden vaaran	luvut 2.5 ja 3.4
	Voivat vaikuttaa liikenneturvallisuuteen veden noustessa tieväylille tai maanalaisille kulkuväylille (tunnelit ja metrotunnelit)	luvut 2.1 ja 5
	Jäte- tai tulvavesien sekoittuminen juomaveteen mahdollista vedenottamoilla	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

Ilmastomuutoksen vaikutukset jakaantuvat epätasaisesti maailman valtioiden kesken (ks. Richardson ym. 2009). Lämpötilan- ja merenpinnannousu, yleistyvät sään ääri-ilmiöt ja sateisuuden muutokset voivat koetella rajusti herkimpiä ja haavoittuvaisimpia maita. Haavoittuvimpina maina pidetään yleisesti ottaen köyhiä maita, joihin maantieteellisen sijainnin takia ilmastomuutos 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 herkimmät maat saattavat jo valmiiksi olla alttiita konflikteille. Myös Euroopassa on ilmastomuutokselle haavoittuvaisia alueita, elinkeinoja ja väestöryhmiä (European Environment Agency 2009a, IPCC 2007b, The World Bank 2009) ja myös Euroopan sisäisten tapahtumien seuraukset voivat näkyä Suomessa.

Ilmastomuutoksen äkilliset ja hitaasti kehittyvät vaikutukset muualla maailmassa liittyvät useisiin eri alueisiin ja aiheisiin (Euroopan yhteisöjen komissio 2008; Stern 2007) kuten: 1) Luonnonvaroja koskevat konfliktit voivat kiihtyä. Ilmastomuutos vaikuttaa vesivaroihin, veden kiertoon ja veden saatavuuteen monilla alueilla, kuivuuskaudet voivat lisääntyä ja kuivuus koettelee uusia alueita. Myös uusiutuvan energian saatavuus voi muuttua epävarmemmaksi ja aiheuttaa kilpailua luonnonvarojen hallinnasta. 2) Ympäristösyistä johtuva muuttoliikenne voi lisääntyä, sillä ilmastomuutoksen vaikutukset kaventavat ihmisten elinalueita ja tekevät olosuhteista paikoin vaikeita tai sietämättömiä 3) Kansainväliseen yhteisöön kohdistuu paineita mm. oikeudenmukaisuuteen ja ilmastomuutoksen 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, energiasektoria ja kuljetusta. Suorat vaikutukset voivat lähivuosikymmeninä olla suhteellisen vähäisiä, mutta epäsuorat vaikutuk-

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

Kansainväliseen turvallisuuteen liittyvät kysymykset liittyvät eri-laisten konfliktien mahdollisuuteen ja pakolaisten määrän lisääntymiseen (Carter ja Kankaanpää 2008). Ilmastomuutoksen 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 ilmastomuutoksella on eniten negatiivisia vaikutuksia terveyteen ja hyvinvointiin. Tällaisissa maissa ilmastomuutoksen aikaansaama stressi voi lisätä konfliktien mahdollisuutta. (Wæver 2008). Kansainväliseen turvallisuuteen vaikuttanee se, saadaanko lämpenemistä rajoitettua ja kuinka paljon. Jo kahden asteen nousulla tiedetään olevan merkittäviä maailmanlaajuisia vaikutuksia muun muassa vesivaroihin, ruokaturvaan ja tulviin (Stern 2007).

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

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

Haitat	Vaikutuksen suunta epäselvä/ vaikutuksesta samanaikaisesti etua ja haittaa	Hyödyt
- ilmastomuutos 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

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

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

Pääkaupunkiseudulla ilmastomuutoksen vaikutukset liittyvät lämpötilanousun, 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 tietoliikenneverkos-

tojen ylläpito ääri-ilmiöiden lisääntyessä vaikeutuu. Muuttuva ilmasto merkitsee seurauksia eri elinkeinojen edellytyksille. Asumisessa joudutaan ottamaan huomioon lämpimämpi ja kosteampi ilmasto. Ilmastomuutoksella on lisäksi vaikutuksia fyysiseen terveyteen, henkiseen hyvinvointiin sekä turvallisuuden liittyviin asioihin. Myös Euroopassa ja muualla maailmassa tapahtuvat ilmastomuutoksen vaikutukset koskettavat Suomea mm. turvallisuuden, talouden ja kehitysyhteistyön kautta.

Alueelliset ja paikalliset ominaispiirteet, kuten maantieteelliset ja ekologiset ominaisuudet, mikroilmasto sekä elinkeino-, yhdyskunta- ja sosio-ekonominen rakenne vaikuttavat siihen, mitkä ovat ilmastomuutoksen 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 huono-osaisten, kannalta. Lisäksi vaikutukset voivat muuttua ajassa. Vuosisadan loppua kohti vaikutukset voivat voimistua, vähentyä tai niiden merkittävyys voi muuttua.

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

Lähdeluettelo

- Aalto, L. 2008. Kaupunkikuva. 100 vuotta energiarakentamista Helsingissä. Helsingin Energia. Editä 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., Tiho- nen 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., Bindshadler R.A., Cox P.M., de Noblet N., Eng- land 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. Ilmastomuutos ja kulttuuriympäristö. Tunnistetut vaikutukset ja haasteet Suomessa. Suomen ympä- ristö 44/2008. Ympäristöministeriö. Editä 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. Un certainty 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 ilmastomuutokseen: FINADAPT. Yhteenveto päättäjille. Suom. Kankaanpää, S. Suo- men 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.
- Dobbartin, 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. Unprece- dented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments. Critical Care 8: 1-2.
- Euroopan yhteisöjen komissio 2008. Ilmastomuutos 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](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. Niimäki, T. Seitola, H. Tuomenvirta, K. Jylhä, T. Tuomi ja A. Mäkelä, 2008. Vaaraa aiheuttavista sääil- miöistä 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. Ilmastomuutos muuttaa Itämeren. Itämeripor- taali. Saatavilla Internetistä: http://www.fimr.fi/fi/tietoa/ilmaston-muutos/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 Mimeographs 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 vellomistaan perjantaina. Helsingin Sanomat.
- HS 10.12.2005. Tulva katkaisi Suomenlinnan lauttaliikenteen. Helsingin Sanomat.
- HS 22.9.2009. Ilmastomuutos 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. Ilmastomuutoksen vaikutus auringonsäteilyn määrään - ennuste vuoteen 2099. ACCLIM-hanke. 7 s. Saatavilla Internetistä:http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuvat/acclim_aurin-koskenaarior.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](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuvat/acclim_hellepaivat.pdf). Luettu 13.10.2009.

Ilmatieteenlaitos 2009d. Pääkaupunkiseudun ilmastomuutoskuvaus. Ilmastoennuste eri säätekijöistä vuoteen 2099 asti eri päästö-skenaarioilla.

IOM 2008. Migration and Climate Change. IOM Migration Research Series 31. Geneve, Switzerland. 61 s. Saatavilla Internetistä: http://www.iisd.org/pdf/2008/migration_climate.pdf. Luettu 20.10.2009.

IPCC 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

IPCC 2001. 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., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

IPCC 2007a. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom. 976 s.

IPCC 2007b. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom ja New York USA. 996 s.

Itämeriportaali 2007. Itämeri hiilidioksiditukimusten koekenttänä. Saatavilla Internetistä: http://www.fimrfi.fi/tietoa/ilmastonmuutos/fi_FI/itameri_hiilidioksiditukimusten_koekenttana. Luettu 20.10.2009.

Jevrejeva, S., J. C. Moore, A. Grinsted, and P. L. Woodworth 2008. Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? *Geophysical Research Letters* 35, L08715.

Johansson, M. M., K. K. Kahma, H. Boman ja J. Launiainen, 2004. Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environmental Research*, 9: 153-166.

Jylhä K., Kilpeläinen T., Venäläinen A., Saku S., Tuomenvirta H., Ruosteenoja K., Vajda A. (2007): Prolonged periods with little rain during summer in Finland – observations and future projections. Conference Proceedings, 5th Study Conference on BALTEX, 4-8 June 2007, 60-61.

Jylhä, K., Fronzek, S., Tuomenvirta, H., Carter, T.R. and Ruosteenoja, K. 2008: Changes in frost, snow and Baltic Sea ice by the end of the twenty-first century based on climate model projections for Europe. *Clim. Change*, 86, 441-462.

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. ja Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistukimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. (The changing climate in Finland: estimates for adaptation studies. ACCLIM project report 2009.) Ilmatieteen laitos, Raportteja 2009:4, 102. (In Finnish, abstract, extended abstract and captions for figures and tables also in English)

Kahma, K., Pettersson, H., Boman, H. ja Seinä, A. 1998. Alimmat suositeltavat rakennuskorkeudet Pohjanlahden, Saaristomeren ja Suomenlahden rannikoilla. Merentutkimuslaitos 1998.

Kasvio, P. 2008. Espoonjoen suojelusuunnitelma. Espoon ympäristökeskuksen monistesarja 5/2008. Espoon ympäristökeskus. Espoo. 94 s.

Katsman, C. A., W. Hazeleger, S. S. Drijfhout, G. J. van Oldenborgh, and G. Burgers 2008. Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt. *Climatic Change* 91 (3-4): 351-374.

Keil, C., A. Tafferner and H. Mannstein 2003. Evaluating High Resolution Model Forecasts of European Winter Storms by Use of Satellite and Radar Observations, Weather and Forecasting, 18, 732-747.

Kellomäki, S., Strandman, H., Nuutinen, T., Peltola, H., Korhonen, K.T. ja Väisänen, H. 2006. Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. FINADAPT Working Paper 4, Finnish Environment Institute Mimeo-graphs 334, Helsinki. 44 s.

Kersalo J. 2007. Maakuntien ilmasto: Uusimaa ja Itä-Uusimaa. Ilmastokatsaus 9/2007, Ilmatieteen laitos, s. 12-14.

Kersalo J. ja Pirinen P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2009:8. 192 s.

Kilpeläinen, T. 2006. Kesäsateiden ilmastolliset piirteet Helsingin Kaisaniemessä 1951-2000. Helsingin yliopisto, Pro gradu, 75 s.

Kilpeläinen, T., Tuomenvirta, H. & Jylhä, K. 2008. Climatological characteristics of summer precipitation in Helsinki during the period 1951-2000. *Boreal Env. Res.* 13: 67-80.

Kilpeläinen, T. 2006. Kesäsateiden ilmastolliset piirteet Helsingin Kaisaniemessä 1951-2000. Helsingin yliopisto, Pro gradu, 75s.

Kirkinen, J., Martikainen, A., Holttinen, H., Savolainen, I., Auvinen, O. ja Syri, S. 2006. Impacts on the energy sector and adaptation of the electricity network business under a changing climate in Finland. FINADAPT Working Paper 10, Finnish Environment Institute Mimeo-graphs 340, Helsinki. 36 s.

Kohl, J. 2009. Avauksia ilmastomuutoksen sosiaalisista vaikutuksista. Teoksessa Taimio, H. (toim.): Kestävään kasvuun ja hyvinvointiin. Työväen Sivistysliitto. Helsinki. s. 116-132.

Kuismanen, K. 2008. Climate-conscious architecture. Design and wind testing method for climates in change. Väitöskirja. Teknillinen tiedekunta. Oulun yliopisto. Universitatis Ouluensis C 307. Oulu. 404 s. + liitteet.

Laki poikkeuksellisten tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta 18.3.1983/284.

Lanki, T. & Pekkanen, J., 2008. Kaupunki-ilman hiukkaset ja sydänsairaudet. *Suomen Lääkärehti* 11/2008, 159 -1065.

Launiainen, J., Perttilä, M. ja Lumiaro, R. 2008. Ilmastomuutos vaikuttaa Itämereen. Itämeriportaali. Saatavilla Internetistä: http://www.fimrfi.fi/tietoa/ilmastonmuutos/fi_FI/ilmastonmuutos_vaikuttaa/. Luettu 15.10.2009.

Leckebush, G.C. and Ulbrich, U. 2004. On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change. *Global Planet. Change*, 44, 181-193.

Leckebush, G.C., Donat, M., Ulbrich, U. and Pinto, J.G. 2008. Mid-latitude Cyclones and Storms in an Ensemble of European AOGCMs under ACC. *Clivar Exchanges*, Vol. 13(3).

Liikenne- ja viestintäministeriö 2009. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020. Ohjelmia ja strategioita 2/2009. Edita Prima Oy: Helsinki. 47 s. + liitteet. Saatavilla Internetistä: http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=440554&name=DLFE-8040.pdf&title=Ohjelma%20ja%20strategioita%202-2009. Luettu 13.11.2009.

LUMONET 2005. Ilmastomuutoksen vaikutukset biodiversiteettiin. Saatavilla Internetistä: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=16135&lan=fii>. Luettu 16.10.2009.

Mankkinen, T. 2009. Climate Change – Security and Safety. Esitys Nordic Climate Change Adaptation: Linking Theory and Practice -työpajassa, 3.-4-9-2009, Norrköping. <http://www.iss.uio.no/gammelt/forskning/plan/en/news/2009-09-09.html>

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 metsätalousministeriön julkaisuja 1/2005. Vammalan Kirjapaino Oy: Vammala. 273 s. + liite. Saatavilla Internetistä: http://www.wb.mmm.fi/julkaisut/julkaisusarja/2005/MMM_julkaisu2005_1.pdf. Luettu 6.10.1009.

McMichael, A. ja Bertollini, R. 2009. Effects of Climate Change on Human Health and Well-Being. 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.

Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver, and Z.-C. Zhao 2007a. Global Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J. F. B., Stouffer, R. J. and Taylor, K.E. 2007b. The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. *Bull. Amer. Soc.*, 88, 1383-1394.

Meier, H.E.M. 2006. Baltic Sea climate in the late twenty-first century: a dynamical downscaling approach using two global models and two emission scenarios. *Climate Dynamics*, 27, 39-68.

Meier, H. E. M., R. Döscher ja A. Halkka, 2004. Simulated distributions of Baltic Sea-ice in warming climate and consequences for the winter habitat of the Baltic ringed seal. *Ambio* 33: 249-256.

Merenkulkulaitos 2009. Ilmastomuutoksen vaikutukset Merenkulkulaitoksen toimintaan ja ilmastomuutokseen sopeutumisen edellyttämät toimenpiteet. Merenkulkulaitoksen sisäisiä julkaisuja 3/2009. Helsinki. 38 s. + liitteet. Saatavilla Internetistä: http://www.gaia.fi/files/412/Ilmastomuutosselvitys.MKL_julkaisu.3.4.2009.pdf. Luettu 17.11.2009.

Neitiniemi-Upola, L., Venäläinen, A. ja Pimenoff, N. 2009. Ilmatietoja ja -skenaarioita pääkaupunkiseudun ilmastomuutoksen sopeutumishjelmaa varten. Ilmatieteenlaitos. 20 s.

Nevanlinna, H. (toim.) 2008 Muutamme ilmastoa. Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden katsaus ilmastomuutokseen. 237 s. Karttakeskus.

Nielsen, N. W., and Sass, B. H. 2003: A numerical, high resolution study of the life cycle of the severe storm over Denmark on 3 December 1999, *Tellus*, 55A, 4, 338-351.

Niemi, J., Malkki, M., Myllynen, M., Lounasheimo, J., Kousa, A., Julkunen, A., Koskentalo, T., 2009. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2008. YTV:n julkaisuja 15/2009. YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, Helsinki.

Näyhä, S. 2005. Environmental temperature and mortality. *International Journal of Circumpolar Health* 64 (5): 451-458.

Pajunen, V., Männynsalo, J. ja Lahti, K. 2009. Vantaanjoen ja sen sivujojen riskikartoitus. Julkaisu 63/2009. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 67 s. + liitteet.

Pelin, T. 2001. Ilmastomuutoksen vaikutukset pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:15. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV). Helsinki. 59 s.

Peltonen, L., Haanpää, S. ja Lehtonen, S. 2005. The challenge of climate change adaptation in urban planning. FINADAPT-työraportti 13. Suomen ympäristökeskuksen moniste 343. Edita Prima Oy: Helsinki. 49 s.

Perrels, A., Rajala, R. ja Honkatukia, J. 2005. Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland. FINADAPT-työraportti 12. Suomen ympäristökeskuksen moniste 342. Edita Prima Oy: Helsinki. 35 s.

Pfeffer, W. T., J. T. Harper, and S. O'Neel 2008. Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise. *Science* 321 (5894), 1340-1343.

Pinto, J.G., E.L. Fröhlich, G.C. Leckebusch, and Ulbrich, U. 2007. Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MP1-OM1 GCM. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 165-175.

Porin kaupunkitiluva 12.8.2007. Työryhmän loppuraportti 7.8.2008. 38s. + liitteet. Saatavilla Internetistä: <http://www.pori.fi/rak/rak1/katuinfo/Tulvaraportti-lausunnonle.pdf>. Luettu 12.10.2009.

Puolustusministeriö 2006. Turvallisesti tulevaisuuteen. Puolustusministeriön strategia 2025. Kirjapaino Keili Oy. 23 s. Saatavilla Internetistä: http://www.defmin.fi/files/673/PLM_-_Strategia_2025.pdf. Luettu 9.11.2009.

Pöyry, J. ja Toivonen, H. 2005. Climate change adaptation and biological diversity. FINADAPT-työraportti 3. Suomen ympäristökeskuksen moniste 333. Edita Prima Oy: Helsinki. 46 s.

Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. ja Mannerkoski, I. (toim). 2001. Suomen lajien uhanalaisuus 2000. Uhanalaisten lajien II seurantaryhmä. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 432 s.

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.

Ridley, J. K., P. Huybrechts, J. M. Gregory ja J. A. Lowe, 2005. Elimination of the Greenland ice sheet in a high CO2 climate. *Journal of Climate*, 18: 3409-3427.

Rummukainen, M. ja Källén E. 2009. Ny klimatvetenskap 2006-2009. Kommissionen för hållbar utveckling, Regeringskansliet. 69 s.

Ruokolainen, L. and J. Räisänen, 2007. Probabilistic forecasts of near-term climate change: sensitivity to adjustment of simulated variability and choice of baseline period. *Tellus*, 59A, 309-320.

Ruosteenoja, K. 2007. Maailmanlaajuisiin malleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. Saatavilla Ilmatieteen laitoksen www.sivuilla. http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuvat/acclim_Itila_sadeskenaariot_verkko.pdf [25.9.2007]

Ruosteenoja, K. 2009a. Kuumien päivien yleistyminen ilmaston lämmetessä. Katsaus julkaistu verkko-osoitteessa http://www.fmi.fi/kuvat/acclim_hellepaivat.pdf

Ruosteenoja, K. 2009b. Roudan paksaus lumettomilla alueilla ilmaston lämmetessä. Katsaus julkaistu verkko-osoitteessa http://www.fmi.fi/kuvat/acclim_routaskenaario.pdf

Ruuhela, R., Hiltunen, L., Venäläinen, A., Pirinen, P. ja Partonen, T. 2009. Climate impact on suicide rates in Finland from 1971 to 2003. *International Journal of Biometeorology* 53: 167-175.

Ruuhela, R., Ruotsalainen, J., Kangas, M., Aschan, C., Rajamäki, E., Hirvonen, M. ja Mannelin, T. 2005. Jaloin. Kelimallin kehittäminen talvijalankulun turvallisuuden parantamiseksi. Loppuraportti. Ilmatieteenlaitos ja Työterveyslaitos. Edita Oyj: Helsinki. 46 s. + liite.

Rytönen, M., Raatikka, V.-P. Näyhä, S., Hassi, J. 2005. Kylmälle altistuminen ja kylmäoireet. *Duodecim*, 121: 419-23.

Räisänen, J. and L. Ruokolainen 2006. Probabilistic forecasts of near-term climate change based on a resampling ensemble technique. *Tellus* A 58 (4), 461-472.

Räisänen, J. 2009. Oliko vuoden 2008 lämpimyyks poikkeuksellista? Ilmastokatsaus 12/2008, Ilmatieteen laitos, s. 3.

Saarelainen, S. 2006. Climate change and the risks to the built environment. FINADAPT-työraportti 9. Suomen ympäristökeskuksen moniste 339. Edita Prima Oy: Helsinki. 28 s.

Saarelainen, S. ja Makkonen, L. 2008. Ilmastomuutokseen sopeutuminen radanpidossa. Esiselvitys. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 16/2008. Kopijyvä Oy: Kuopio. 46 s. + liitteet. Saatavilla Internetistä: http://www.rhk.fi/tietopalvelu/julkaisut/a-sarjan_julkaisut/?x37651=2481398. Luettu 17.11.2009.

Sievänen, T., Tervo, K., Neuvonen, M., Pouta, E., Saarinen, J. ja Peltonen, A. 2005. Nature-based tourism, outdoor recreation and adaptation to climate change. FINADAPT-työraportti 11. Suomen ympäristökeskuksen moniste 341. Edita Prima Oy: Helsinki. 42 s.

Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., arosilta, A., Dubrovnik, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalpori, I., Suomalainen, M. ja Veijalainen, N. 2006. Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute Mimeo-graphs 336, Helsinki. 52 s.

Sisäasiainministeriö 2008. Turvallinen elämä jokaiselle. Sisäisen turvallisuuden ohjelma. Sisäasiainministeriön julkaisuja 16/2008. Sisäasiainministeriö. 76 s.

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

STKL 2008. Ilmasto- ja energiapolitiittisen tulevaisuusselonteon sidosryhmäpaneelien 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/258598-1243892418318/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_vaikutus_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., Barring,L. 2009. Extremes temperatures and enthalpy in Finland, Sweden in a changing climate. Pohjoismainen ydinturvallisuustutkimus, NKS-194, 36s.

Venäläinen, A., S. 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/ilmastoselvitys_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 sopeutumisstrategian 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 kauteen 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 kuuman jakson kesto aika: 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 kauteen 2020-2049 A1B-skenaarion mukaan	23
Kuva 18.	Suomen keskimääräinen sademäärä eri kuukausina Suomessa vuosina 1961-1990 (havaittu) sekä arvio tulevasta keskimääräisestä vuotuisesta kulusta 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 kokonaispilvisyyden muutos Keski-Suomessa vuoden eri kuukausina; verrattu jaksoa 2070-2099 jaksoon 1971-2000	25
Kuva 22.	Lumipeitepäivien keskimääräisen vuotuisen lukumäärän muutos (%) kaudesta 1961-1990 kauteen 2071-2100	25
Kuva 23.	Nollarajan ohituspäivien muutos kaudesta 1971-2000 kauteen 2071-2100 A2-skenaarion toteutuessa	26
Kuva 24.	Valtameren pinnan noususkenaarioita 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) joulu-helmikuussa 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-vuotisjakson 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 kallioiselle 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 alkuajajankohdat	15
Taulukko 4.	Eri todennäköisyytstasoja 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 referenssijaksoon nähden	48
Taulukko 3.	Myllymäen tulvien muuttuminen jaksoilla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijaksoon nähden	48
Taulukko 4.	Hanalan tulvien muuttuminen jaksoilla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijaksoon nähden	48
Taulukko 5.	Lepsämäenjoen tulvien muuttuminen jaksoilla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijaksoon nähden	49
Taulukko 6.	Vantaanjoen kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttuminen vedenkorkeuksien osalta jaksoilla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijaksoon 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 referenssijaksoon nähden	51
Taulukko 9.	Espoonjoen kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttuminen vedenkorkeuksien osalta jaksoilla 2011-40, 2041-70 ja 2071-2100 referenssijaksoon 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.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön	59
Taulukko 2.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennuksiin ja rakenteisiin	60
Taulukko 3.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesihuoltoon	61
Taulukko 4.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset jätehuoltoon	61
Taulukko 5.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset energianhuoltoon ...	62
Taulukko 6.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset tieverkostoon ja liikenteeseen	63
Taulukko 7.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset raideliikenteeseen	64
Taulukko 8.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset merenkulkuun ja satamiin	65
Taulukko 9.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset tietoliikenteeseen...	65
Taulukko 10.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset luonnon monimuotoisuudelle	66
Taulukko 11.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset kulttuuriympäristölle	67
Taulukko 12.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset Itämereen	68
Taulukko 13.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesistö- ja rannikkoalueille.....	69
Taulukko 14.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset fyysiseen ja henkiseen terveyteen.....	71
Taulukko 15.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset virkistykseen ja vapaa-aikaan	72
Taulukko 16.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset eri ryhmiin ja huono-osaisuuteen	73
Taulukko 17.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset työhön ja talouteen	74
Taulukko 18.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset turvallisuuteen.....	76
Taulukko 19.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset muuhun maailmaan ja Suomeen.....	77

Liite

OLEMASSA OLEVIA ILMASTONMUUTOKSEEN SOPEUTUMISEEN LIITTYVIÄ OHJELMIA JA SÄÄDÖKSIÄ

1. EU

1.1. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Valkoinen kirja 2009

Euroopan yhteisöjen komissio. Ilmastonmuutokseen 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>

Ilmastonmuutokseen sopeutumisen valkoinen kirja luo yleispiirteisen puiteohjelman EU-maiden haavoittuvuuden vähentämiseksi ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Ohjelman tarkoituksena on, että vaiheessa 1 (2009–2012) luodaan perusta ilmastonmuutokseen 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, kulttuuriperinnölle 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 vakuutusksymyksiä. Jäsenmaiden on vuoteen 2015 mennessä valmistettava tulvariskien hallintasuunnitelmat.

1.3. Ennakkovaroitusjärjestelmät

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. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen yleisesti

Ilmastonmuutoksen 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. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 1/2005. Vammalan Kirjapaino Oy: Vammala. 273 s. +liite.

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

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

2.2. Tulvat ja hulevedet

Ehdotus tulvariskien hallinnasta annettavaksi laiksi

Maa- ja metsätalousministeriö 2009. Ehdotus hallituksen esitykseksi tulvariskien hallinnasta annettavaksi laiksi ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi. 20.8.2009.

http://www.mmm.fi/attachments/mmm/lausuntopyynnnot/5JbLKXMyt/Ehdotus_HE_laiksi__tulvariskien_hallinnasta_ym_200809.pdf

Tulvariskien hallinta kuuluu maa- ja metsätalousministeriön toimialaan. MMM:n Internet-sivuilta http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/vesivarat/tulvien_torjunta.html löytyy ajankohtaista tietoa tulvariskien hallinnasta. Jatkossa tulvariskien hallintaa ohjaa EU:n direktiivi tulvariskien arvioinnista ja hallinnasta.

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://wwwymparisto.fi/default.asp?contentid=316780&lan=fi>

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

Suurtulvatyöryhmän loppuraportti

Maa- ja metsätalousministeriö 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 asetus 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 metsätalousministeriön asetus tulvavahinkokorvauksista ja arviointiperusteista 13.11.2008/ 698.

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

Laissa säädetään tulvien aiheuttamien vahinkojen korvaamisesta. Maa- ja metsätalousministeriö myöntää asetuksella vuosittain tulvavahinkojen korvaukset kuntakohtaisesti. Poikkeuksellisenä pidetään yleensä tulvaa, joka esiintyy kerran 20 vuodessa tai harvemmin, eli poikkeuksia lukuun ottamatta tätä useammin esiintyvien tulvien aiheuttamia vahinkoja ei korvata. Korvaukset koskevat vain vesistöistä aiheutuvia tulvia, joten rankkasateiden aiheuttamien taajamatulvien vahinkoja ei tämän lain nojalla korvata. Suomessa yksityishenkilöiden ei ole mahdollista ottaa vakuutusta tulvan varalle.

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.

2.3. Rannikkoalueet Suomen rannikkostrategia Hanhijärvi, J. 2006. Kestävästi rannikolla. Suomen rannikkostrategia. Suomen ympäristö 15/2006, Luonnonvarat, Ympäristöministeriö, s. 60. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=188665&lan=fi Suomen rannikkostrategia valmistui kesällä 2006. Strategialla pyritään turvaamaan rannikkoalueiden elinvoimaisuus ja luonnon monimuotoisuus lähinnä soveltamalla jo olemassa olevia ohjausvälineitä suosituksen periaatteiden mukaisesti. Strategian lähtökohtana ovat kuitenkin Suomen rannikkoalueiden omat erityisolosuhteet ja haasteet. Strategiassa todetaan, että ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat oletettavasti selkeästi esiin juuri rannikkoalueilla. Vaikutusten selvittäminen ja niihin varautuminen on välttämätöntä. Rannikkoalueilla ilmastonmuutos lisää tulvariskiä ja myrskyisyyttä, ohentaa jääpeitettä ja nostaa meriveden lämpötilaa ja nostaa merenpintaa. Poikkeuksellisilla tilanteilla on selvä vaikutus myös vesistöjen kuormitukseen ja sitä kautta Itämeren tilaan.

2.4. Väylät ja verkostot Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020 Liikenne- ja viestintäministeriö 2009. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020. Ohjelmia ja strategioita 2/2009. Edita Prima Oy: Helsinki. 47 s. +liitteet. http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=440554&name=DLFE-8040.pdf&title=Ohjelmia%20ja%20strategioita%202-2009 Ohjelmassa on selvitetty liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan kasvihuonekaasupäästöjen määrät ja lähteet sekä laadittu toimenpiteitä kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi. Ohjelmassa on myös selvitetty ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sen pohjalta esitetty sopeutumistoimenpiteitä LVM:n hallinnonalalle.

Merenkulku Ilmastonmuutoksen vaikutukset Merenkulkulaitoksen toimintaan ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen edellyttämät toimenpiteet. Merenkulkulaitos 2009. Merenkulkulaitoksen sisäisiä julkaisuja 3/2009. Helsinki. 38 s. +liitteet. http://www.gai.fi/files/412/Ilmastomuutos selvitys.MKL_julkaisu.3.4.2009.pdf Julkaisussa on selvitetty ilmastonmuutoksen vaikutuksia, arvioitu ilmastonmuutoksen riskejä merenkululle sekä esitetty sopeutumistarpeita Merenkulkulaitoksen toimintaan.
--

Rautatiet Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa. Esiselvitys. Saarelainen, S. ja Makkonen, L. 2008. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 16/2008. Kopijyvä Oy: Kuopio. 46 s. +liitteet. http://www.rhk.fi/tietopalvelu/julkaisut/a-sarjan_julkaisut/?x37651=2481398.
--

Selvityksessä on arvioitu ilmastonmuutoksen vaikutuksia raideliikenteeseen ja ratarakenteisiin sekä esitetty toimenpiteitä vaikutuksiin sopeutumiseksi. Varautumisessa keskeistä on varoitujärjestelmien kehittäminen, onnettomuuksien ehkäiseminen, riskienhallinta, turvallisuuden kannalta keskeisten rakenteiden ja laitteiden suojaaminen sekä teknisten ohjeistuksien kehittäminen.
--

Tienpito Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Tiehallinto 2009. Tiehallinnon selvityksiä 8/2009. Tiehallinto, Helsinki. http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201122-v-ilmastonmuutoksen_vaikutus_kunnossapitoon.pdf
--

Työn on selvitetty kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa tiestön hoitoon ja ylläpitoon, arvioitu muutosten kustannusvaikutuksia sekä esitetty suosituksia tienpidon muutoksiksi. Tulokset perustuvat kirjallisuusselvitykseen, kahden lämpimän talven (2006 - 2007 ja 2007 -2008) vaikutusten analysointiinsekä asiantuntija-arvioihin. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tienpidossa. Esiselvitys. Saarelainen, S. ja Makkonen, L. 2007. Tiehallinnon selvityksiä 4/2007, Tiehallinto, Helsinki. http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3201029-v-ilmastonmuutokseen_sopeutuminen_tienpidossa.pdf Selvityksessä arvioidaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia teihin ja tienpitoon sekä esitetään tehtäviä Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautumiseksi tienpidossa ja liikenteessä.

2.5. Maankäyttö ja rakentaminen Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet Ympäristöministeriö 2009. Tulevaisuuden alueiden käytöstä päätetään nyt. Tarkistetut valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. 19 s. http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=98972&lan=fi Tarkistetuissa valtakunnallisissa alueidenkäyttötavoitteissa tavoitteena on ilmastonmuutokseen sopeutumisen huomiointi maankäytössä.
--

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla Ympäristöministeriö 2008. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelma ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian toteuttamiseksi. Ympäristöministeriön raportteja 20/2008, Ympäristöministeriö, 73 s. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=284548&lan=fi&clan=fi

Ympäristöhallinnon toimintaohjelma sisältää konkreettisia toimenpiteitä, joita ympäristöhallinnossa tulisi toteuttaa liittyen luonnon monimuotoisuuteen, alueidenkäyttöön ja rakentamiseen, ympäristönsuojeluun sekä vesivarojen käyttöön ja hoitoon. Lähtökohtana on ilmastonmuutokseen sopeutumisen näkökulman sisällyttäminen ympäristöhallinnon toimintaan. Rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=338172&lan=FI#a1 Rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat velvoittavia. Mukana on myös velvoittamattomia ohjeita. Ilmastonmuutokseen varautumisen kannalta keskeisiä ovat osiot B3 (pohjarakenteet), C2 (kosteus), C4 (lämmöneristys) ja D1 (kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot).

2.6. Vesihuolto Vesihuollon erityistilanteet ja niihin varautuminen Vikman, H. ja Arosilta, A. (toim.) 2006. Vesihuollon erityistilanteet ja niihin varautuminen. Ympäristöopas 128, Luonto ja luonnonvarat. Maa- ja metsätalousministeriö, Huoltovarmuuskeskus, Ympäristöministeriö. http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=50713

Opas on osa Maa- ja metsätalousministeriön 27.2.2004 asettaman työryhmän (vesihuollon erityistilannetyöryhmä) työtä. Työryhmän tuli laatia ehdotukset toimenpidesuosituksiksi vesihuollon erityistilanteiden varalta, oppaaksi vesihuollon erityistilanteisiin varautumisesta ja vesihuoltolaitosten kriisiluokituksen kehittämiseksi. Työryhmä selvitti erityisesti nykyisen varautumisen riittävyyttä, eri toimijoiden valmiuksia vesihuoltopalvelujen turvaamiseksi erityistilanteissa sekä säädösten uusimistarvetta. Työryhmän tuli myös tarkastella tarvetta kehittää yleistä valmiussuunnitelua vesihuollon osalta sekä arvioida toimenpiteiden toteuttamisesta aiheutuvat henkilöstövoimavara- ja rahoitustarpeet.

Vesihuollon erityistilannetyöryhmän loppuraportti Maa- ja metsätalousministeriö 2005. Vesihuollon erityistilannetyöryhmän loppuraportti. Ehdotukset toimenpiteiksi vesihuollon varautumisen kehittämiseksi. Työryhmämuistio MMM 2005:7, Helsinki 2005. http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/trm2005_7.pdf
--

2.7. Ympäristö Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla 2008. YMrä20/2008 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelma ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian toteuttamiseksi. Ympäristöministeriön raportteja 20/2008, Ympäristöministeriö, 73 s. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=284548&lan=fi&clan=fi
--

2.8. Turvallisuus Sisäisen turvallisuuden ohjelma Sisäasiainministeriö 2008. Turvallinen elämä jokaiselle. Sisäisen turvallisuuden ohjelma. Valtioneuvoston yleisistunto 8.5.2008. Sisäinen turvallisuus, Sisäasiainministeriön julkaisuja 16/2008. http://www.intermin.fi/intermin/hankkeet/turva/home.nsf/files/162008/\$file/162008.pdf Valtioneuvosto teki periaatepäätöksen sisäisen turvallisuuden ohjelmaksi 8.5.2008. Ohjelma ulottuu vuoteen 2015. Ohjelman tavoitteena on, että Suomi on Euroopan turvalisin maa vuonna 2015. Sisäisen turvallisuuden ohjelma sisältää 74 toimenpidettä turvallisuuden ylläpitämiseksi ja parantamiseksi. Toimenpiteet perustuvat arvioon sisäisen turvallisuuden tulevista haasteista ja keskeisistä kehittämistarpeista. Ohjelman toimeenpanoa ja seurantaa koordinoi sisäasiainministeriö.

Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen strategia YETT Valtioneuvoston 23.11.2006 antama periaatepäätös Yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen strategiasta. Periaatepäätöksessä esitellään yhteiskunnan turvallisuusuhkien ennaltaehkäisyn ja torjunnan yhteistyön toimintamalli. Elintärkeät toiminnot ovat yhteiskunnan toiminnalle välttämättömiä toimintoja, joilla ylläpidetään valtiollista itsenäisyyttä, yhteiskunnan turvallisuutta ja väestön elinmahdollisuuksia. http://www.yett.fi/
--

2.9. Tutkimus Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma ISTO Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma (ISTO) on käynnistetty osana kansallista ilmastonmuutoksen sopeutumisstrategian toimeenpanoa. Tutkimusohjelman tavoitteena on tuottaa käytännön sopeutumistoi- mien suunnitteluun tarvittavaa tietoa ja edistää tiedon soveltamista käytäntöön. Tutkimusohjelma on viisivuotinen (2006-2010). Vuosina 2006-2009 ohjelmassa on rahoitettu 28 tutkimusta vuosittain noin 0,5 miljoonalla eurolla. Suurimmat rahoittajat ovat maa- ja metsätalousministeriö sekä ympäristöministeriön Ympäristöklusterin tutkimusohjelma. http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ymparisto/ilmastopolitiikka/sopeutumistutkimusohjelma.html

FINADAPT-hanke (2004-2005) FINADAPT oli kaksivuotinen tutkimushanke, jonka tavoitteena oli tutkia Suomen sopeutumista ilmastonmuutoksen mahdollisiin vaikutuksiin. Konsortioon kuului 11 tutkimuslaitosta ja tutkimukset tehtiin vuosina 2004-2005. FINADAPT käsitteli seuraavia aiheita: ilmastotieto ja skenaariot, luonnon monimuotoisuus, metsätalous, maatalous, vesivarat, terveys, liikenne, rakennettu ympäristö, energiainfrastruktuuri, matkailu ja

luonnon virkistyskäyttö, sosio-ekonominen esiselvitys, yhdyskuntasuunnitelu ja kysely avainryhmille. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=293878&lan=FI RAVAKE-hanke Ilmatieteenlaitos ja VTT: Rannkasadevaroitujärjestelmän kehittäminen (RAVAKE). Ilmatieteenlaitos ja VTT kehittävät varoitujärjestelmää RAVAKE -hankkeessa. Toukokuussa 2009 varoitujärjestelmään otettiin käyttöön varoitukset ukkopuuskiasta, maa-alueiden tuulivaroituksista sekä rannkasateista. VTT on kehittäessä varoitujärjestelmää rannkasateiden aiheuttamien kaupunkitulvien varalle. Varoitukset toimivat samalla periaatteella kuin Euroopan kattava Meteoalarm-varoitujärjestelmä. Kehitystyö jatkuu vielä vuosien 2010-2011 ajan, jolloin mm. varoitujärjestelmän varoitusaika pitenee nykyisestä ja varoitettavia ilmiöitä lisätään. http://www.fmi.fi/uutiset/index.html?A=1&Id=1243330491.html http://www.fmi.fi/uutiset/index.html?id=1256198906.html
--

Suomen tuuliatlas Ilmatieteen laitos. Suomen tuuliatlaksen, tuulienergiakartaston, avulla voidaan vertailla tuulilojen vuotuista ja kuukaussittaista vaihtelua joko koko Suomessa tai tietyillä rajatuilla alueilla. Tuloksia voidaan hyödyntää ennen kaikkea tuulienergian suunnittelussa, mutta tuuliatlas on myös kaavoituksen ja aluesuunnittelun työväline. http://www.tuuliatlas.fi
--

RATU-hanke Rannkasateet ja taajamatulvat 2008. Aaltonen, J. ym. 2008. Rannkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen ympäristö 31/2008. Suomen ympäristökeskus. Vammalan Kirjapaino Oy: Vammala. 118 s. + liite. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=304648&lan=fi&clan=fi

Raportissa on arvioitu ilmastonmuutoksen vaikutuksesta lisääntyvien rannkasateiden vaikutusta hulevesijärjestelmiin. Tarkastelussa kaksi aluetta Espoosta, Vallikallio ja Laaksolahti. Helsingin pienilmasto -selvitys Ilmatieteen laitos tekee kattavaa selvitystä siitä, miten lämpösaarekeilmiö vaikuttaa Helsingin paikallisilmastoon. Lämpösaarekeilmiöllä on Suomessa vaikutusta kaupungeissa, joissa on runsaasti rakennuskantaa, mutta myös asfaltti-, kivi- ja betonipintaa. Lämpösaarekeilmiön vuoksi erityisesti yölämpötilat jäävät korkeammiksi tiiviisti rakennetulla alueella. Lämpötilat kuitenkin vaihtelevat eri puolilla kaupunkia. Vuoden kestävä mittauskampanja alkoi heinäkuussa 2009. http://fmi.fi/uutiset/index.html?A=1&Id=1253684912.html

Ilmasto-opas.fi -hanke (CCCRP). Ilmatieteen laitos. Ilmatieteen laitos, Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Aalto yliopiston Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskus (YTK) toteuttavat yhdessä Ilmasto-opas.fi -portaalin. Ilmasto-opas.fi portaalin tarkoituksena on koota hajallaan olevaa tutkimusperäistä ilmastonmuutostietoa yhtenäiseen muotoon sekä tuottaa käytännön työkaluja kunta- ja aluetason suunnitteluun ja päätöksentekoon. Portaalin kautta voidaan tarkastella ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia paikallisella tasolla. Hanke kestää vuoden 2011 loppuun, jonka jälkeen portaalin kehittämiseen haetaan jatkorahoitusta. http://www.fmi.fi/ilmastonmuutos/viestinta_3.html

VACCIA -hanke. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen koordinoiman VACCIA -hankkeen (Luonnon tarjoamien palveluiden haavoittuvuusarviointi ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon) tavoitteena on hankkia tietoa siitä, kuinka ilmaston
--

lämpeneminen muuttaa ekosysteemipalveluja. Lisäksi hankkeessa selvitetään keinoja, joilla ihminen voi sopeuttaa toimintaansa muuttuviin olosuhteisiin ja arvioidaan kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa ilmansaasteiden kulkeutumiseen pohjoisille alueille. Hankittua tietoa välitetään kansalaisille ja päättäjille ja tarkoituksena on tukea alue- ja paikallistason suunnittelua ja päätöksentekoa. Hanke on kolmivuotinen(2009 – 2011).

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=355691&lan=Fi>

FICCA -tutkimusohjelma

Suomen akatemia on käynnistänyt monitieteisen ”Ilmastonmuutos - vaikutukset ja hallinta” -tutkimusohjelman (FICCA). Ohjelman 1. hakuun, joka toteutetaan vuoden 2010 aikana, on osoitettu 12 miljoonaa euroa. Ohjelman tutkimushankkeet toimivat pääsääntöisesti 2011-2014 aikana.

FICCA-tutkimusohjelman (Finnish research programme on Climate ChAnge) keskeisenä periaatteena on tukea sellaista monitieteistä tutkimusta, joka samanaikaisesti käsittelee sekä yhteiskunnallista että ympäristön kenttää. FICCA-tutkimusohjelma keskittyy ympäristön ja yhteiskunnan väliisiin vuorovaikutuksiin eikä kapeisiin tutkimusaiheisiin. Ohjelmalla on neljä tutkimusteemaa, joista yksi on Ympäristön ja yhteiskunnan sopeutuminen ilmastonmuutokseen ja sen vaikutuksiin.

<http://www.aka.fi/fi/A/Tiedeyhteiskunnassa/Tutkimusohjelmat/Haettavana-olevat-tutkimusohjelmat/Ilmastonmuutos-ficca/>

3. KAUPUNGIT

3.1. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen yleisesti

Selvitys ilmastonmuutokseen varautumisesta Espoossa

Soini, S. 2007. Ilmastonmuutos ja siihen varautuminen Espoossa. 27 s. + liitteet. Espoon ympäristökeskuksen monistesarja 2/2007. Espoo. Selvitys on saatavissa sivuilta: <http://www.espoo.fi/default.asp?path=i;28;11866;7969;63047>

Julkaisussa esitellään tunnistetut ilmastonmuutoksen vaikutukset Espoolle, kartoitettu laajasti nykyisiä varautumiskeinoja ja koottu eri sektoreita koskevat sopeutumistarpeet.

Astra -hanke (Towards Climate Change Adaptation Strategies in the Baltic Sea Region)

Espoo oli kumppanina Astra-hankkeessa, joka päättyi 2007. Hankkeessa kehitettiin menettelyjä, joilla kaupunkisuunnittelussa voidaan varautua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin.

Kohdealueena oli Kurttilan alue, jolle oltiin laatimassa kaavaa. Kaavoituksessa otettiin huomioon ilmastonmuutos ja sen arvioidut vaikutukset.

<http://www.astra-project.org/>

BaltCICA -hanke Helsingissä

Helsinki on kumppanina BaltCICA -hankkeessa (Climate Change: Impacts, Costs and Adaptation in the Baltic Sea Region), jossa tarkoituksena on kehittää konkreettisia sopeutumistoimia kaupungin eri toimialoille. <http://www.baltcica.org/casestudies/helsinki.html>

3.2. Tulvat ja hulevedet

Espoo

Espoonjoen suojelusuunnitelma

Kasvio, P. 2008. Espoonjoen suojelusuunnitelma. Espoon ympäristökeskuksen monistesarja 5/2008. Espoon ympäristökeskus. Espoo. 94 s. <http://www.espoo.fi/default.asp?path=i;28;11866;7969;41159;63904>

Espoonjoen suojelusuunnitelmassa on selvitetty Espoonjoen ja sen valuma-alueen ekologista tilaa sekä merkittävimpiä joen ekologiseen tilaan vaikuttavia tekijöitä. Hulevedet ovat yksi keskeinen Espoonjoen veden laatuun ja ekologiaan vaikuttavista tekijöistä. Suojelusuunnitelmassa on

laadittu kunnostus- ja hoitosuunnitelma joelle. Osa toimenpiteistä koskee hulevesien hallintaa ja hulevesien laadun parantamista.

Espoon tulvatyöryhmä

Espoon tulvatyöryhmä 2005. Tulvaongelma Espoossa. 18 s. +liitteet. <http://www.espoo.fi/default.asp?path=i;28;11866;17468;17967;78866>

Raportissa on esitetty toimenpiteitä ja vastuunjakoa tulvavaaran huomioinnottomiseksi sekä selvitetty tulvavaara-alueilla oleva rakennuskanta. Lisäksi julkaisusta löytyvät kartat tulvavaara-alueista koko Espoon alueelta. Julkaisussa on myös esitelty muutamia tulvakorvauksiin liittyviä oikeustapauksia.

Helsinki

Helsingin kaupungin tulvastrategia

Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto 2008a. Helsingin kaupungin tulvastrategia. 35 s.

http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/d637b4004f58c8e581dc17ddf57f027f/tulvastrategia1_1_2009.pdf?MOD=AJPERES

Strategiassa on esitelty ne toimenpiteet, joilla tulvista aiheutuvia vahinkoja voidaan vähentää Helsingin alueella. Strategiassa on otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset ja käsitelty erilaisia tulvatyyppejä sekä tulvien aiheuttamia riskejä. Alimmat rakentamiskorkeudet ranta-alueille rakennettaessa on määritelty ja korvauskysymyksiä ja vastuunjakoa eri tahojen osalta on käsitelty. Lisäksi strategiassa on esitelty meriveden ja Vantaanjoen pinnan nousun ennakkovarautumisjärjestelmän toimintaperiaatteet (ks. myös Helsingin kaupunki 2005) sekä erilaisten kehitystoimenpiteiden aikataulut.

Tulvakohteiden määrittely

Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2007b. Tulvakohteiden määrittely. Esiselvitys. 54 s. +liitteet.

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

Julkaisussa on kartoitettu Helsingin tulvavaarakohteet kaupunginosittain ja kiinteistöittäin sekä laadittu suunnitelmat näiden kohteiden suojelemiseksi. Liitteinä yksityiskohtaiset tulvavaarakartat kaupunginosittain sekä ehdotetut kiinteät tulvasuojelurakenteet (liitteet eivät ole tallennetussa raportissa, mutta löytyvät erikseen tallennettuina sekä Internetistä: http://www.hel.fi/wps/portal/Rakennusvirasto/Artikkeli?WCM_GLOBAL_CON-TEXT=/hkr/fi/Esitteet-tja+julkaisut

Tulvantorjuntatyöryhmän loppuraportti

Helsingin kaupunki 2005. Tulvantorjuntatyöryhmän loppuraportti. 22 s. Työryhmän laatimassa raportissa on kirjattu kaupungin organisaatioiden vastuualueet tulvatilanteessa sekä yksityiskohtaisesti selostettu tulvahälytysjärjestelmän periaatteet. Asiaa myös tulvavahinkojen estämisestä: kaavoituksen, tilapäisin ja pysyvin tulvasuojelurakentein sekä hallintokunta-kohtaisin keinoin.

Helsingin kaupungin hulevesistrategia

Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2008. Helsingin kaupungin hulevesistrategia. Rakennusviraston julkaisut 8/2009. Helsinki. 61 s. + liitteet. http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2008/hulevesistrategia_2008_9.pdf

Strategian tavoitteena ovat tulvimishaittojen poistaminen ja ehkäiseminen, pohjaveden pinnan ennallaan pitäminen, alueellisen ja paikallisen kuivatuksen varmistaminen, haitallisten aineiden minimoiminen hulevesissä sekä huleveden hyödyntäminen resurssina. Strategiassa on määritelty toimenpiteet strategian toteuttamiseksi sekä eri tahojen vastuualueet. Strategian toteuttaminen on aloitettu vuonna 2008.

Helsingin pienvesiohjelma

Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2007a. Helsingin pienvesiohjelma. Rakennusviraston julkaisut 3/2007. Katu- ja puisto-osasto. Helsinki. 165 s. + liite.

<http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/Pienvesiohjelma.pdf>

Pienvesiohjelmassa on selvitetty Helsingin pienvesien ekologista tilaa sekä laadittu periaatteita ja suosituksia rakennusviraston hallinnoimien pienvesien kunnostus- ja hoitotoimenpiteiksi. Tavoitteena on saavuttaa EU:n vesipuidedirektiivin mukainen hyvä ekologinen tila pienvesissä. Hulevesillä on merkittävä vaikutus pienvesien virtaamiin ja veden laatuun sekä sitä kautta ekologisen tilaan. Ohjelmassa on käsitelty mm. rakentamisen vaikutusta hulevesiin ja annettu suosituksia hulevesien huomioimisesta rakentamisessa.

Vantaa

Tulvakartat

Vantaanjoelle sekä hieman Vantaan puolelle ulottuvalle Keravanjoelle on laadittu tulvakartat eri esiintymistodennäköisyyksille. Ne löytyvät Internetistä: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22075&lan=fi> Kartat ovat myös tallennetussa muodossa.

Vantaanjoen tulvantorjunnan toimintasuunnitelma

Suhonen, V. ja Rantakokko, K. 2006. Vantaanjoen tulvantorjunnan toimintasuunnitelma. Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 1/2006. Uudenmaan ympäristökeskus. Helsinki. 103 s. + liitteet. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54958&lan=fi>

Suunnitelmassa on eritelty koko jokialueen riskialueet, myös Vantaan osalta. Suunnitelmassa on eritelty myös eri tahojen vastuualueet, laadittu viestintäsuunnitelma tulvatilanteessa, hahmoteltu tulvatorjunnan mahdollisuuksia Vantaanjoella sekä niiden kehittämistä. Ilmastonmuutoksen vaikutusta tulviin ei suunnitelmassa ole juurikaan huomioitu.

Hulevesiohjelma

Vantaan kaupungin kuntatekniikan keskus 2009. Hulevesiohjelma. Julkaisu C 16/2009. 31 s. +liitteet.

http://www.vantaa.fi/i_alaetusivu.asp?path=i;135;137;221;1761

Vantaan laatiman hulevesiohjelman tavoitteena on laatia yhteiset pelisäännöt koko Vantaan alueelle ja parantaa hulevesien hallintaa. Ohjelmassa mm. huomioidaan ilmastonmuutoksen vaikutukset hulevesiin sekä esitetään toimet hulevesien hallinnan parantamiseksi ja jaetaan vastuualueita kaupungin toimijoiden kesken.

Vantaan pienvesiselvitys

Vantaan kaupunki 2009. Vantaan pienvesiselvitys. Kuntatekniikan keskuksen julkaisuja 1/2009. 86 s. Vantaa. Saatavilla Internetistä:

http://www.vantaa.fi/i_perusdokumentti.asp?path=i;221;224;2112

Pienvesiselvityksen laatiminen oli yksi hulevesiohjelman tavoite. Pienvesiselvityksen tavoitteena on, että suunnittelussa ja erilaisten lupien myöntämisessä otetaan huomioon hulevesien luonnollinen käsittely.

Vantaanjoen ja sen sivujokien riskikartoitus

Pajunen, V., Männynsalo, J. ja Lahti, K. 2009. Vantaanjoen ja sen sivujokien riskikartoitus. Julkaisu 63/2009. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 67 s. +liitteet.

Vantaanjoelle laaditussa riskikartoituksessa on selvitetty joen vedenlaatua ja toimia, jotka aiheuttavat päästöriskejä Vantaanjokeen. Lisäksi on tehty valuma-alueiden kuntakohtainen riskikartoitus. Ympäristöriskejä

tarkastellaan pääasiassa teollisuuden, liikenteen ja jätevedenpuhdistamojen kannalta, mutta myös maankäytön ja erilaisten hajakuormituslähteiden kannalta.

Maankäytöllä on suora yhteys hulevesien määrään ja laatuun. Hulevedet vaikuttavat joen veden laatuun sekä lisääntyessään voivat aiheuttaa tulvia. Kartoituksessa on esitetty toimenpiteitä riskien hallitsemiseksi ja vähentämiseksi. Hulevesien ja tulvien hallitsemiseksi esitetään hulevesien huomioimista kaupunkisuunnittelussa.

Uusimaa

Vantaanjoen tulvantorjunnan toimintasuunnitelma

Suhonen, V. ja Rantakokko, K. 2006. Vantaanjoen tulvantorjunnan toimintasuunnitelma. Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 1/2006. Uudenmaan ympäristökeskus. Helsinki. 103 s. + liitteet.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54958&lan=fi>

Vantaanjoen tulvantorjunnan toimintasuunnitelma koskee Vantaan lisäksi myös Helsinkiä (Espoo on Vantaanjoen reunakunta, mutta Espoossa ei ole tulvariskikohteita). Suunnitelmassa on eritelty muiden alueiden ohella Helsingin riskikohteet. Suunnitelmassa on eritelty myös eri tahojen vastuualueet, laadittu viestintäsuunnitelma tulvatilanteessa, hahmoteltu tulvatorjunnan mahdollisuuksia Vantaanjoella sekä niiden kehittämistä.

Tulvakartat

Espoonjoen yleispiirteinen tulvan peittävyyskartta 2005. Keravanjoen alaosan yksityiskohtainen tulvakartoitus 2005. Vantaanjoen yksityiskohtainen tulvavaarakartta 2005

Pääkaupunkiseudun suurimmista joista, Espoon-, Keravan- ja Vantaanjoista on tehty tulvakartat eri tulvien esiintymistodennäköisyyksillä. Tulvakartat löytyvät Internetistä: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22075&lan=fi>

Uudenmaan yleispiirteinen tulvakartta

Uudenmaan liitto 2007. Uudenmaan yleispiirteinen tulvakartta. Uudenmaan liiton julkaisuja E 96. Helsinki. 17 s. + tulvakartat.

http://www.gsf.fi/projects/astra/sites/download/E_96_Uudenmaan_rannik-koalueiden_yleispiirteinen_tulvakartta.pdf

Julkaisussa on kartoitettu Uudenmaan alueen tulvavaara-alueet. Karttojen lisäksi julkaisussa on arvioitu tulvan alle jäävien rakennusten määrä mm. Helsingin ja Espoon osalta.

3.3. Maankäyttö ja rakentaminen

Espoo

Astra -hanke (Towards Climate Change Adaptation Strategies in the Baltic Sea Region)

Espoo oli kumppanina Astra-hankkeessa, joka päättyi 2007. Hankkeessa kehitettiin menettelyjä, joilla kaupunkisuunnittelussa voidaan varautua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Kohdealueena oli Kurttilan alue, jolle oltiin laatimassa kaavaa. Kaavoituksessa otettiin huomioon ilmastonmuutos ja sen arvioidut vaikutukset.

<http://www.astra-project.org/>

Espoon kaupungin rakennusjärjestys

Espoon kaupunki 2002. Espoon kaupungin rakennusjärjestys.

<http://www.espoo.fi/default.asp?path=i;28;11866;10526;38272;48826>

Rakennusjärjestyksessä säädetään mm. hulevesien johtamisesta (17§) ja rakentamisesta ranta-alueille (26§). Ranta-alueille rakentamisessa

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 ilmastomuutoksen 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 ilmastomuutoksen vaikutuksiin varautumisessa.

Helsinki

Rakennusviraston vaikutukset ilmastomuutokseen ja arvio sopeutumistoimista

Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 2010. Esiselvitys. Rakennusviraston vaikutukset ilmastomuutokseen sekä arvio yleisten alueiden rakentamisen ja ylläpidon sopeutumistoimista 28.1.2010. 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 julkaisut 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 +1.10 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 koskevissa määräyksissä noudatetaan oppaan ”Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumavaarat ranta-alueille rakennettaessa” (Ollila 2002) suosituksia. Oppaan suosituksissa on huomioitu ilmastomuutoksen 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 suunnittelussa. 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 tarkoitus 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_aletusivu.asp?path=1;135;137;72125

Vantaan kaupungin, Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen, Itä-Uudenmaan pelastuslaitoksen ja Vantaan seurakuntayhtymän yhteistyössä laaditun turvallisuussuunnitelman tavoitteena on lisätä mm. liikenteen ja ympäristöturvallisuuden 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 (Ilmastomuutos Helsingin seudulla - hillintä ja sopeutuminen) 2009-2011, <http://www.hsy.fi/julia2030/Sivut/Julia2030etusivu.aspx>

Wahlgren, I., Kuismanen, K. ja Makkonen, L. 2007. VTT. Sörnäistenranta-Hermanninranta -osayleiskaava. Ilmastomuutoksen huomioonottaminen. VTT:n tutkimusraportti VTT-R-00471-07. Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto ja VTT. 48 s. +liitteet. Saatavilla Internetistä: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_Ilmastomuutos_kaavoitus_Kalasatama.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 määritelty alimmat rakentamiskorkeudet, joista säädetään mm. rakennusjärjestyksessä (ks. Helsingin kaupunki 2000). Lisäksi rankkasade-tulvat ja hulevesien johtaminen on huomioitu rakentamisen korkotasossa, alueiden kuivatuksessa sekä kunnallistekniikassa. Kruunuvuorenrannan ja Jätkäsaaren osalta on huomioitu myös tuulisuusvaikutukset, Jätkäsaarella aallokon vaikutukset ja Kalasataman osalta on laadittu selvitys ilmastomuutoksen vaikutuksista ja annettu suunnitteluohjeita 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