



Tiina Ala-Outinen, Irmeli Harmaajärvi, Harri Kivikoski, Ilpo Kouhia, Lasse Makkonen, Seppo Saarelainen, Markku Tuhola & Jouko Törnqvist

Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön

Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön

Tiina Ala-Outinen, Irmeli Harmaajärvi, Harri Kivikoski,
Ilpo Kouhia, Lasse Makkonen, Seppo Saarelainen,
Markku Tuhola & Jouko Törnqvist

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6460-X (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6461-8 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2004

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Puumiehenkuja 2 A, PL 1806, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7027

VTT Bygg och Transport, Träkarlsgränden 2 A, PB 1806, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7027

VTT Building and Transport, Puumiehenkuja 2 A, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7027

Toimitus Maini Manninen

Otamedia Oy, Espoo 2004

Ala-Outinen, Tiina, Harmaajärvi, Irmeli, Kivikoski, Harri, Kouhia, Ilpo, Makkonen, Lasse, Saarelainen, Seppo, Tuhola, Markku & Törnqvist, Jouko. Ilmastomuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön [Impacts of climate change on the built environment]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2227. 83 s. + liitt. 6 s.

Avainsanat climate change, environmental impacts, built environment, temperature, rainfall, snowfall, sea level, wind conditions, construction industry, urban planning

Tiivistelmä

Ilmastotutkijoiden mukaan ilman keskilämpötila Suomessa tulee todennäköisesti nousemaan neljä astetta lähimmän sadan vuoden aikana. Keskilämpötilan nousuun liittyy muutoksia esimerkiksi lumipeitteen ja meren jääpeitteen kestoajoissa sekä meriveden lämpötiloissa. Ennustetut sademäärän muutokset Suomessa ovat suuria, varsinkin syksyllä. Ääri-ilmiöiden, kuten myrskyjen ja rankkasateiden sekä pitkien kuivien tai kosteiden jaksojen, todennäköisyys kasvaa.

Rakennukset suunnitellaan yleensä ainakin 50–100 vuoden käyttöikä varten. Nykyisissä rakennusnormeissa, esimerkiksi Eurocode-ohjeissa, sääilmiöiden aiheuttamat tilastolliset äärikuormat määritellään 50 vuoden toistuvuusajan perusteella. Ne puolestaan perustuvat yleensä ilmastodataan nykyhetkeä edeltävältä 30 vuoden ajanjaksolta. Siten tuleva ilmastomuutos olisi jo nyt otettava huomioon rakennusten ja yhdyskuntien suunnittelussa sekä käyttöikään liittyvissä tarkasteluissa. Myös olemassa olevan rakennuskannan säilymisestä tulevaisuudessa olisi huolehdittava. Varautumalla ilmastomuutokseen etukäteen sen kielteisiä vaikutuksia voidaan pienentää ja myönteisiä vaikutuksia hyödyntää.

Lumettomien alueiden keskimääräisten talvien roudan syvyydet pienenisivät noin 0,5–1,0 m nykyisestä. Etelärannikolla useammin kuin joka toinen vuosi routaa ei olisi käytännössä ollenkaan. Routasuojaus on tulevaisuudessakin tarpeen koko maassa, mutta tarkennuksia routasuojauksen paksuuteen voidaan tehdä.

Taajamatulvien esiintymistodennäköisyys kasvaa. Talvisateiden lisääntyessä ja maanpinnan ollessa jäässä pintavirtaukset lisääntyvät, jolloin sadevesiviemärien kuormitus kasvaa. Myös rankkasateilla sadevesiviemäriverkosto ylikuormittuu, tonteilta huuhtoutuvien vesien pääsy verkostoon estyy sekä kellarien ja tonttien tulvehtimisriski kasvaa. Tulvimisen aiheuttamien riskien torjumiseksi sadevesiviemäroinnin uusimis- ja saneeraus tarve lisääntyy. Jos tulvat leviävät alueilla, jossa on ympäristölle vaarallisia aineita, nämä voivat levitä ympäristöön. Lisääntyneiden sateiden takia eroosiota ja sortumia voi tulevaisuudessa tapahtua aiempaa matalimmilla korkeustasoilla.

Pohjaveden pinta tulee nousemaan sademäärien kasvaessa, lumen lisääntyneen sulannan takia ja maapohjan ollessa talvisin pidempiä aikoja sulana. Maan vesipitoisuuden kas-

vaessa maan lujuus pienenee ja kantavuus alenee. Kuivuuden lisääntyminen kesällä yhdessä puiden aiheuttaman maaperän kuivumisen kanssa voi saada aikaan pohjavedenpinnan alentumista. Siitä voi edelleen aiheutua savimaapohjilla painumisen seurauksena putkirikkoja. Tulevaisuudessa on syytä varautua painumaeroihin putkijohtoja asennettaessa.

Sateiden lisääntyminen lisää rakennusten ulkopintojen kosteuskuormaa. Viistosade lisää seinärakenteille ja ikkunoille tulevaa rasitusta. Erityisesti huokoisten materiaalien kostehaitat sekä esteettiset haitat lisääntyvät. Myös toistuvat 0 °C -ohituskerrat lisäävät seinärakenteille tulevaa rasitusta. Tästä seuraa, että ulkoverhouskäyttöikä lyhenee tai huollon tarve lisääntyy. Ulkoverhousmateriaalien tulisi olla paremmin kosteutta ja tuulisuutta kestäviä. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta muuttuu lämpötilan kohotessa. Pakkasajanjaksojen lyhentyessä seinärakenteiden olosuhteet paranevat lukuun ottamatta ulkoverhouksia. Rakennusmateriaalien tasapainokosteus alenee lämpötilan kohotessa, jos suhteellinen kosteus ei muutu.

Talvien lämpeneminen helpottaa betonointia ja perustustöitä. Vetenä tulevien sateiden lisääntyessä talvisaikaan rakenteiden kuivattamisesta aiheutuu lisäkustannuksia ja rakenteiden vaurioitumisriski kasvaa. Toistuvat sulamis- ja jäätymisvaihtelut lisäävät kunnossapidon tarvetta myös rakennustyömailla sekä aiheuttavat rakennusmateriaalien säilytykselle lisävaatimuksia.

Kaavoituksessa tulisi varautua ilmastonmuutoksen vuoksi erityisesti tulviin, tuulisuuden, rankkasateiden ja myrskyjen lisääntymiseen, sadannan kasvuun, maan kosteuden ja pohjavesiolosuhteiden muutoksiin, eroosion ja sortumariskin lisääntymiseen sekä jäätymisolosuhteiden muutoksiin. Muutoksiin voidaan varautua selvittämällä ja rajaamalla rakentamisen ulkopuolelle tulvariskialueita, rajoittamalla kaavamääräyksillä rakentamista riskialueille, määräämällä rakentamisen minimikorkeustaso vedenpinnasta, kiinnittämällä erityistä huomiota pienilmastoon, maastoon ja maaperään, sijoittamalla rakennukset tuulisuuden minimoimiseksi ja välttämällä rakennusten ja verkostojen sijoittamista huonolle maaperälle. Tuulisuutta ja maaperää koskevien selvitysten tarve lisääntyy. Suunnittelu- ja arviointimenetelmiä tulisi kehittää ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi.

Ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi voidaan antaa suunnittelusuosituksia eri kaavatasoille sekä tarvittaessa laatia täydennyksiä säädöksiin, kuten maankäyttö- ja rakennuslakiin ja -asetukseen sekä kuntien rakennusjärjestyksiin. Täydennykset voivat koskea esimerkiksi tulvariskialueiden määrittelyä, rakentamisrajoituksia riskialueille, pienilmaston, maaston ja maaperän huomioon ottamista, sade- ja pintavesien johtamista, rantarakentamista, rakennuspaikalle asetettavia vaatimuksia, rakennuksen etäisyyttä rantaviivasta ja vesistöistä ja rakennuksen korkeusasemaa ranta-alueella. Lisäselvityksiä ja tutkimusta tarvitaan riskien, suojaustasojen yms. määrittelemiseksi.

Ala-Outinen, Tiina, Harmaajärvi, Irmeli, Kivikoski, Harri, Kouhia, Ilpo, Makkonen, Lasse, Saarelainen, Seppo, Tuhola, Markku & Törnqvist, Jouko. Ilmastomuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön [Impacts of climate change on the built environment]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2227. 83 p. + app. 6 p.

Keywords climate change, environmental impacts, built environment, temperature, rainfall, snowfall, sea level, wind conditions, construction industry, urban planning

Abstract

According to climate change experts the average air temperature in Finland is projected to increase 4 °C in the next 100 years. Buildings are designed for the service life of 50 - 100 years. The expected climate change should be taken into account in regulations and in service life design of structures. It is also important to take care of the existing building stock in the future climate conditions.

The temperature increase affects the duration of snow and ice cover. The changes in precipitation, according to predictions, will be significant, up to 10%. The changes in precipitation are most significant in the autumn. Extreme phenomena, such as strong winds and heavy rain as well long dry or rainy periods, will occur more often. The ground frost depth will decrease about 0.5–1.0 meters. Approximately every second year, there will be no ground frost at the south coast of Finland.

The probability of flooding will increase. Drains for rainwater will be overloaded due to rain, particularly in wintertime when the ground is frozen. Increased heavy rainfalls generate flooding. It will be necessary to renew and renovate drains for rainwater in order to avoid the flooding risk. Flooding in the areas, where toxic materials are stored, may cause environmental hazards. Because of increasing rain the water level in rivers and lakes raises and erosion and landslides may occur at higher levels than before.

The depth of groundwater rises as a consequence of rain and increased thawing of snow and because the ground is unfrozen for longer periods. When the water content of ground increases its strength decreases. The increased dry periods in summertime can reduce the depth of groundwater. This can create contraction and pipe breakings at heavy-textured soil.

Driving rain increases the stress of casing of buildings (walls, roofs and windows). The grainy fouling and change of colour are the typical aesthetic damages, which can be created by driving rain. Consequently, the life-time of structures and/or the maintenance cycle gets shorter. The repeated cold and warm periods stress the structures. The structural physics behaviour of wall structures will change when the temperature

increases. The equilibrium moisture content of building materials decreases when the temperature is above 0 °C and when the relative humidity remains constant.

When winters get warmer, the construction process shall become easier. For example, the depth of ground frost decreases and the use of concrete gets easier. Due to more rainy winters drying of structures will become more demanding. Also, building materials are subjected to weather conditions and may be damaged by high humidity.

The effects of the climate change should also be taken into account in land use planning. In general planning, i.e. regional land use plans and master plans, it is essential to determine the flood, land slide and other risk areas and to leave them outside building areas or to restrict construction in them. In detailed planning, i.e. town plans, it is important to define sites and building areas to control location of buildings, networks and other structures. The minimum construction level near waterways should be regulated and special attention should be paid to microclimate, topography and soil. New recommendations for planning as well as specifications and complements to regulations may be necessary.

Alkusanat

Ilmastonmuutoksen arvioidaan kohottavan ilman keskilämpötilaa Suomessa noin neljä astetta seuraavan sadan vuoden kuluessa. Myös sateiden ennustetaan lisääntyvän merkittävästi. Ilmastonmuutoksen rajoittamisen tutkimus on ollut laaja, mutta ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja sen vaikutuksiin varautumisen tutkimusta on tehty vähän. Tämä tutkimus toteutettiin Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) ja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan rahoittamana strategisena tutkimushankkeena. Hankkeen tavoitteena oli selvittää rakennetun ympäristön kannalta ilmastonmuutoksen aiheuttamat oleelliset tulevaisuuden haasteet.

Hanke toteutettiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa ja projektin johtoryhmään kuuluivat toimitusjohtaja Juhani Reen, Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry (puheenjohtaja); teknologia-asiantuntija Kristiina Koskiahon, Tekes; insinööri Reijo S. Lehtinen, Rakennusteollisuus RT ry; johtaja Seija Vanhanen, Uudenmaan liitto; yli-insinööri Juha-Pekka Maijala, ympäristöministeriö ja tutkimuspäällikkö Matti Kokkala, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka (projektin vastuullinen johtaja). Hankkeen projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Tiina Ala-Outinen ja projektiryhmään kuuluivat erikoistutkija Irmeli Harmaajärvi, tutkija Harri Kivikoski, erikoistutkija Ilpo Kouhia, erikoistutkija Lasse Makkonen, erikoistutkija Seppo Saarelainen, erikoistutkija Markku Tuhola ja erikoistutkija Jouko Törnqvist. Kiitän tutkimustyön johto- ja projektiryhmän jäseniä hyvin onnistuneesta yhteistyöstä.

Julkaisun luvun 2 on kirjoittanut erikoistutkija Lasse Makkonen, luvun 3 tutkija Harri Kivikoski ja erikoistutkija Seppo Saarelainen, luvun 4 erikoistutkija Ilpo Kouhia ja erikoistutkija Tiina Ala-Outinen, luvut 5 ja 6 ryhmäpäällikkö Markku Tuhola ja erikoistutkija Jouko Törnqvist ja luvun 7 erikoistutkija Irmeli Harmaajärvi. Raportin viimeiste-lystä on huolehtinut ryhmäsihteeri Erja Schlesier.

Tiina Ala-Outinen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
1. Johdanto.....	11
2. Ilmastonmuutos – nykykäsitys Suomen osalta.....	13
2.1 Ilmastomallit ja nykytila.....	14
2.2 Päästökkenaariot mallien lähtötietona.....	14
2.3 Muutosten aikaskaalat.....	16
2.4 Alueelliset ilmastomallit.....	16
2.5 Muutos Suomessa.....	17
2.6 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ultraviolettisäteilyn määrään.....	19
2.6.1 Relevantti säteilyn aallonpituusalue.....	19
2.6.2 UV-säteilyn riippuvuus eri tekijöistä.....	20
2.6.3 UV-säteilyn määrittäminen.....	21
2.6.4 Tapahtuneet muutokset.....	21
2.6.5 Muutokset tulevaisuudessa.....	22
2.6.6 UV-säteily rakennetun ympäristön kannalta.....	23
3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset maa- ja vesirakentamiseen.....	24
3.1 Lämpötilan nousun vaikutukset.....	24
3.1.1 Routaantuminen, routasuojaustarve ja sulaminen.....	24
3.1.2 Jäätymisolot ja lumisateet.....	31
3.2 Sadannan kasvun vaikutukset.....	32
3.2.1 Tulviminen.....	32
3.2.2 Pohjavedenpinta ja maan kosteus.....	34
3.2.3 Eroosio ja sortumariski.....	34
3.3 Merenpinnan nousun vaikutukset.....	35
3.3.1 Tulvariski.....	35
3.4 Tuulisuuden kasvun vaikutukset.....	36
3.5 Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista maa- ja vesirakentamiseen.....	37
3.5.1 Johtopäätökset lämpötilan nousun vaikutuksista.....	37
3.5.2 Johtopäätökset sadannan kasvun vaikutuksista.....	38
3.5.3 Johtopäätökset merenpinnan nousun vaikutuksista.....	39

4.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset talonrakennukseen.....	40
4.1	Sadannan ja lämpötilan muutosten vaikutukset rakennusten ulkopinnoille.....	40
4.2	Lämpötilamuutosten vaikutusten arviointi rakennusten rakennusfysikaaliseen toimintaan.....	41
4.3	Tuulikuormat.....	47
4.3.1	Tuulikuormien määrittäminen tällä hetkellä.....	47
4.3.2	Tuulikuormien muutosten vaikutukset.....	48
4.4	Lumikuormat.....	49
4.5	Vaikutusten arviointi rakentamisolosuhteiden kannalta.....	49
4.6	Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista talonrakennukseen.....	50
5.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset tie-, katu-, vesi ja viemäriverkostoihin.....	52
5.1	Lämpötilan kohoamisen vaikutus.....	52
5.1.1	Routasyvyyden muutosten vaikutukset.....	52
5.1.2	Sulamis-jäätymisvaihteluiden vaikutukset.....	53
5.1.3	Pohjaveden korkeuden muutosten vaikutukset.....	54
5.2	Sademäärän kasvun vaikutukset.....	55
5.3	Tuulisuuden kasvun vaikutukset.....	59
5.4	Ilmastonmuutokseen varautuminen verkostojen kannalta.....	59
6.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset olemassa olevaan rakennuskantaan.....	61
6.1	Tulvimisen vaikutukset olemassa olevien rakennusten kannalta.....	61
6.2	Pohjavedenpinnan vaihtelun vaikutukset olemassa olevien rakennusten kannalta.....	62
7.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset kaavoitukseen.....	63
7.1	Alueiden käyttöön vaikuttavien olosuhteiden muutokset.....	63
7.1.1	Tulviminen ja vedenpinnan nousu.....	63
7.1.2	Tuulisuus ja myrskyt.....	67
7.1.3	Sateisuus.....	67
7.1.4	Jäätymisolosuhteet ja lumisateet.....	67
7.2	Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen kaavoituksessa.....	68
7.2.1	Kaavoituksen kehittäminen.....	68
7.2.2	Kaavoitusprosessi.....	70
7.2.3	Mahdollisia muutoksia säädöksiin.....	71
7.3	Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista kaavoitukseen.....	71

8. Yhteenveto	73
Lähdeluettelo	78
Muuta kirjallisuutta	83

Liitteet

Liite A: Todennäköinen ilmastonmuutos Suomessa

Liite B: Suurtulvatyöryhmän tekemät maankäyttö- rakennuslain ja asetuksen
muutosehdotukset

1. Johdanto

Ilmastonmuutos aiheutuu sekä luonnollisesta vaihtelusta että ihmisen toiminnasta. Ilmastonmuutoksen seurauksena muun muassa maapallon keskilämpötila ja merenpinnan korkeustaso sekä sademäärät muuttuvat. Ilmaston vaihtelevuus muuttuu kuten myös ääri-ilmiöiden yleisyys ja rajuus. Niin sanottujen kasvihuonekaasujen päästöt tulevat nostamaan ilmakehän lämpötilaa globaalisti lähimmän 100 vuoden aikana. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut huomattavasti 200 viime vuoden aikana ja on nyt korkeammalla kuin kertaakaan 400 000 vuoteen. Maapallon keskilämpötilan nousu voidaan jo todeta havainnoista [15].

Ilmastonmuutoksen synnyn ja hallinnan tutkimus on laajaa. Ilmastonmuutos vaikuttaa laajasti yhdyskuntiin, mistä seuraa myös vaikutuksia rakennettuun ympäristöön. Tällaisia vaikutuksia ovat erityisesti pienentynyt lämmitysenergiankulutus sekä muutokset lämpötila-, kosteus- ja tuulisuusolosuhteissa. Myös rakentamisen alueella on tutkittu ilmastonmuutoksen vaikutuksia, mutta lähinnä rakennusten energiankäytön, rakentamisprosessin tai kaavoituksen kannalta [4]. Rakennetun ympäristön kannalta osa ilmastonmuutoksen aiheuttamista muutoksista on positiivisia (pakkaskausien lyheneminen, routasyvyyden muutokset jne.) ja osa negatiivisia (merenpinnan nousu, sadannan kasvu jne.). Siitä, kuinka nämä vaikutukset tulisi ottaa huomioon rakennetun ympäristön suunnittelussa ja vaatimusasetannassa tiedetään hyvin vähän. Varautumalla ilmastonmuutoksiin etukäteen voidaan niiden kielteisiä vaikutuksia pienentää ja myönteisiä vaikutuksia hyödyntää.

Rakennukset suunnitellaan yleensä ainakin 50–100 vuoden käyttöikä varten. Nykyisissä rakennusnormeissa, esimerkiksi Eurocode-ohjeissa, sääilmiöiden aiheuttamat tilastolliset äärikuormat määritellään 50 vuoden toistuvuusajan perusteella. Ne puolestaan perustuvat yleensä ilmastodataan nykyhetkeä edeltävältä 30 vuoden ajanjaksolta. Siten tuleva ilmastonmuutos olisi jo nyt otettava huomioon rakennusten ja yhdyskuntien suunnittelussa sekä käyttöikään liittyvissä tarkasteluissa.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia arvioitaessa lähtökohdaksi on otettu hallitusten välisen ilmastopaneelin, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), tutkijoiden uusimmat arviointiraportit [16, 17, 18], jotka on hyväksytty tammi–maaliskuussa 2001 pidetyissä IPCC:n työryhmien kokouksissa. IPCC arvioi ilmaston lämpenemistä erilaisten päästöskenaarioiden pohjalta. Lähtöoletuksena on käytetty maapallon sosioekonomista kehitystä, johon vaikuttavat mm. väestö, talous ja teknologia. Kaikkien skenaarioiden mukaan lämpötila nousee, mutta lämpenemisarvot vaihtelevat. Arvioiden mukaan lämpötilat kohoaisivat lähes kaikilla maa-alueilla enemmän kuin keskimäärin koko maapallolla. Lämpöaallot yleistyvät ja kylmät jaksot vähenevät. Veden kierto voimistuu, sadanta kasvaa ja rankkasateet yleistyvät. Samalla kuitenkin kuivuus lisään-

tyy mantereiden keskialueilla. Jäätiköiden pienenemisen oletetaan jatkuvan, samoin pienenevät lumi- ja jääpeitteiset alueet, ikeiroudan alueet sekä jään kattamat merialueet. Merenpinnan arvioidaan kohoavan, koska merivesi laajenee lämmitessään ja jäätiköt sulavat.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten ilmastonmuutoksen vaikutukset tulisi ottaa huomioon rakennetun ympäristön suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa Suomessa. Tutkimushankkeen päätavoitteena oli ilmastonmuutoksen vaikutusten selvittäminen maa- ja vesirakentamiseen, talonrakennukseen, tie-, katu, vesi- ja viemäriverkostoon sekä kaavoitukseen ja maankäyttöön. Hankkeessa käsitellään routaolosuh-teiden ja tulvakorkeuksien muutoksia, pakkaskausien lyhenemistä, sadannan kasvua, tuuli- ja lumikuormien muutoksia sekä ääri-ilmiöiden lisääntymistä. Muutoksia tarkas-tellaan sekä olemassa olevan rakennuskannan että uudisrakentamisen kannalta. Selvi-tyksen tavoitteena on tarjota tausta-aineistoa ilmastonmuutokseen sopeutumiseen ja varautumiseen, eikä tässä selvityksessä käsitellä ilmastonmuutoksen rajoittamista.

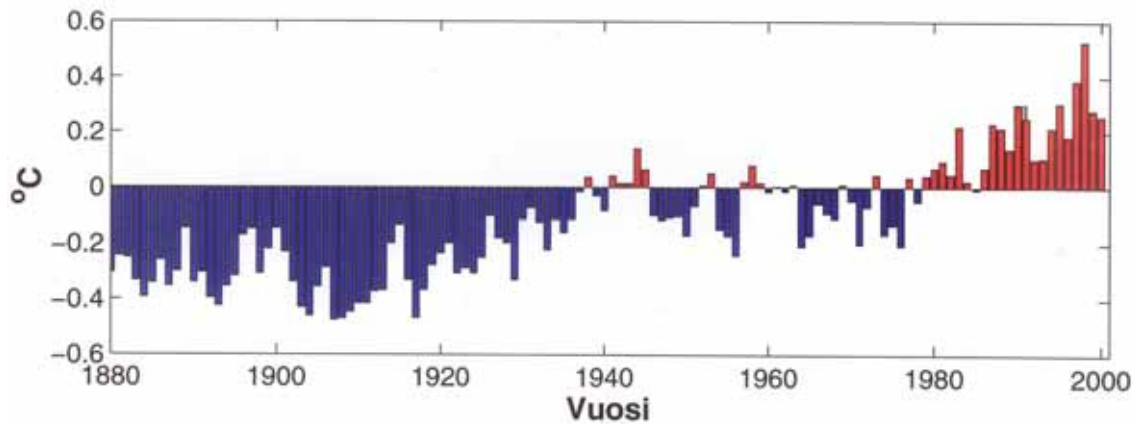
2. Ilmastonmuutos – nykyäsitys Suomen osalta

Hallitusten välisen ilmastopaneelin *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tutkijoiden raporteissa [16, 17, 18] on kuvattu tämänhetkinen tieto ilmaston tilasta ja esitetty arvio tulevista ilmastonmuutoksista epävarmuuksineen, arvioitu, miten herkkiä, sopeutuvia ja haavoittuvia luonto ja ihminen ovat ilmastonmuutokselle sekä arvioitu ilmastomuutoksen rajoittamiseen liittyviä tieteellisiä, teknisiä, ympäristöllisiä, taloudellisia ja sosiaalisia näkökohtia. IPCC:n mukaan ilmaston muuttuminen ihmisten toiminnan seurauksena on tosiasia, ja oleellista on selvittää, kuinka paljon ja kuinka nopeasti muutos tapahtuu.

Kasvihuonekaasujen ja rikkidioksidin uusien päästöennusteiden pohjalta tehtyjen laskelmien mukaan maapallon keskilämpötila nousisi vuoteen 2100 mennessä 1,4–5,8 °C. Lämpeneminen ei olisi kuitenkaan samansuuruinen kaikkialla, vaan erityisesti pohjoisten manneralueiden ennakoidaan lämpenevän eniten. Lämpenemisen myötä valtamerien pinnan arvioidaan kohoavan vuoteen 2100 mennessä 0,1–0,9 m. Tämä johtuu sekä veden lämpölaajenemisesta että jäätiköiden sulamisesta. Ilmastonmuutos, erityisesti lämpötilan nousu, vaikuttaa jo nyt monella tapaa maapallon luontoon ja ihmisen elinoloihin.

Kasvihuoneilmion vaikutusmekanismi on yksinkertaistetusti se, että kasvihuonekaasut heijastavat ja absorboivat maapallon pinnan lähettämää pitkäaaltoista ulossäteilyä, mutta eivät juuri vaikuta auringosta tulevaan lyhytaaltoisempaan säteilyyn. Tämän takia maapallon säteilytase muuttuu, kunnes saavutetaan uusi tasapainotila. Koska ulossäteilyn määrä kasvaa säteilevän pinnan lämpötilan funktiona (Stefan-BolzmANNin laki), tämä uusi tasapainotila edellyttää korkeampaa pintalämpötilaa.

Tärkein ihmisen ilmakehään päästämä kasvihuonekaasu on hiilidioksidi (83 %, 2001) ja se on suurimmalta osalta peräisin energian tuotannosta (fossiiliset polttoaineet) ja teollisuudesta. Myös liikenteen merkitys on huomattava hiilidioksidin tuottajana. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut huomattavasti 200 viime vuoden aikana ja on nyt korkeammalla kuin kertaakaan 400 000 vuoteen. Vaikka globaalien muutosten havaitseminen edellyttää valtavaa datamäärää ja on siten vaikeata [19], on teollisena aikana tapahtunut maapallon keskilämpötilan nousu jo voitu todeta havainnoista (kuva 1).



Kuva 1. Maapallon keskilämpötilan muutos vuosina 1880–2000 [16].

2.1 Ilmastomallit ja nykytila

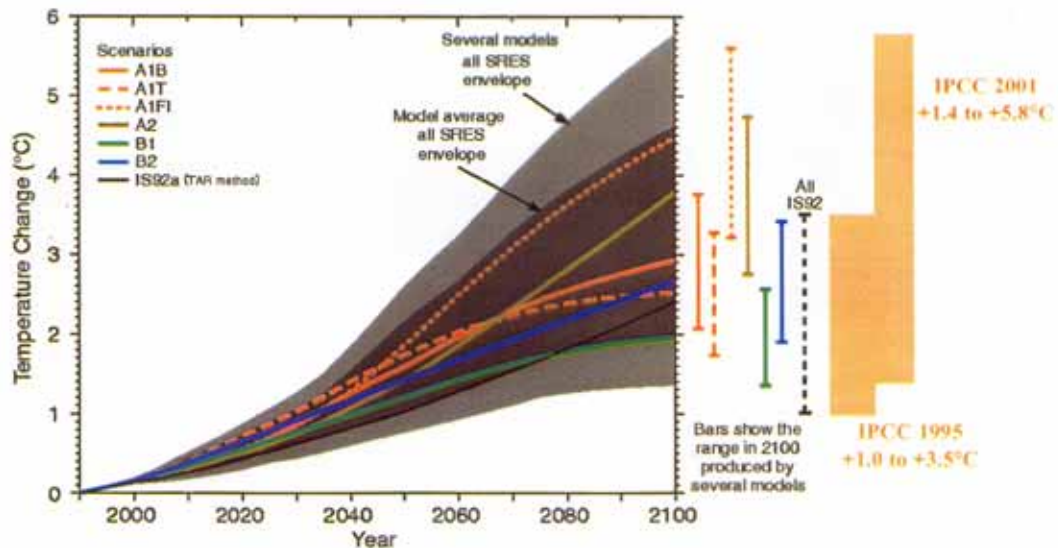
Ilmakehän lämpötilan nousua voidaan simuloida globaaleilla ilmakehämalleilla. Ne ovat varsin monimutkaisia ilmakehän fysiikkaa kuvaavia numeerisia malleja, joissa pyritään ottamaan huomioon kaikki ilmakehän keskimääräiseen käyttäytymiseen vaikuttavat tekijät, mm. meret ja jäätiköt. Lisäksi tärkeimmät ilmakehän kaasujen määrään vaikuttavat prosessit, kuten hiilidioksidin varastoituminen meriin ja kasvillisuuden vaikutus, ovat malleissa mukana.

Ilmastomallien ajamiseen käytetään maailman tehokkaimpia tietokoneita. Ilmakehän toimintaa simuloidaan niissä niin pitkille aikajaksoille, että tuloksista saadaan esille keskimääräiset olosuhteet – siis ilmasto. Mallien huonoimmin tunnettuja parametrisointeja on sovitettu siten, että mallit kuvaavat hyvin nykyisen ilmaston. Tulevaa ilmastoa ennustetaan vastaavin mallisimuloinnein, mutta muuttamalla joitain alkuarvoja, esim. ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksia. Mallien toimintaa ilmaston ennustamisessa on verifioitu syöttämällä niihin jo tapahtuneet ilmastoon vaikuttaneet muutokset, mm. mitatut kasvihuonekaasujen lisäykset ilmakehässä, ja vertaamalla näin saatua lämpötiläkäyrää maailmanlaajuiseen säähavaintoverkoston perustuvaan lämpötiläkäyrään. Vain ottamalla huomioon ihmisen aiheuttamien päästöjen vaikutus saadaan mallien ja havaintojen välille hyvä yhteensopivuus. Tämä on suora osoitus ihmisen osuudesta jo tapahtuneessa maapallon ilmastonmuutoksessa.

2.2 Päästöskenaariot mallien lähtötietona

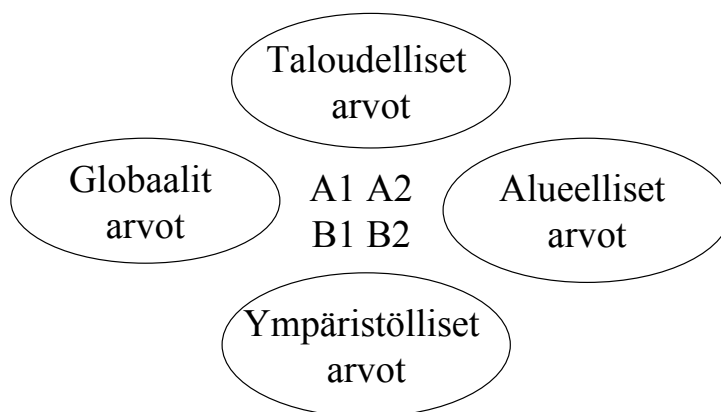
Tulevan ilmaston ennustaminen vaatii lähtötietona ennusteen kasvihuonekaasujen pitoisuuden muutoksista ilmakehässä, ts. siitä, mikä on ihmisen aiheuttamien päästöjen määrä tulevaisuudessa. Erilaisilla päästöskenaarioilla saadaan malleista tuloksena eri-

suuruisia muutoksia ilmastossa. Nykyiset ilmastomallit ovat niin tarkkoja, että mallilaskelmiin liittyvät epävarmuudet aiheuttavat pienempiä virheitä ilmastoennusteissa kuin ne erot, jotka liittyvät eri päästöskenaarioiden käyttöön (kuva 2).



Kuva 2. Maapallon keskilämpötilan nousu ennusteiden mukaan [16].

Onkin syytä korostaa sitä, että kun julkisessa keskustelussa on ajoittain puettu ilmastomallien ennusteet – ja jopa ilmastonmuutos ylipäätään – tutkijoiden mielipiteiksi, ne eivät sitä kuitenkaan ole. Ne ovat selkeitä fysiikan peruslakeihin perustuvia laskentatuloksia. Sen sijaan päästöskenaariot, joihin ilmastomallien ennusteet perustuvat, ovat enemmän tai vähemmän subjektiivisia ennusteita siitä, miten ihminen tulevaisuudessa globaalisti käyttäytyy. IPCC:n (*International Panel for Climatic Change*) käyttämä skenaarioiden karkea luokittelu on kuvan 3 mukainen.



Kuva 3. IPCC:n mukainen luokittelu.

Skenaariot A1, A2, B1 ja B2 kuvastavat sitä, minkälaisia arvoja tulevat yhteiskunnat korostavat päästöihin vaikuttavissa ratkaisuissaan. Näistä skenaarioista on kehitetty

lukuisia tarkempia alaskenaarioita ennusteiden lähtötiedoiksi. Kysymys siitä, mikä ihmisen käyttäytymisskenaario olisi todennäköisin, on luonnollisesti varsin kiistanalainen. Selkeä vastaus tähän on mahdoton jo senkin vuoksi, että skenaarioiden ja ilmakehämallien avulla tehtyjen ennusteiden tulokset todennäköisesti vaikuttavat siihen, mikä skenaario lopulta toteutuu (vrt. Kioton Ilmastokokous). Ennusteiden kannalta on oleellista, että nekin päästöskenaariot, jotka ennustavat päästöjen kääntyvän laskuun 50 vuoden kuluessa, johtavat ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvuun vuosisadan loppuun saakka.

2.3 Muutosten aikaskaalat

Ilmastoennusteiden tulkitsemisessa on tärkeää mieltää ilmiöiden aikaskaala. Kysymys on keskimääräisten olojen muutoksesta, josta ei voi tehdä johtopäätöksiä yksittäisten sääilmiöiden tai edes muutaman vuoden anomalioiden perusteella – kuten usein kuvitellaan. Toisaalta muutokset pitkällä aikavälillä saattavat olla erisuuntaisiakin kuin lyhyemmässä aikaskaalassa.

Kasvihuoneilmion aikaskaalan osalta on oleellista, että ihmisen aiheuttamat merkittävät hiilidioksidipäästöt loppuvat viimeistään silloin, kun fossiiliset polttoaineet on käytetty loppuun. Tähän menee eri skenaarioiden mukaan erilainen aika, mutta se lienee noin 100 vuotta.

Päästöpiikin erilaiset seuraukset tapahtuvat eri aikaskaaloissa: Hiilidioksidipitoisuuden ja maapallon ilmakehän lämpötilan osalta tasapaino saavutetaan parissa sadassa vuodessa, mutta valtamerien veden pinnan nousu tapahtuu hitaammin, ja jäätiköiden sulaminen vasta tuhansien vuosien viiveellä.

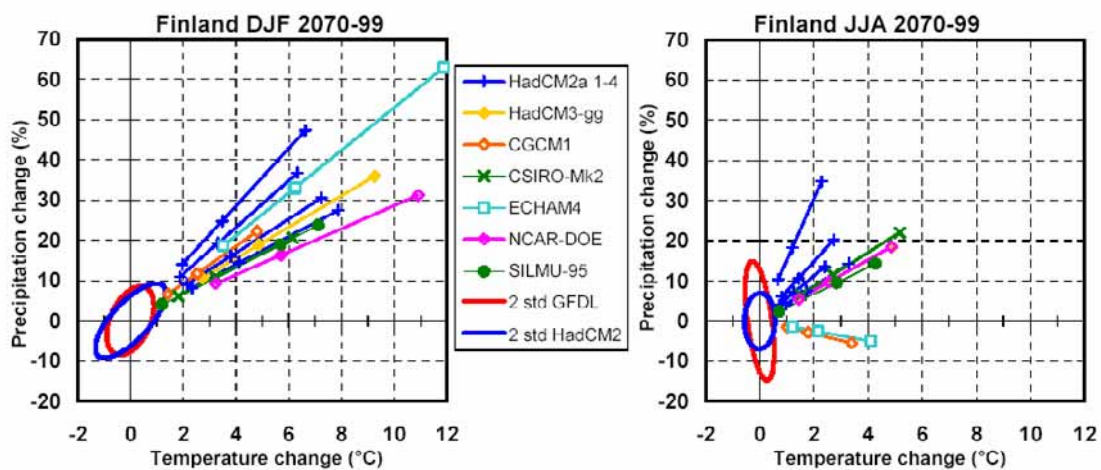
Riippumatta lähivuosisatojen muutoksista on noin 10 000 vuoden aikaskaalassa paleoklimatologisen datan jaksollisuuden perusteella mm. Suomessa odotettavissa jääkausi. Tällainen pitkän aikaskaalan jaksollinen muutos johtuu astronomisista seikoista. Joka tapauksessa siihen liittyvä ennustettu jäähtyminen on pitkällä tähtäimellä selvästi voimakkaampaa kuin fossiilisten polttoaineiden käytön aiheuttama lämpeneminen. Siten esimerkiksi ydinjätteiden loppusijoittamisessa on otettava huomioon myös ilmaston jäähtyminen pitkällä tähtäimellä.

2.4 Alueelliset ilmastomallit

Eri päästöskenaarioihin perustuvilla numeerisilla ilmakehämalleilla saadaan laskettua ennusteita maapallon keskilämpötilan nousulle 2000-luvulla. Koska eri malleissa on

hieman erilaisia parametrisointeja, on mallien epävarmuuksien eliminoimiseksi tarkasteltu keskiarvoja useille ennusteille, jotka on saatu eri tutkijaryhmien malleja käyttäen. Näin saatu todennäköisin ennustettu globaali lämpeneminen on skenaariosta riippuen 1,4–5,8 °C. Vastaava ennuste valtamerien keskimääräisen veden pinnan nousulle 2000-luvulla on skenaariosta riippuen 0,1–0,9 metriä.

Laskentahila tarkentuu siirryttäessä globaalista ilmastomallista nykyaikaiseen alueelliseen malliin. Alueellisella ilmastomallilla voidaan kokeilemalla löytää erilaisia riippuvuuksia. Esimerkkinä on kuvassa 4 esitetty sademäärän muutos Suomessa ennustetun keskilämpötilan muutoksen funktiona eri päästöskenaarioissa. Yleensä mallien tulokset kuitenkin esitetään suoraan ennusteina.



Kuva 4. Lämpötilan ja sademäärän muutokset Suomessa eri skenaarioiden pohjalta [49].

Alueellisen mallin reunoilla rajaehtoina käytetään johonkin skenaarioon ja globaaliin ilmastomalliin perustuvia laskentatuloksia.

Seuraavassa esitetyissä Suomea koskevissa tuloksissa laskentatulokset vastaavat ennustettua 2,6°C maapallon keskilämpötilan nousua, joka on sangen todennäköinen arvio tämän vuosisadan lämpötilannoususta. Lähtökohtana käytettyyn lämpötilan nousuun voidaan päätyä useankin eri skenaarion pohjalta (kuva 2).

2.5 Muutos Suomessa

Suomalaisessa ilmavehänmuutosten tutkimusohjelmassa (SILMU) [40] on esitetty kolme skenaariota lämpötilan muutoksesta Suomessa. Näissä ennusteissa lämpötila muuttuu Suomessa sadan vuoden aikana 1,1–6,6 °C, keskiskenaariossa 4,4 °C. Ruotsin

ilmastonmuutosohjelmassa *Swedish Regional Climate Modelling Program* (SWECLIM) [43] arvioidaan Suomen keskilämpötilan poikkeavan nykyisestä vuonna 2100 3–4 °C siten, että suurimmat lämpötilan nousut (5–6 °C) koskisivat talvia. SILMU-ohjelman keskiskenaarion mukainen lämpötilan nousu tarkoittaisi sitä, että esimerkiksi Rovaniemellä vuoden keskilämpötila vastaisi vuonna 2050 Jyväskylän ja vuonna 2100 Turun nykyistä keskilämpötilaa. SILMU-ohjelman yläskenaarion toteutuessa Turun lämpötilaolot ylittäisivät Rovaniemelle jo vuoden 2060 paikkeilla. SILMU-ohjelman alaskenaarion mukaan Rovaniemi olisi vuonna 2100 vasta lähestymässä Oulun lämpötilaolosuhteita.

Nykyinen ja 2,6 °C maapallon keskilämpötilan nousua vastaava vuoden keskilämpötila Pohjois-Euroopassa alueellisen mallin perusteella on esitetty liitteessä A [33] (kuva 1). Ennusteen mukaan keskilämpötilan nousu on kaikkialla Suomen alueella noin 4 °C, ja isotermit siirtyvät noin 500 km pohjoiseen. Lämpeneminen on suurempaa talvella kuin kesällä (kuva 2, liite A [33]). Ennustettu talven pakkassumman pieneneminen Pohjolassa on noin 20 000 Kh, ja se on siten varsin merkittävä esimerkiksi rakennusten lämmitysenergian ja routimisen kannalta.

Keskilämpötilan nousuun liittyy muutoksia lumipeitteen (kuva 3, liite A [33]) ja meren jääpeitteen kestoajassa sekä meriveden lämpötiloissa (kuva 4, liite A [33]). Näillä on vaikutuksia etenkin liikenteeseen sekä talvimerenkulkuun [29]. Kuvassa 5 liitteessä A [33] on esitetty arvio vuoden korkeimman ja alimman ilman lämpötilan ennustettu muutos Pohjolassa. Tämän tuloksen mukaan helteet eivät meillä juurikaan pahene, mutta kovat pakkaset vähenevät selvästi.

Ennustetut sademäärän muutokset Suomessa ovat varsin suuria. Kuvassa 6 liitteessä A [33] on nähtävissä ennustettu vuotuisen sademäärän muutos (vasemmalla) ja sadannan ja haihdunnan välisen eron muutos (oikealla). Muutos tapahtuu lähinnä syksyn sademäärässä (kuva 7, liite A [33]). Tästä voidaan päätellä, että kevättulvat eivät pahene, vaan vesistöjen virtaamapoikkeamat eri vuodenaikoina tasoittuvat. Kokonaisvirtaamat kuitenkin kasvavat huomattavasti – varsinkin pohjoisen joissa. Tämä voi aiheuttaa syystulvia, mutta toisaalta lisää vesivoiman tuotantoa.

Tuulennopeuden muutosten arviointi mallien avulla on vaikeaa. Keskimääräinen tuulennopeus ei myöskään ole rakentamisen kannalta kovin kiinnostavaa, vaan tilastolliset suurimmat tuulennopeudet [31]. Ilmastomallit eivät kuitenkaan nykyisellään sovi kovin hyvin sääilmiöiden vaihtelevuuden kuvaamiseen. Yleensä simuloinneissa oletetaan, että ääriarvot muuttuvat suorassa suhteessa keskiarvoihin, ts. ilmiöiden hajonta ei muutu. Joitakin yrityksiä ääriarvojen mallintamiseen on kuitenkin tehty mm. ajamalla ilmastonmuutoksen mukaisesti modifioituja sääennustemallien kaltaisia malleja toistuvasti hieman poikkeavin lähtöarvoin [20].

Mallilaskelmien tarkastelun ohella on todettava, että paikalliseen ilmastoon Suomessa liittyy piirteitä, joita mallit eivät selitä, ts. joiden syy on tuntematon. Esimerkiksi tuulennopeudessa on Suomen alueella ollut viime vuosikymmeninä aleneva trendi samoin kuin tuulennopeuden keskihajonnassa [24]. Myös suhteellisessa kosteudessa on mittausten mukaan ollut aleneva trendi [11]. Tuulennopeudessa on Itämeren alueella myös sellaista jaksollisuutta, joka sellaisenaan viittaisi tuulisuuden vähenemiseen lähi-vuosikymmeninä.

Ilmaston muuttumiseen vaikuttavat siis muutkin tekijät kuin ihmisen aiheuttamat päätöt ilmakehään. Vaikka ilmastomalleissa periaatteessa ovat mukana kaikki keskeiset vaikuttavat asiat, niin jotkin – varsinkin pilvien koostumukseen liittyvät – tekijät ovat huonosti tunnettuja. Pienetkin muutokset pilvien jääkiteiden määrässä vaikuttavat huomattavasti maapallon säteilytaseeseen, ja näitä muutoksia saattaa tapahtua myös muista kuin kasvihuoneilmiöön liittyvistä ihmisen aiheuttamista syistä (mm. hiukkaspäästöt).

Eräät ilmastoon vaikuttavat tekijät ovat suorastaan mahdottomia ennustaa, eivätkä ne siten ole mallilaskelmissa lainkaan mukana. Tällaisia ovat mm. meteoriittien törmäykset sekä tulivuorten purkaukset. Yhdellä tulivuoren purkauksella voi hiukkaspäästöjen kautta olla vaikutusta koko maapallon ilmastoon muutaman vuoden aikaskaalassa [9]. Lisäksi ilmastoon liittyy sisäisiä jaksollisuusmekanismeja, kuten Tyynenmeren El Nino ja NAO (North Atlantic Oscillation).

Kaikki nämä ilmiöt vaikuttavat eri aikaskaaloissa ja ajoittain peittävät alleen toisensa. Vuotuiset satunnaisvaihtelut ovat – ja tulevat olemaan – myös edelleen merkittäviä. Nämä vaihtelut kuitenkin vain vaikeuttavat systemaattisen muutoksen havaitsemista, mutta eivät vähennä ilmastomallien ennusteiden käyttökelpoisuutta keskimääräisen muutoksen ennustamisessa seuraavan 50–100 vuoden aikana.

2.6 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ultraviolettisäteilyn määrään

2.6.1 Relevantti säteilyn aallonpituusalue

Se auringonsäteily, missä aallonpituus on pienempi kuin 280 nm (UV-C), absorboituu ilmakehän otsoniin niin täydellisesti, ettei sitä maanpinnalla pystytä edes mittaamaan. Maan pintaan tuleva ultraviolettisäteily koostuu siten UV-B-säteilystä, jossa aallonpituus on 280–315 nm ja UV-A-säteilystä, jossa aallonpituus on 315–400 nm. Kun aallonpituus on suurempi kuin 400 nm, ollaan näkyvän valon alueella.

Auringonsäteilyn tehosta ilmakehän ulkopuolella on UV-A-alueella 7 % ja UV-B-alueella 1,5 %. Kuitenkin UV-A-säteilyn yksittäisten fotonien energia on niin pieni, että sen haitalliset vaikutukset materiaaleihin [1] (ja organismeihin) ovat vähäisiä verrattuna UV-B-säteilyyn. Tämän vuoksi tässä tarkastellaan mahdollisia muutoksia nimenomaan UV-B-säteilyssä, josta on myös eniten tietoa kirjallisuudessa.

Käytettävissä olevat tiedot koskevat tietyllä tavalla spektripainotetun UV-B-säteilyn kokonaismäärää (esimerkiksi vuodessa tai kevätkaudella). Kaikkien rakennusmateriaalien (samoin kuin organismienkaan) osalta ei kuitenkaan tiedetä sitä, missä määrin vaurioituminen liittyy UV-B-säteilyn kokonaismäärään ja missä määrin altistumiseen hellellisiin UV-B-säteilyn huippuintensiteetteihin.

2.6.2 UV-säteilyn riippuvuus eri tekijöistä

Ilmakehän ulkopuolella auringon lähettämä UV-säteily on likimain muuttumaton (ajallinen vaihtelu vähemmän kuin 1 %, liittyen mm. 11 vuoden auringonpilkkujaksoon) [56]. Maapallon pinnalle tuleva UV-säteily riippuu kuitenkin monista tekijöistä, joista tärkeimmät ovat auringon korkeuskulma, otsonikerroksen absorptio, sironna pilvistä ja ilmakehän aerosoleista sekä pinnan heijastuskyky.

Ilmakehän stratosfäärissä oleva otsoni absorboi UV-B-säteilyä erittäin tehokkaasti (esimerkiksi 99 % aallonpituudella 298 nm). Siten maanpinnalle tulevan UV-B säteilyn määrä riippuu ilmakehän otsonin konsentraatiosta (stratosfäärin otsonikerroksen paksuus). Tässä on viime vuosikymmeninä havaittu merkittävää pienenemistä keväisin -kyseessä on niin sanottu otsonikato.

Säteilyn ilmakehässä – ja siis myös otsonikerroksessa – kulkema matka riippuu voimakkaasti auringon korkeuskulmasta, varsinkin pienillä kulmilla. Koska säteilyn absorptio tapahtuu otsonimolekyyleissä, on kokonaisabsorptio verrannollinen sen kulkemaan matkaan. Näin ollen auringon korkeuskulma on tärkein maanpinnalle tulevaan UV-B-säteilyyn vaikuttava tekijä, ja maanpinnalle tuleva UV-B-säteily vaihtelee voimakkaasti vuorokaudenajan ja vuodenajan myötä.

Otsonin lisäksi pilvet absorboivat ja heijastavat merkittävästi UV-B-säteilyä. Niihin liittyvä absorptio ei paljonkaan riipu säteilyn aallonpituudesta, ja se vaihtelee vähäisestä (utu) lähes täydelliseen (paksu yhtenäinen pilvipeite). Rikkonainen pilvipeite voi joissain tapauksissa myös lisätä pinnalle tulevaa UV-B-säteilyä [32] heijastusten vuoksi. Ilmakehän alakerroksessa olevat aerosolit absorboivat jonkin verran UV-B-säteilyä, minkä vuoksi sen intensiteetti pienenee korkeuden mukana (vuoristot) hiukan enemmän kuin mitä pelkästään säteilyn ilmakehässä kulkeman matkan lyheneminen aiheuttaisi.

Lumi ja jää heijastavat UV-säteilyä erittäin tehokkaasti, kun taas maanpinta verrattain heikosti [2]. Suuri osa – n. 50 % – pinnasta heijastuneesta UV-B-säteilystä heijastuu takaisin ilmakehästä [25]. Tämän vuoksi UV-säteilyn kokonaismäärä riippuu merkittävästi siitä, onko alueella lumipeite vai ei.

Johonkin pintaan, esimerkiksi rakennuksen ulkovaippaan, tuleva UV-säteilyn määrä riippuu lisäksi pinnan kaltevuuskulmasta. Säteilymäärän määrittäminen kalteville pinnoille tasopinnalle tulevan säteilymäärän avulla ei ole suoraviivaista, koska osa säteilystä on suoraa ja osa diffuusiosäteilyä.

2.6.3 UV-säteilyn määrittäminen

UV-B-säteilyn määrää on mitattu spektriradiometreillä. Näitä mittauksia on kuitenkin tehty vasta kymmenkunta vuotta, koska tämä on edellyttänyt hyvin kehittyneitä teknologioita säteilyn intensiteetin erittäin suuren vaihteluvälin vuoksi. UV-B-suodatinradiometrimittauksia on hieman pidemmältä ajalta, mutta ne on hiljattain osoitettu epäluotettaviksi [55].

Epäsuorasti UV-B-säteilyä voidaan arvioida satelliittimittauksista [26] tai maanpinnalla tehdyistä pyranometrimittauksista [26] ja auringonpaistetuntimittauksista [45]. Tällöin joudutaan käyttämään hyväksi samanaikaisia otsonipitoisuuden mittauksia ja säteilyn absorption ja sironnan fysikaalista [44] tai tilastollista [3] mallintamista. Tähän tarvittavaa dataa on pidemmältä ajalta, esimerkiksi satelliittimittauksia vuodesta 1979 ja auringonpaiste-tuntimittauksia Helsingistä vuodesta 1906.

2.6.4 Tapahtuneet muutokset

Edellä esitetyn perusteella UV-B-säteilyn trendejä ei suorien mittausten perusteella pystytä määrittämään, koska hajonta on suurta ja mittauksia on liian lyhyeltä ajalta.

Epäsuorasti trendejä voidaan yrittää määrittää, koska UV-B-säteilyssä tapahtuvat muutokset useiden vuosien tai vuosikymmenien aikaskaalassa liittyvät pääasiassa ilmakehän otsonikerroksen paksuuteen sekä jossain määrin lumi- ja jääpeitteeseen. Nämä riippuvuudet osataan mallittaa jo melko hyvin, ja niistä on pitkän ajan mittausdataa. Pitkän ajan trendien toteaminen otsonin määrän mittauksistakaan ei kuitenkaan ole helppoa, koska otsonikerroksen luonnollinen vuotuinen vaihtelu on hyvin huomattavaa.

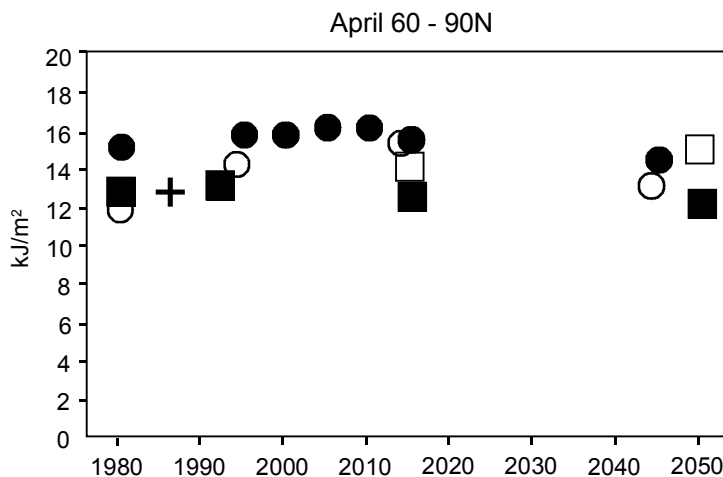
On kuitenkin voitu osoittaa [14], [47], että UV-B-säteilyn vuotuinen määrä on viime vuosikymmeninä kasvanut muualla, paitsi päiväntasaajan alueella. Suomen leveysas-

teilla tämä kasvu on ollut 1970-luvun lopusta alkaen noin 5 % vuosikymmenessä. Kasvu johtuu erityisesti kevään otsonikatoon liittyvistä huippulukemista, ja tällaiseen liittyvä kasvava trendi on voitu osoittaa myös Suomessa [45].

2.6.5 Muutokset tulevaisuudessa

Globaalien ilmastomallien, joissa on mukana ilmakehiä, avulla voidaan yrittää simuloida UV-B-säteilyä tulevaisuudessa [44]. Tämä tapahtuu siten, että mallia ajetaan syöttötietoina ihmisen aiheuttama päästöskenaario, johon liittyy erillinen skenaario halogenoitujen hiilivetyjen (CFC-12, HCFC-22) päästöistä. Näiden hiilivetyjen tiedetään olevan syynä otsonikatoon, ja niiden pitoisuuden (joka luonnostaan ilmakehässä on nolla) ja otsonimäärän yhteys voidaan melko hyvin myös mallittaa. Halogenoitujen hiilivetyjen päästöjen tulevaisuuden skenaariot ovat verrattain hyvin jäsenneltävissä, koska niitä säätelevät voimassa olevat ja suunnitellut kansainväliset sopimukset.

Kuvassa 5 on esitetty tällä tavoin laadittuja UV-B-säteilyn ennusteita maapallon pohjoiskalotille. Tämän ennusteen mukaan UV-B-säteilyn keskimääräinen kevään aikainen määrä kasvaisi joitakin vuosikymmeniä ja laskisi sen jälkeen. Suurimmat ennustetut keväisin tapahtuvat muutokset ovat noin 20 %. Muina vuodenaikoina muutokset ovat tätä vähäisempiä.



Kuva 5. Kolmella eri mallilla ja eri otsonipäästöskenaarioilla laskettuja ja ennustettuja painotetun UV-B-säteilyn kevätkauden kokonaismääriä maapallon pohjoiskalotilla (60–90N) [45].

Kuvan 5 ennusteen luonne johtuu yksinkertaistetusti siitä, että merkittävää otsonikatoa aiheuttavien halogenoitujen hiilivetyjen pysyvyysaika ilmakehässä on 10–100 vuotta, jonka vuoksi niiden pitoisuudet lähtevät laskuun, kun päästöt on saatu hallintaan. Muut, kasvihuoneilmiöön liittyvät UV-B-säteilyyn vaikuttavat tekijät, ovat globaalisti siinä

määrin merkityksettömiä, että UV-B-säteilymäärät tulevat pysymään ilmastonmuutoksen aikana otsonikadon vaikutusta lukuun ottamatta melko vakioina.

Mallien avulla on myös tutkittu otsonikatoon liittyvien muutosten alueellista vaihtelua. UV-B-säteilyn voimistuminen olisi Suomessa suurempaa Lapissa kuin Etelä-Suomessa. Vaikka otsonikatoon liittyvät laskennalliset muutokset vuosien 1985 ja 2015 välillä ovat vuositasolla melko vähäisiä, ne ovat kuitenkin Suomessa huhtikuun arvoissa 10–50 %.

Suomen oloissa kuitenkin lumipeitteisen ajan väheneminen on siinä määrin merkittävää [31], että UV-B-säteily tulee seuraavan sadan vuoden aikana tapahtuvan ilmastonmuutoksen myötä vähenemään erityisesti kevättalvella. Tämä väheneminen on todennäköisesti vuoden UV-B-kokonaissäteilymääränkin kannalta merkittävämpää kuin otsonikerroksen paksuuteen liittyvät pitkän aikaskaalan muutokset.

Gloobaalien ilmastomallien ennusteet [16] viittaavat siihen, että kokonaispilvisuus kasvaa Suomen leveysasteilla noin 2 % seuraavan sadan vuoden aikana. Tämä, samoin kuin mahdollinen ilmakehän alimman kerroksen aerosolien pitoisuuden kasvu, myös osaltaan hieman pienentää UV-B-säteilyn määrää Suomessa.

Edellä esitettyjen kvalitatiivisten ennusteiden tarkentaminen UV-B-säteilymäärien muutosten lukuarvoiksi vaatisi lisätutkimuksia.

2.6.6 UV-säteily rakennetun ympäristön kannalta

Kasvihuoneilmioon liittyvä ilmastonmuutos muuttaa materiaalien kestoikään vaikuttavan UV-B-säteilyn määrää merkittävästi vain lumipeitteen vähenemisen välillisen vaikutuksen kautta. Halogenoitujen hiilivetyjen päästöjen aiheuttama stratosfäärin otsonikato puolestaan lisää UV-B-säteilyä etenkin keväisin. Otsonikatoa aiheuttavien päästöjen hallitseminen kansainvälisin sopimuksin johtanee siihen, että UV-B-säteily voimistuu otsonikadon takia enää muutaman vuosikymmenen ajan ja heikkenee sen jälkeen.

Suomessa todennäköisin tulevaisuuden UV-B-säteilyn skenaario on seuraava: Lähivuosikymmeninä tapahtuu otsonikatoon liittyvää säteilymäärän kasvua, joka voi nykytasoon verrattuna olla Lapissa keväisin jopa 30 %. Koko vuoden UV-B-säteilymäärinä muutokset lienevät enintään kymmenen prosentin suuruusluokkaa. Sadan vuoden aikaskaalassa tapahtuu ilmastonmuutokseen liittyvää UV-B-säteilyn vähenemistä kaikkina vuodenaikoina siten, että palataan alle nykyisen säteilytason.

3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset maa- ja vesirakentamiseen

3.1 Lämpötilan nousun vaikutukset

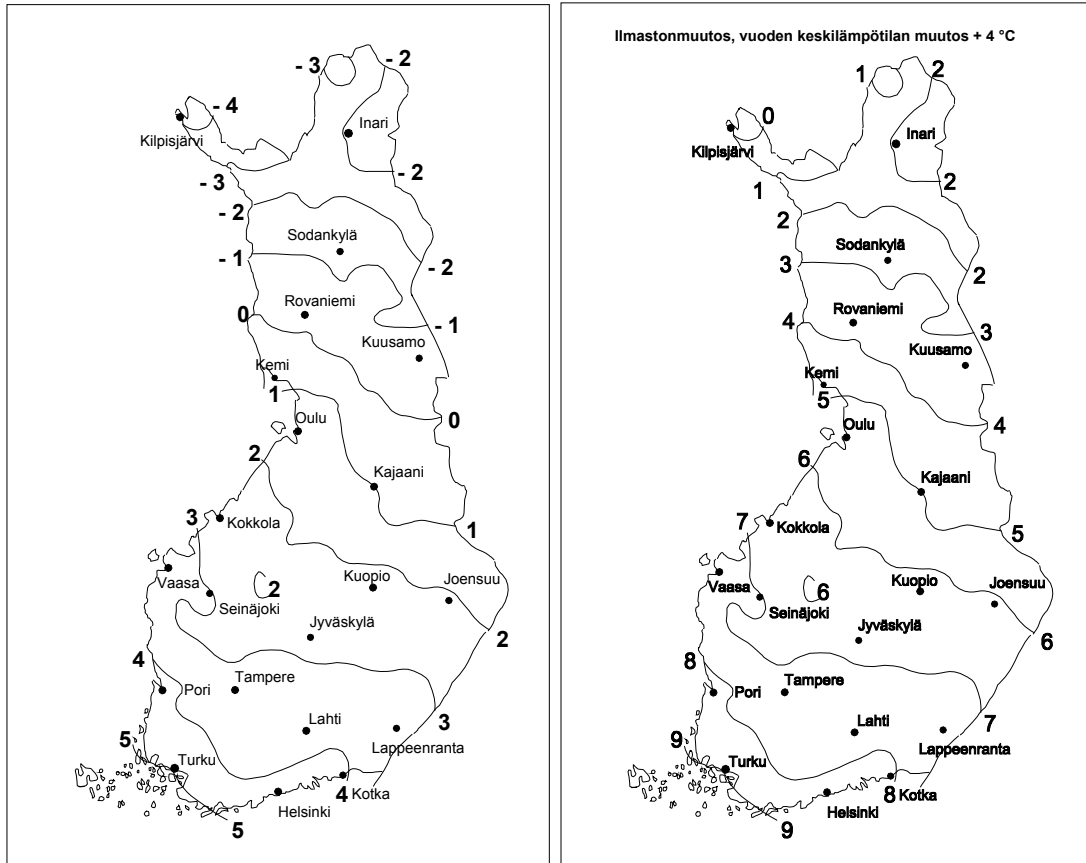
3.1.1 Routaantuminen, routasuojaustarve ja sulaminen

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa luonnollisesti myös lumen ja roudan määrään. Suomessa huomioidaan kaikessa rakentamisessa routa, joka luonnollisesti johtaa korkeampiin rakentamiskustannuksiin routaisilla alueilla verrattuna alueisiin, joilla routaa ei esiinny. Toisaalta roudasta on myös hyötyä, sillä se esimerkiksi helpottaa talvisin metsäkuljetuksia, suojaa puiden juuria metsäkoneiden mahdollisesti aiheuttamilta vaurioilta ja tehostaa viljelysmaiden muokkaantumista.

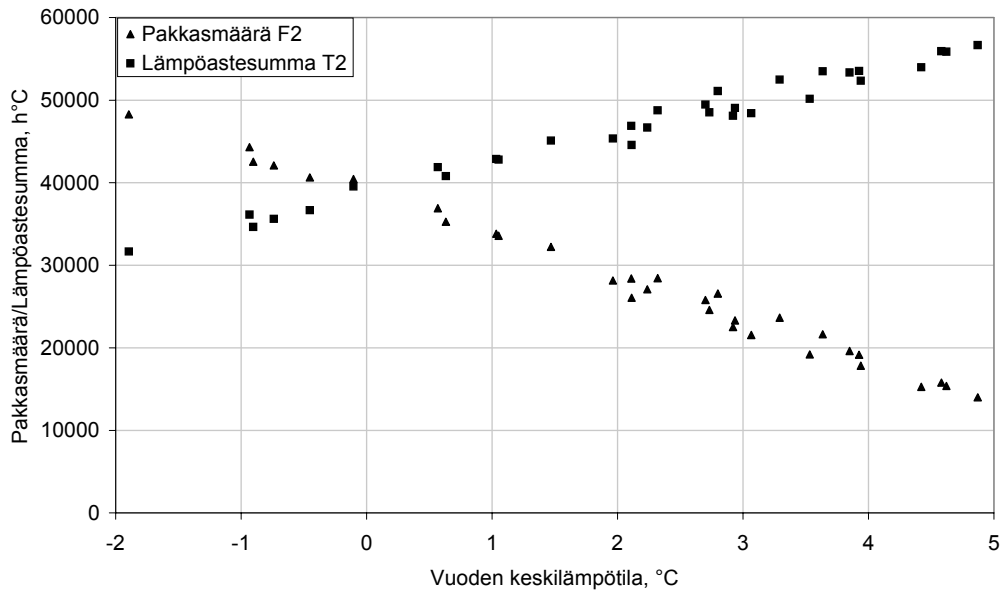
Lumettoman maan tapauksessa roudan keskimääräisen vuosittaisen maksimipaksuuden arvioidaan ohenevan tämän vuosisadan lopulle mentäessä Etelä- ja Keski-Suomessa nykyisestä 1,0–1,5 metristä arvoon 0,5–1,0 m. Pohjois-Suomessa muutos olisi nykyisestä 2,0–3,0 metristä arvoon 1,0–2,0 m. Nykyiset Etelä-Suomen roudan paksuudet vastaisivat tulevia roudan paksuuksia Lapissa. Sulan maan todennäköisyys kasvaa arvioiden mukaan siten, että esimerkiksi Etelä-Suomessa on maa joulukuussa yleensä sula ja vielä tammikuussa routaa esiintyy vain noin puolessa kaikista tapauksista. Keski- ja Pohjois-Suomessa täysin sulan maan todennäköisyys ei kasva yhtä paljon kuin Etelä-Suomessa, ja Lapissa maanpinta on yleensä jäässä joulukuussa myös sadan vuoden kuluttua [51].

Lumipeitteisen maan tapauksessa ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi pohjautuu Joensuun yliopiston Metsätieteellisen tiedekunnan metsänhoitotieteen laitoksen kehittämän metsäekosysteemiä kuvaavan mallin (FinnFor) simulointeihin. FinnFor-mallissa on kuvattuna maan lämpötila 12 tasolla maanpinnan alapuolella. Myös lumipeitteisen maan tapauksessa routajakso lyhenee koko maassa. Vaikka talvet ovat lämpimämpiä, kasvaa jäisen maan todennäköisyys Etelä-Suomessa keskitalvella, koska lumipeite ohenee. Keski- ja Pohjois-Suomessa on tutkimuksessa käytetyn ilmastomallin mukaan lunta vielä tulevaisuudessakin niin paljon, että roudan vuosittainen maksimisyvyys ohenee siellä. Lapissa routaolosuhteet muistuttavat kuluvan vuosisadan loppupuolella Itä-Suomessa nykyisin vallitsevia olosuhteita [52].

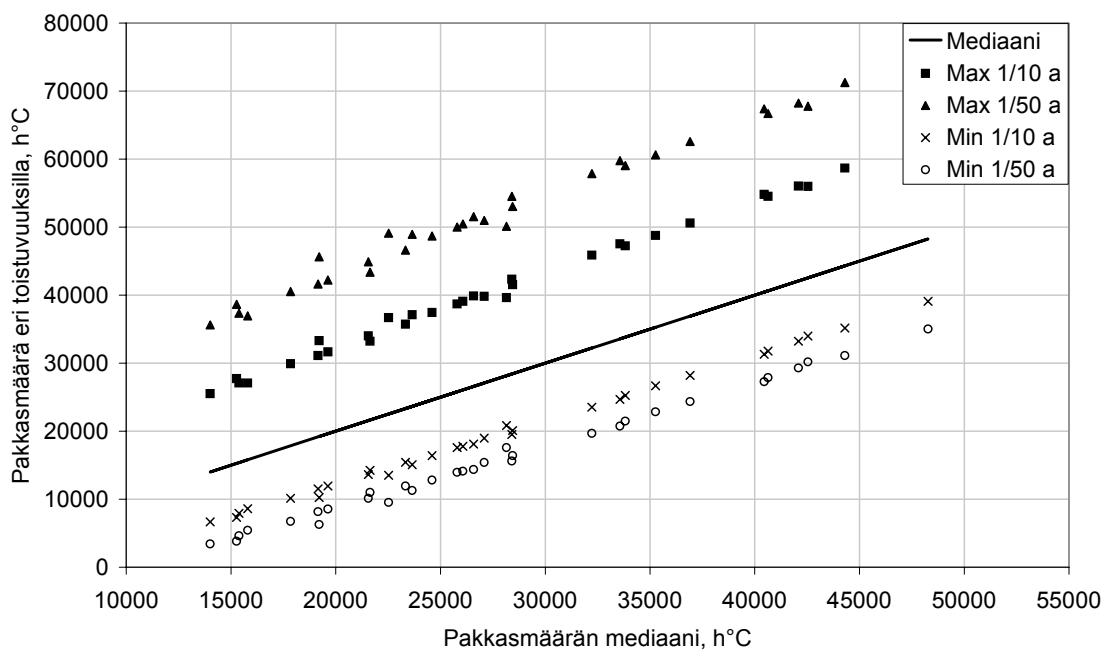
Routaantumisen ja sulamisen muuttumista ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta voidaan arvioida vuoden keskilämpötilan muutoksen perusteella, kun lähtökohtana on nykyinen tilanne (kuvat 6–9).



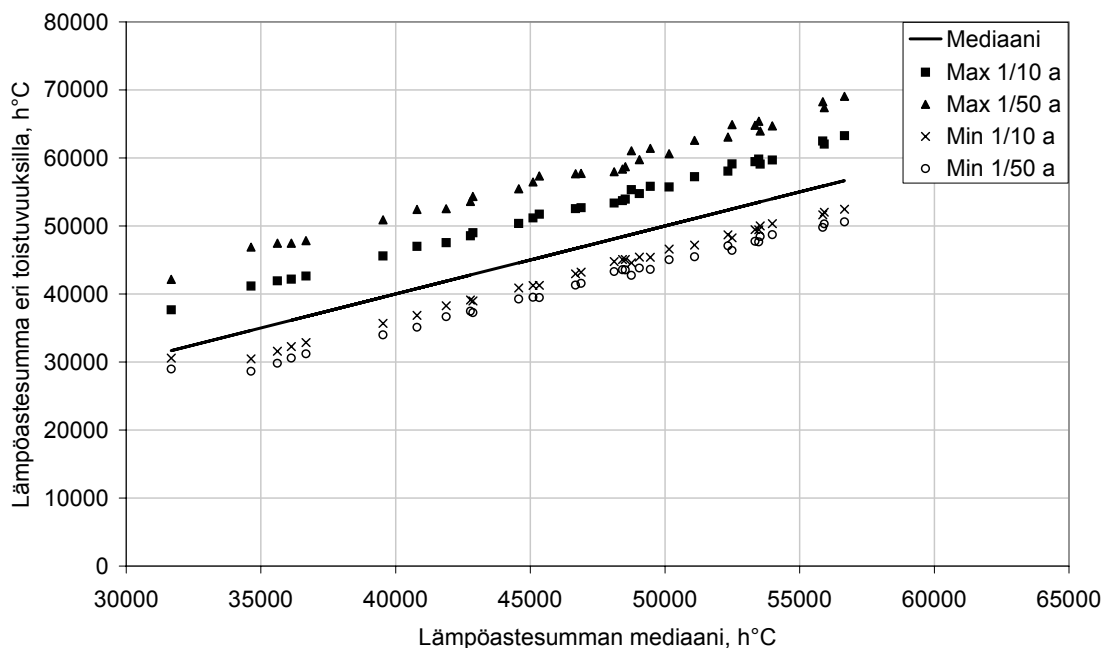
Kuva 6. Ilman vuotuinen keskilämpötila Suomessa vv. 1961–1990 (Ilmatieteen laitos) sekä arvio ilmastonmuutoksen aiheuttamasta keskilämpötilan noususta.



Kuva 7. Talven pakkasmäärän mediaani ja kesän lämpöastesumman mediaani vs. vuoden keskilämpötila Suomen säähavaintoasemilla vv. 1961–1990 (Ilmatieteen laitoksen havainnot).



Kuva 8. Pakkasmäärän vaihtelu eri toistuvuuksilla Suomessa vv. 1961–1990 (Ilmatieteen laitoksen havainnot).



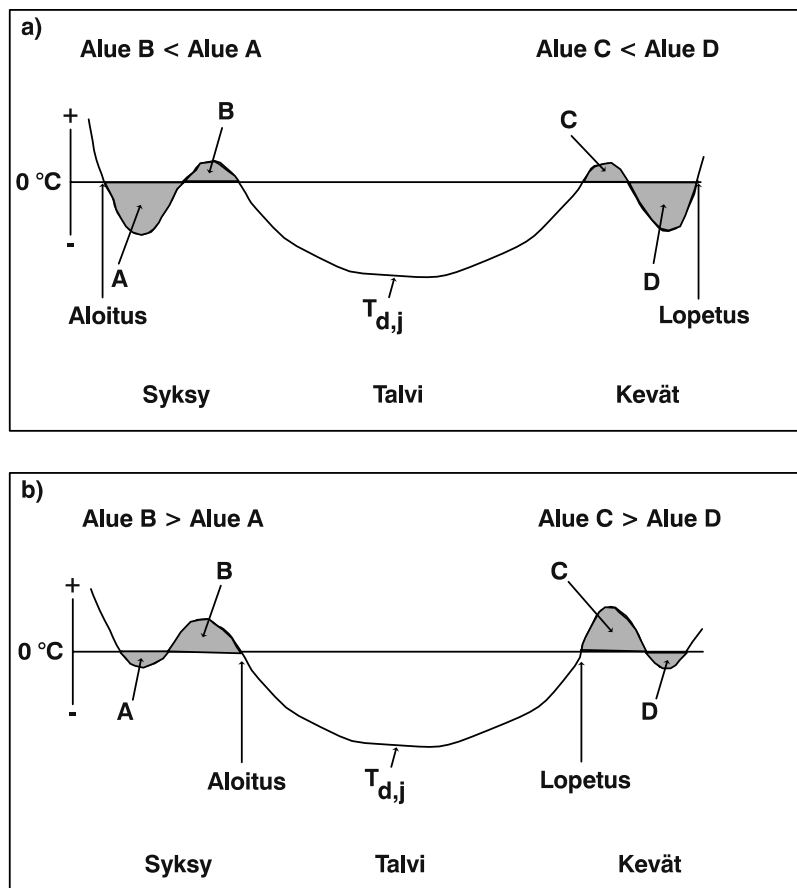
Kuva 9. Lämpöastesumman vaihtelu eri toistuvuuksilla Suomessa vv. 1961–1990 (Ilmatieteen laitoksen havainnot).

Talven pakkasmäärä ja kevään lämpöastesumma lasketaan ilman vuorokautisista keskilämpötiloista. Pakkasmäärää laskettaessa huomioidaan sekä positiiviset että negatiiviset erot jäätymispisteeseen [46].

$$F = 24 \cdot \sum_j (T_f - T_{d,j}) \quad (1)$$

jossa F on talven pakkasmäärä [h°C]
 T_f on jäätymispiste 0 °C
 $T_{d,j}$ ja vuorokauden keskilämpötila päivälle j [°C].

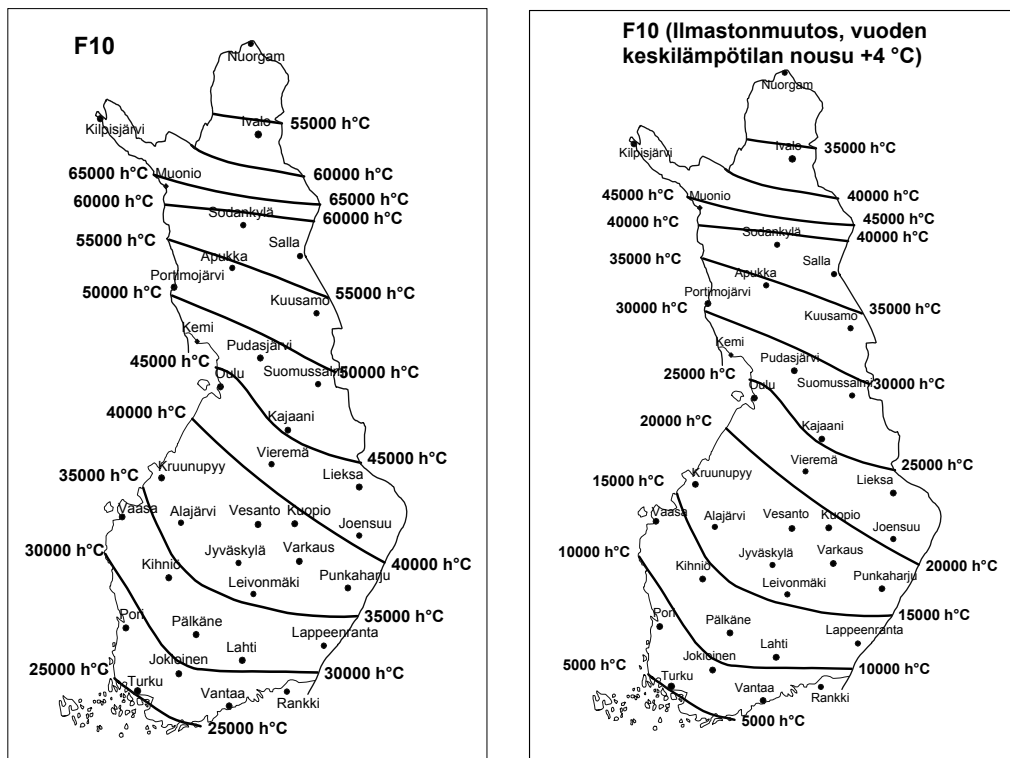
Pakkasmäärän laskennan aloitus- ja lopetusajankohdan määrittäminen on esitetty kuvassa 10. Kuvassa 10a on esitetty tilanne, jossa syksyllä kylmän jakson jälkeen seuraa lyhyt lämmin jakso. Kylmän jakson pakkasmäärä on kuitenkin suurempi kuin lämpimän jakson lämpöastesumma, jolloin talven pakkasmäärän laskenta aloitetaan kylmän jakson alusta. Kuvassa 10b on esitetty tilanne, jossa lyhyen kylmän jakson jälkeen seuraa lämmin jakso, jonka lämpöastesumma on suurempi kuin kylmän jakson pakkasmäärä. Tällöin pakkasmäärän laskenta siirtyy aloitettavaksi lämpimän jakson jälkeen. Vastaavasti kuvassa 10 on esitetty pakkasmäärän laskennan lopetusajankohta. Lämpöastesumman kertyminen alkaa pakkasmäärän kertymisen päätyttyä.



Kuva 10. Talven pakkasmäärän laskennan aloitus- ja lopetusajankohdan määrittäminen.

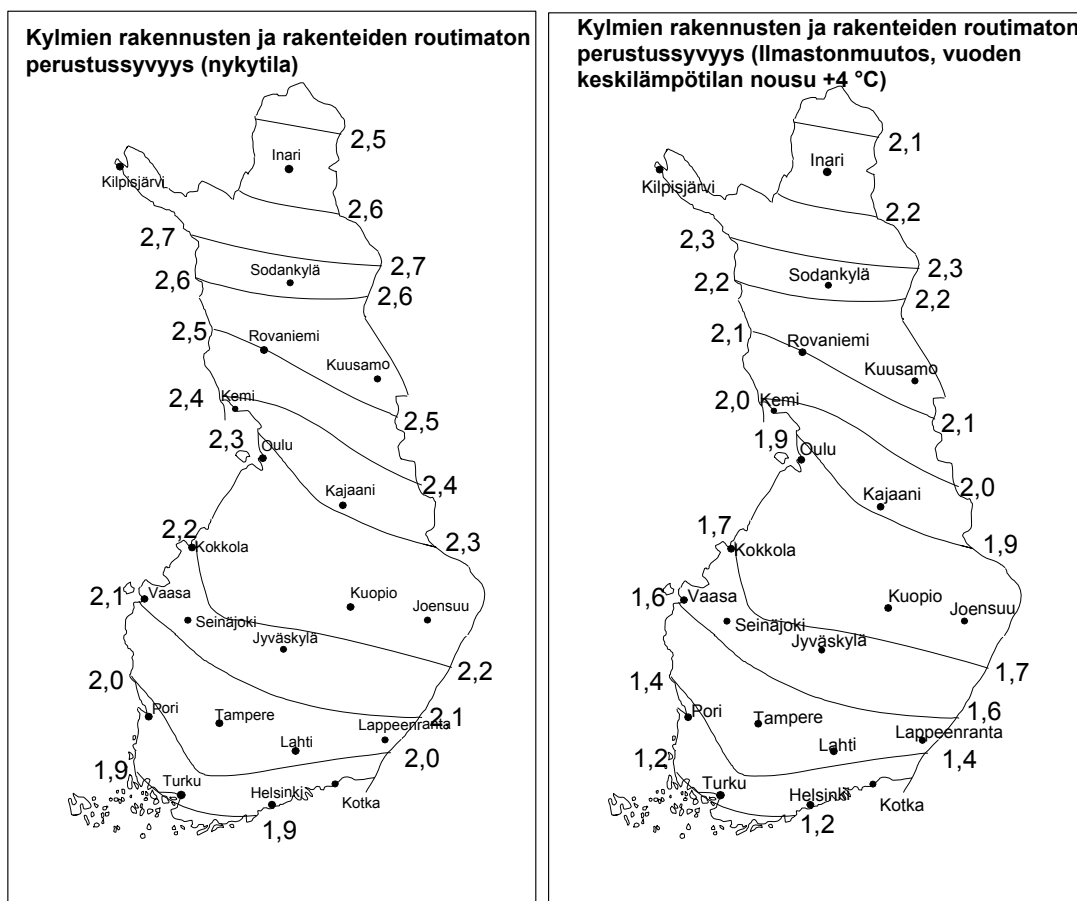
Vuoden keskilämpötilan nousu noin 4 °C pienentäisi talven pakkasmääriä noin 20 000 h°C, jolloin keskimääräiset pakkasmääräisotermi vastaisivat nykyisin tilastollisesti kes-

kimäärin noin kerran viidessä tai kymmenessä vuodessa toistuvaa leutoa talvea (kuva 11). Tämä vastaa tienrakentamisen routasuojausmitoituksessa sovelletun pakkasmäärän F_{10} pienenemisen etelärannikolla nykyisestä arvosta noin 25 000 h°C arvoon noin 5 000 h°C, mikä vastaa roudan syvyyden pienenemistä tie- ja katurakenteissa nykyisestä arvosta noin 1,6 metriä arvoon noin 0,7 metriä. Pohjois-Suomessa (Rovaniemellä) muutos pakkasmäärässä on arvosta 53 000 h°C arvoon noin 3 3000 h°C, mikä vastaa roudan syvyyden pienenemistä arvosta 2,3 metriä arvoon noin 1,8 metriä. Etelärannikolla useammin kuin joka toinen vuosi routaa ei olisi käytännössä ollenkaan. Tämä tarkoittaa, että pakkasjaksojen roudan eliminoi välillä olevien lämpimien jaksojen sulaminen.



Kuva 11. Tilastollisesti keskimäärin kerran kymmenessä vuodessa toistuva pakkasmäärä (tilastot kaudelta 1961–1990) sekä pakkasmääräarvio F_{10} ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta.

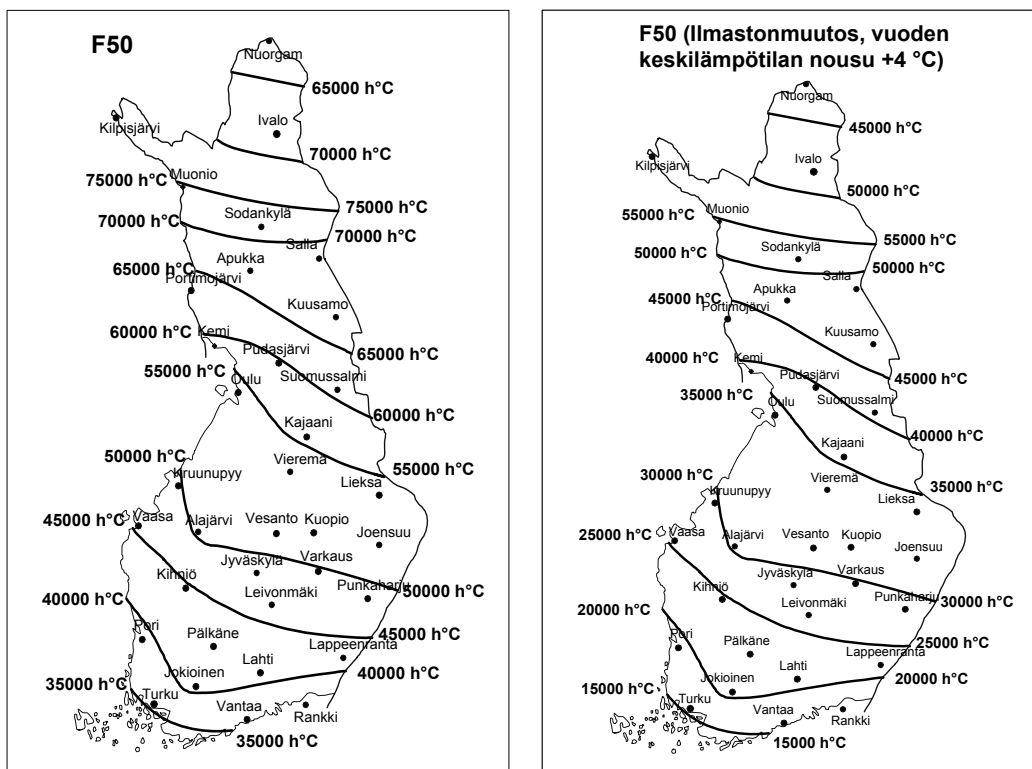
Kylmien rakennusten ja rakenteiden routasuojaus perustuu kesäaikana maan pintakerrokseen varastoituneen lämmön poistumisen estämiseen. Ilmaston lämpenemisen seurauksena kylmien rakenteiden routasuojaustarve pienenee selvästi. Ilman routasuojauksia kylmien rakennusten ja rakenteiden routimatonta perustussyvyys pienenee arviolta 0,4–0,7 m nykyisestä (Etelä-Suomessa 0,7 m, kuva 12).



Kuva 12. Kylmien rakenteiden perustusten routimaton perustussyvyys (m) routivalla maalla lumen suojaavaa vaikutusta huomioonottamatta. Vasemmassa kuvassa nykytila ja oikeassa kuvassa ilmastonmuutoksessa huomioitu vuoden keskilämpötilan nousu +4 °C.

Kylmien rakenteiden matalaan perustamisen yhteydessä routaeristeiden vaadittavat leveydet pienenisivät arviolta 0,4–0,7 metriä nykyisestä. Routaeristeiden vaadittavat lämmönvastukset pienenisivät arviolta 1,2–2,8 m²K/W riippuen paikkakunnan sijainnista ja routaeristeen alapuolisen routimattoman kerroksen paksuudesta. Tämä vastaa noin 50–100 mm nykyistä ohuempia EPS- ja XPS-polystyreenilevyjä tai noin 200–450 mm ohuempaa kevytsorakerrosta.

Lämpimien rakennusten ja putkijohtojen mitoituksessa käytetty mitoituspakkasmäärä F₅₀ pienenesi ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta noin 20 000 h°C, jolloin pakkasmääräisotermit vastaisivat nykyisin tilastollisesti keskimääräistä tai keskimäärin noin kerran viidessä vuodessa toistuvaa leutoa talvea (kuva 13).



Kuva 13. Tilastollisesti keskimäärin kerran 50 vuodessa toistuva pakkasmäärä (tilastot kaudelta 1961–1990) sekä pakkasmääräarvio F_{50} ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta.

Lämpimien maanvastaisten ja ryömintätilaisten alapohjarakenteiden matalaperustamisen yhteydessä riittävän routasuojaustason määräävät ensisijaisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman lämmöneristysmääräyksissä esitetyt alapohjarakenteiden sallitut lämmönläpäisykertoimet. Nykyisillä määräyksillä ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta riittävä routasuojaustaso saavutetaan keskimäärin noin 0,4–0,5 m nykyistä pienemmillä perustussyvyyksillä tai nykyisillä perustussyvyyksillä voidaan routaeristeiden vaadittavaa lämmönvastusta pienentää noin 0,7–1 $1 \text{ m}^2\text{K/W}$. Tämä vastaa noin 30–50 mm nykyistä ohuempia EPS- ja XPS-polystyreenilevyjä tai 100–200 mm nykyistä ohuempaa kevytsorakerrosta. Mikäli tulevaisuudessa määräyksillä pienennetään energiasyistä lämpimien rakennusten alapohjien sallittuja lämmönläpäisyarvoja, rakennusten ulkopuolinen routasuojaustarve vastaavasti kasvaa.

Ilmaston lämpenemisen aiheuttama roudan syvyyden pieneneminen lyhentää sulamisvaiheen pituutta ja lieventää kelirikkoa. Sulamisajan lämpötilojen nousulla on myös sulamista nopeuttava vaikutus, samoin sateisuuden kasvulla. Pinnalle tuleva säteily ei muuttune, sillä se on pääasiassa seurausta auringonsäteilystä. Sulamisnopeuden kasvu puolestaan voimistaa kelirikkoa.

Vaikka talven ilmasto keskimäärin lämpenisikin huomattavasti, voi pitkinä korkeapainejaksoina kehittyä hyvin alhaisia lämpötiloja sekä pohjoisesta Suomeen virrata hyvin

kylmää ilmaa. Keskitalvelle osuva pitkä korkeapainejakso voi nopeasti aiheuttaa roudansyvyuden merkittävää kasvua.

Korkeapainetilanteessa seudun lämpötila lähenee "siperialaista", leveysasteen mukaista lämpötilaa. Tällöin lämpötila ei ole matalapainetoiminnan aiheuttaman lämpöhäiriön alainen. Ilmaston lämpenemisestä aiheutuva matalapainetoiminnan kasvu voi lisätä lämpötilavarianssia, mutta "alareuna" on kiinni. Tästä seuraa se, että esimerkiksi kerran kymmenessä vuodessa toistuva kylmin talvi ei muuttuisi niin paljon kuin nykytilastojen mukaan on trendinä ennakoitavissa. Nykyisen routamitoitustason ylläpitäminen olisi näin perusteltua. "Siperialaisen" minimilämpötilakäyrän taso olisi selvitettävissä nykyhavainnoista vuorokausikeskilämpötilan minimikäyrän perusteella. Vastaavasti ilmaston jäähtyessä vaikuttaisi sama mekanismi.

3.1.2 Jäätymisolot ja lumisateet

SILMU-ohjelman keskiskenaariossa sademäärän kasvu nykytilaan verrattuna on prosentti vuosikymmenessä. Sateiden lisäys painottuu talvikuukausiin, jolloin sade lämpötilan noususta johtuen tulee varsinkin etelässä alkutalvesta vetenä eikä lumena.

Ilmatieteen laitoksessa selvitettiin ilmaston mahdollisen lämpenemisen vaikutusta teiden talvikunnossapitoon [53]. Tutkimuksen aineistona käytettiin Uudenmaan, Turun, Kymen, Vaasan, Hämeen, Keski-Suomen, Kuopion ja Lapin tiepiirien talvikunnossapidon kustannustietoja vuosien 1981–86 talvikuukausilta, Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilla vuosina 1961–1990 tehtyjä säähavaintoja sekä kahta numeerisella ilmastomallilla, HadCM2 mallilla, ennustettua tilannetta vuosina 2010–2039 ja 2040–2069.

Tutkimuksen mukaan lämpenemisen seurauksena tammi- ja helmikuiden kunnossapidon kustannukset tulisivat kohoamaan lisääntyvien lumenpoiston ja liukkauden torjunnan kustannusten vaikutuksesta. Sen sijaan maaliskuu- ja joulukuussa lauhtumisen seurauksena kustannukset pienenisivät, sillä etenkin marraskuussa sateet tulisivat tällöin vetenä, eikä lumenpoistosta aiheutuisi kustannuksia. Tarkasteltaessa koko talvikauden kustannuksia muutos tulisi olemana pieni, koska alkua- ja loppupalven alenevat kustannukset kompensoisivat keskitalven kohoavat kustannukset.

3.2 Sadannan kasvun vaikutukset

3.2.1 Tulviminen

SILMU-ohjelmassa keskiskenaarion mukaan sademäärän lisäys nykyiseen sademäärään verrattuna on 30 mm vuonna 2050 ja 60 mm vuonna 2100. Sateiden lisäys painottuu talvikuukausiin, jolloin sade lämpötilan noususta johtuen tulee varsinkin etelässä vetenä eikä lumena. Ruotsin SWECLIM-ohjelma ennustaa talvisin sateiden lisääntyvän noin 10–15 mm kuukaudessa, mutta kesäisin saattavat sademäärät jopa hieman laskea.

Ilmaston lämmitessä Etelä-Suomessa ei synny talvisin pysyvää lumipeitettä, vaan sateet tulevat joko vetenä tai satanut lumi sulaa nopeasti pois. Sulaminen ja vesisateet voivat synnyttää talvitulvia, joista on viime vuosina esimerkkejä. Vantaanjoella vuonna 1989 suurin tulva esiintyi helmikuussa ensimmäistä kertaa 80 vuoden havaintojakson aikana. Myös Kyrönjoella on ollut melko isoja talvitulvia. Kevättulvat sen sijaan vähenisivät voimakkaasti varsinkin Etelä-Suomessa. [40].

Talvitulvien syntyyn vaikuttavat talven sateisuus, lumen sulaminen ja erittäin pieni haihdunta talvella. Tammi–helmikuun valunta kaksinkertaistuisi, ja joulukuussa lisäys olisi 60 %. Saimaan vesistöissä latvavesistöjen talvikauden sulamisvedet nostavat vedenpinnan haitallisen korkealle. Jos juoksutuksia lisätään Vuoksessa, tämä voi aiheuttaa tulvahaittoja Venäjän puolella. Saksassa talvitulvat ovat yllättäneet usein, kuten Reinjoen suuret tulvat jouluna 1993 ja tammikuussa 1995. [40].

Nykyinen kevättulva väistyy Etelä-Suomesta; Keski-Suomen pienissä vesistöissä se alenee ja aikaistuu. Järvialueen suurissa vesistöissä nostavat latvareittien runsaat talvi-virtaamat keskusjärvien pinnat keväällä korkealle. Pohjois-Suomessa kevättulva aikais-tuisi ja jäisi monina vuosina nykyistä pienemmäksi. Suurten kevättulvien riski kuitenkin säilyy, koska talven sademäärän ennakoidaan lisääntyvän, ja pohjoisessa sateet tulevat edelleen pääosin lumena.

Ympäristöoppaan nro 52 "Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa - Suositus alimmista rakentamiskorkeuksista"[35] mukaan rakennukset Suomen sisävesien ja Itämeren rannoilla tulee rakentaa niin korkealle, ettei suurikaan tulva aiheuta rakennuksille vahinkoja. On ilmeistä, että Suomessa on suuri määrä rakennuksia oppaassa olevan suosituksen mukaisten korkeustasojen alapuolella. Tavoitteena on, että rakennuskanta näillä riskialueilla ei enää lisääntyisi.

Oppaassa olevan suosituksen mukaan asuinrakennukset tulee sijoittaa sellaiselle kor-keudelle, etteivät ne joudu tulvalle alttiiksi kuin korkeintaan kerran 100–200 vuodessa. Alinta rakentamiskorkeutta määritettäessä lähtökohtana on sisävesillä käytännön syistä

keskimäärin kerran 50 vuodessa esiintyvä ylin tulvakorkeus. Tähän korkeuteen lisätään harkinnanvarainen kunkin vesistön vedenkorkeusvaihteluista riippuva lisäkorkeus (vähintään 0,3–1,0 m). Avointen ulapoiden rannoilla otetaan vielä huomioon harkinnanvarainen aaltoiluvara.

Tulvariskialueella rakennettaessa on veden aiheuttamat vauriot ja haitat estettävä rakenteellisesti. Veden nousu kapillaarisesti maasta rakennukseen on katkaistava rakenteellisesti tulvavaran yläpuolella. Rakennuksen, jota ei käytetä asumiseen tai työpaikkana, rakentamiskorkeus voidaan riskien ollessa pienet suunnitella tulvavaran alapuolelle [41].

Alavilla alueilla mm. kiinteistöjen kellaritilat ja tierakenteiden alikulkukäytävät voivat tulvia. Tulvat voivat myös rikkoa tai siirtää esim. tierakenteita ja rumpuja. Jos tulva leviää alueella, missä on ympäristölle vaarallisia kohteita, voi tulva kuljettaa pois ympäristölle vaarallisia aineita. Tällaisia voi olla likaantuneessa maassa, jäte- ja raaka-ainevastastoissa, kaatopaikoissa, jäteveden käsittelylaitoksissa tms.

Suurtulvaselvityksessä [36] tarkasteltiin tilastollisesti keskimäärin kerran 250 vuodessa toistuvan tulvan aiheuttamia vahinkoja Suomessa. Alueelliset ympäristökeskukset arvioivat lähes 400 vahinkokokohdetta. Tehtyjen arvioiden mukaan tulvavahingot olisivat koko Suomessa yhteensä noin 555 miljoonaa euroa. Arvioidut kokonaisvahingot eivät kuitenkaan syntyisi samana vuonna, koska suurtulvan esiintyminen koko maassa samana vuonna on äärimmäisen epätodennäköistä. Vahingot jakaantuisivat siten, että rakennusten osuus olisi 52 %, teollisuuden 20 %, maatalouden 17 %, teiden ja siltojen 6 %, metsätalouden 3 % ja yleisten palvelujen osuus 2 %. Alueellisesti suurimmat vahingot syntyisivät Vuoksen, Kokemäenjoen ja Kyrönjoen vesistöalueilla.

Todennäköisyys sille, että lähimmän sadan vuoden aikana sattuu harvinaisempi kuin keskimäärin kerran 100 vuodessa toistuva tulva, on 63 %, ja harvinaisempi kuin keskimäärin kerran 500 vuodessa toistuva tulva, 18 % [23]. Koska tulvat kuuluvat luonnonilmiöihin, joiden ääritilanteiden tarkkaa esiintymisajankohtaa ei pystytä ennakoimaan, on täysin mahdollista, että hyvin poikkeuksellinen tulva esiintyy useamman kerran lyhyen ajan sisällä. Näin kävi esimerkiksi Reinillä, jossa vuosien 1995 ja 1997 tulvat olivat molemmat toistuvuudeltaan keskimäärin kerran 100 vuodessa tapahtuvia. Tulvien luonteeseen kuuluu myös se, että niille ei voi määrittää ehdotonta ylärajaa, joten on mahdollista, että Suomessa esiintyy vielä selvästi pahempi tulva kuin suurtulvaselvityksessä on arvioitu [36].

3.2.2 Pohjavedenpinta ja maan kosteus

Pohjavedenpinta tulee nousemaan sademäärien kasvaessa, lumen lisääntyneen sulannan takia ja maapohjan ollessa talvisin pidempiä aikoja sulana. Lämpimämmät kesät ja suurempi haihdunta tosin pienentävät pohjaveden nousua. Pohjavedenpinnan nousun seurauksena myös maaperän kosteustilassa tapahtuu merkittävää kasvua. Maan vesipitoisuuden kasvaessa sen lujuus pienenee ja tällöin esim. tierakenteiden kantavuus alenee. Pohjavedenpinnan nousu voi estää myös perustusten kuivatusrakenteiden toiminnan. Liian suuri suhteellinen kosteus aiheuttaa rakenteiden vaurioitumista: mm. puurakenteiden lahoamista ja homehtumista sekä esim. putkien ja teräspaalujen korroosiota. Homeiden kasvun minimirajana on 80 % ilman suhteellista kosteutta vastaava kosteus. Homeista tulee ongelmia, kun ilman suhteellinen kosteus on pitkään yli 90 % ja lämpötila välillä 10–50 °C. Lämpötilan ollessa alle 5 °C (-5 - +5 °C) suhteellisen kosteuden on oltava yli 95 % homeiden kehittymiseksi [54]. Laho kehittyy lähinnä vain silloin, kun ilman suhteellinen kosteus on hyvin pitkään yli 95 % ja puun kosteus lähellä puusyiden kyllästymispistettä (puun kosteus 20–30 %). Useimmat huokoiset rakennusmateriaalit kuten tiili, betoni ja puu, imevät kosteutta, jos ne joutuvat kosketuksiin vapaan veden tai kostean ilman kanssa.

Ryömintätilaisen alapohjan toimintaan vaikuttavista tekijöistä merkittävin on maasta haihtuva kosteus. Ryömintätilaisen alapohjarakenteen yhteydessä pohjavedenpinnan nousu voi aiheuttaa kosteusrasituksen lisääntymistä alapohjarakenteissa. Ryömintätilan hyvä tuulettuminen on erityisen tärkeää kesällä.

Lämpimämpien ja kuivempien kesien johdosta voi savipohjilla orsivedenpinta alentua merkittävästi. Savipohjilla maan kuivuminen aiheuttaa saven tilavuuden pienenemistä ja sitä kautta maapohjan painumista. Savipohjalle maanvaraisesti perustetut rakenteet voivat tällöin painuessaan vaurioitua. Rakennusperustusten lähistöllä sijaitsevat puut voivat juuristojensa kautta imeä merkittävästi vettä savesta, jolloin saven kuivuminen nopeutuu, ja rakenteiden mahdolliset vauriot aikaistuvat ja lisääntyvät. Puupaaluperustusten yhteydessä pohjavedenpinnan aleneminen aiheuttaa paalujen lahoamista ja johtaa rakenteiden painumiseen ja vaurioitumiseen.

3.2.3 Eroosio ja sortumariski

Maaluiskien sortumia tapahtuu lähinnä rantatörmässä, joissa virtaus tai aaltoilu kuluttaa törmää siten, että se jyrkkenee. Paineellinen pohjavesi lisää sortumariskiä. Sadannan lisääntyminen aiheuttaa vesialtaissa pinnan nousua, mikä nostaa myös pohjaveden pintaa. Lisääntyvä sadanta lisää myös maaperän kosteutta, jolloin kuormitus kasvaa ja huokosvedenpaine nousee ja sitä kautta maan lujuus alenee. Sadannan kasvu lisää myös

virtaamaa vesistössä, jolloin riski eroosiolle kasvaa. Virtaaman kasvaessa uoman eroosio kasvaa virtausnopeuden kuutiioon verrannollisesti. Maa-aineksen syöpyminen virtauksen vaikutuksesta vaikuttaa luiskan stabiliteettiin. Luonnollisissa luiskissa voivat pienetkin muutokset aiheuttaa tasapainotilan muutoksen ja johtaa sortumaan. Riski luiskan sortumiselle on suurin sateiden tai tulvimisen jälkeen, kun vesi laskee nopeasti. Ranta-alueiden sortumariskiä lisäävät erityisesti täytöt. Vyörymiä esiintyy vesistöjen rannoilla, joiden maalaji on eroosioherkkää hiekkaista silttiä, siltistä hiekkaa tai hienoa hiekkaa.

Ilmastomuutoksen aiheuttama sademäärän kasvu ja sitä kautta korkeammat vesistöjen ja uomien vedenpinnat voivat johtaa eroosioon ja sortumiin korkeustasoilla, joilla ei vastaavaa ole aikaisemmin esiintynyt. Tämä aiheuttanee lisäriskejä erilaisiin rantarakenteisiin ja rannalle rakennettujen rakennusten vakavuuteen.

Lisääntyvästä tulvimisesta voi aiheutua myös eroosiota, syöpymistä ja huuhtoutumista siltojen, tukirakenteiden ja pengerrakenteiden yhteydessä, jolloin tarvitaan suurempia rumpuja pengertäytteen alle jne. Tulvimisesta aiheutuva sisäinen eroosio voi aiheuttaa rakenneaurioita mm. pengerrakenteissa, padoissa ja putkikaivannoissa. Sateiden hetkellinen rajuus ja toistuvuuden kasvu lisäävät tulvavahinkoriskiä verkostoissa ja uomissa.

3.3 Merenpinnan nousun vaikutukset

3.3.1 Tulvariski

Merenpinnan arvioitu nousu johtuu pääasiassa lämpölaajenemisesta sekä vuoristo- ja napajäätiköiden sulamisesta. Merenpinnan arvioidaan yleisesti nousevan 15–90 cm seuraavan sadan vuoden aikana. BAU-skenaarion mukaan ilmastonmuutoksen eteneminen nostaa meren pintaa keskimäärin noin 6 cm (3–10 cm) vuosikymmenessä seuraavan vuosisadan ajan. Suomen rannikolla jääkauden jälkeinen maan kohoaminen on noin 0,3–1 metriä sadassa vuodessa, jonka johdosta merenpinnan nousun arvioidaan jäävän korkeintaan muutamiin kymmeneen sentteihin seuraavan sadan vuoden aikana. Rannikkoalueilla tulvariskiä vaikuttavat merenpinnan korkeuden lisäksi tuulisuuden muutokset.

Ympäristöoppaan nro 52 "Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa - Suositus alimmista rakentamiskorkeuksista"[35] mukaan rakennukset Suomen sisävesien ja Itämeren rannoilla tulee rakentaa niin korkealle, ettei suurikaan tulva aiheuta rakennuksille vahinkoja. On ilmeistä, että Suomessa on suuri määrä rakennuksia oppaassa olevan suosituksen mukaisten korkeustasojen alapuolella. Tavoitteena on, että rakennuskanta näillä riskialueilla ei enää lisääntyisi.

Meren rannikon tulvavaara poikkeaa sisävesistä. Itämeren rannalla tulvariskiinkin vaikuttavat lyhytaikaisten vedenkorkeusvaihtelujen lisäksi myös pitkän aikavälin muutokset, kuten maan kohoaminen, valtamerien pinnan nousu sekä koko Itämeren vesimäärän muutokset. Itämeren pinnan korkeus seuraa pääpiirteissään valtameren pinnan korkeutta, joskin vuorovesi-ilmiö on vähäinen, Suomen rannikoilla noin 0,1 m. Havaitut ylimmän vedenpinnan korkeudet ovat olleet Kemissä noin +2 metriä, Helsingissä noin +1,3 metriä ja Haminassa noin +1,5 metriä. Valtameren pinnan nousu nostaa vastaavasti keskivedenkorkeutta, jolloin ilmeisesti vaihteluamplitudin pysyessä samana tulvakorkeudet nousevat. Maanpinnan nousu pienentää tulvakorkeuksia jonkin verran. 100 vuodessa maanpinta nousee Helsingissä noin 0,35 metriä, Merenkurkussa noin metrin ja Haminassa noin 0,2 metriä. Vaikutus on niin vähäinen, ettei sitä tule ottaa huomioon tulvariskiä arvioitaessa. Esimerkiksi 0,3 m:n minimiaaltoiluvараа käyttäen suositeltava rakentamiskorkeus on Vaasassa 1,5 m, Kemissä 2,2 m ja Haminassa 2,95 m. Tästä huomattava osa johtuu ennakoidusta valtamerien pinnan noususta yhdellä metrillä ilmaston muuttuessa.

Tulvariskialueella rakennettaessa on veden aiheuttamat vauriot ja haitat estettävä rakenteellisesti. Veden nousu kapillaarisesti maasta rakennukseen on katkaistava rakenteellisesti tulvavaran yläpuolella. Rakennuksen, jota ei käytetä asumiseen tai työpaikana, rakentamiskorkeus voidaan riskien ollessa pienet suunnitella tulvavaran alapuolelle [41].

Nykyisin on rannikkokaupunkien kaavoitusohjeissa rakentamisrajoituksia alavilla alueilla. Nämä koskevat ensi sijassa talonrakennusta. Ohjeistoa on ollut mahdollista muuttaa vastaamaan ilmastonmuutoksen ennakoituja vaikutuksia.

3.4 Tuulisuuden kasvun vaikutukset

Tuulisuuden arvioidaan lisääntyvän erityisesti merialueilla talvella. Maa-alueilla tuulen nopeuden muutos nykytilaan verrattuna olisi 0–3 % siten, että Pohjois-Suomessa ei tapahtuisi tuulisuuden kasvua. Pohjanlahden ja Suomenlahden rannikoilla tuulen nopeudet kasvaisivat talviaikaan 9–20 % nykytilaan verrattuna. Sen sijaan kesäaikaan muutokset nykytilaan olisivat vähäisiä.

Voimakkaat, mereltä puhaltavat myrskytuulet, myrskyyn liittyvä matalapaine ja veden virtaus rannikolle voivat nostaa vedenpintaa huomattavasti ja aiheuttaa tulvimista alavilla alueilla. Myrskytulvien syntyessä tuulen nopeus on yleensä 25 m/s tai enemmän. Rantaan iskevän aallon korkeuteen vaikuttaa aallon korkeus avomerellä, rannan vedensyvyys ja rantakasvillisuus.

Rannikkokaupunkien rakennusjärjestyksissä on esitetty rakennuksille sallitut etäisyydet keskiveden korkeuden mukaisesta rantaviivasta. Ympärivuotiseen asumiseen liittyvissä rakennuksissa sallitut etäisyydet vaihtelevat pääasiassa välillä 30–75 metriä. Edelleen rakennusjärjestyksessä esitetään sallitut alimmat lattiatasot. Sallitun etäisyyden rantaviivasta määrää nykyisin pääsääntöisesti rantamaiseman luonnonmukaisuuden säilyttäminen.

Myrskytuuli ja lumisade ilmenevät lumimyrskynä, joka voi sekoittaa liikenteen ja haitata kaikenlaista toimintaa ulkosalla. Lumen määrä tuulessa kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa. Lunta voi kinostua tielle suuria määriä, jos tien pinta on ympäröivän hangen pinnan alapuolella, jolloin myös pyörteisessä ilmavirtauksessa tuulen kuljettama lumi putoaa alas.

3.5 Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista maa- ja vesirakentamiseen

3.5.1 Johtopäätökset lämpötilan nousun vaikutuksista

SILMU-ohjelman ilmastoskenaarioissa arvioidaan Suomen keskilämpötilan muuttuvan seuraavan sadan vuoden aikana 1,1–6,6 °C (keskiskenaariossa 4,4 °C). Suurimmat lämpötilan nousut koskisivat talvia. Lumettomien alueiden keskimääräisten talvien roudan syvyydet pienenisivät noin 0,5–1,0 m nykyisestä. Etelärannikolla useammin kuin joka toinen vuosi routaa ei olisi käytännössä ollenkaan. Kylmien ja lämpimien rakenteiden routasuojaustarve pienenesi selvästi. Kylmien rakenteiden riittävä perustussyvyys olisi Etelä-Suomessa noin 0,7 m ja Pohjois-Suomessa noin 0,4 m nykyistä pienempi tai matalaan perustettaessa vaadittavat routaeristepaksuudet olisivat noin 50–100 mm ohuempia kuin nykyisin (EPS- ja XPS-eristeet). Lämpimien maanvastaisten ja ryömintätilaisten alapohjarakenteiden matalaperustamisen yhteydessä riittävän routasuojaustason määräävät lämmöneristysmääräyksissä esitetyt alapohjarakenteiden sallitut lämmönläpäisykertoimet. Nykyisillä määräyksillä riittävä routasuojaustaso saavutettaisiin keskimäärin noin 0,4–0,5 m nykyistä pienemmillä perustussyvyyksillä tai nykyisillä perustussyvyyksillä voitaisiin routaeristeitä ohentaa noin 30–50 mm (EPS- ja XPS-eristeet). Mikäli tulevaisuudessa määräyksillä pienennetään energiasyistä lämpimien rakennusten alapohjien sallittuja lämmönläpäisyarvoja, rakennusten ulkopuolinen routasuojaustarve vastaavasti kasvaa. Vaikka talven ilmasto keskimäärin lämpenisikin huomattavasti, voi pitkinä korkeapainejaksoina kehittyä hyvin alhaisia lämpötiloja sekä pohjoisesta virrata hyvin kylmää ilmaa Suomeen. Keskitalvelle osuva pitkä korkeapainejakso voi nopeasti aiheuttaa roudansyvyyden merkittävää kasvua. Routasuojaus on tulevaisuudessakin tarpeen koko maassa. Lievää ohentamista routasuojauksissa voitaisiin teoriassa harkita. Käytännössä nykytaso lienee perusteltu.

Teiden talvikunnossapidon arvioidaan lisääntyvän tammi- ja helmikuiden osalta lisääntyvien lumenpoiston ja liukkauden torjunnan vaikutuksesta. Sen sijaan maaliskuu-, marraskuu- ja joulukuussa lauhtumisen seurauksena kunnossapito vähenee, sillä etenkin marraskuussa sateet tulisivat vetenä.

3.5.2 Johtopäätökset sadannan kasvun vaikutuksista

SILMU-ohjelman keskiskenaarion mukaan sademäärän lisäys nykyiseen sademäärään verrattuna olisi 30 mm vuonna 2050 ja 60 mm vuonna 2100. Sateiden lisäys painottuisi talvikuukausiin, jolloin sade lämpötilan noususta johtuen tulisi varsinkin etelässä vetenä eikä lumena. Sulaminen ja vesisateet voivat tällöin synnyttää talvitulvia. Etelä-Suomessa tammi–helmikuun valunnan arvioidaan kaksinkertaistuvan, ja joulukuussa lisäys olisi 60 %. Nykyinen kevättulva väistyisi Etelä-Suomesta. Pohjois-Suomessa kevättulva aikaistuisi ja jäisi monina vuosina nykyistä pienemmäksi. Suurten kevättulvien riski kuitenkin säilyy, koska talven sademäärän ennakoidaan lisääntyvän ja pohjoisessa sateet tulevat edelleen pääosin lumena.

Tulvimisen lisääntyminen johtaisi alavilla alueilla mm. kiinteistöjen kellaritilojen ja tierakenteiden alikulkukäytävien lisääntyvään tulvimiseen. Tulvat voivat myös rikkoa tai siirtää esim. tierakenteita ja rumpuja. Ympäristölle vaarallisten kohteiden mm. jäte- ja raaka-ainevarastot, kaatopaikat, jäteveden käsittelylaitokset tms. osalta riskinä on, että tulva voi kuljettaa pois vaarallisia aineita.

Todennäköisyys sille, että lähimmän sadan vuoden aikana sattuu harvinaisempi kuin keskimäärin kerran 100 vuodessa toistuva tulva, on 63 %, ja harvinaisempi kuin keskimäärin kerran 500 vuodessa toistuva tulva, 18 % [23]. Koska tulvat kuuluvat luonnonilmiöihin, joiden ääritilanteiden tarkkaa esiintymisajankohtaa ei pystytä ennakoimaan, on täysin mahdollista, että hyvin poikkeuksellinen tulva esiintyy useamman kerran lyhyen ajan sisällä. Näin kävi esimerkiksi Reinillä, jossa vuosien 1995 ja 1997 tulvat olivat molemmat toistuvuudeltaan keskimäärin kerran 100 vuodessa. Tulvien luonteeseen kuuluu myös se, että niille ei voi määrittää ehdotonta ylärajaa, joten on mahdollista, että Suomessa esiintyy vielä selvästi pahempi tulva kuin suurtulvaselvityksessä on arvioitu [36].

Pohjavedenpinta tulee nousemaan sademäärien kasvaessa, lumen lisääntyneen sulannan takia ja maapohjan ollessa talvisin pidempiä aikoja sulana. Maan vesipitoisuuden kasvaessa sen lujuus pienenee ja esim. tierakenteiden kantavuus alenee. Pohjavedenpinnan nousu voi estää myös perustusten kuivatusrakenteiden toiminnan. Liian suuri suhteellinen kosteus aiheuttaa rakenteiden vaurioitumista: mm. puurakenteiden lahoamista ja homehtumista sekä esim. putkien ja teräspaalujen korroosiota.

Sadannan lisääntyminen aiheuttaa vesialtaissa pinnan nousua, mikä nostaa myös pohjaveden pintaa. Maaperän vesipitoisuuden kasvaessa kuormitus kasvaa ja huokosvedenpaine nousee, jolloin maan lujuus alenee. Sadannan kasvu lisää myös virtaamaa vesistöissä, jolloin eroosioriski kasvaa. Maa-aineksen syöpyminen virtauksen vaikutuksesta vaikuttaa luiskan stabiliteettiin. Eroosiota ja sortumia voi tulevaisuudessa tapahtua korkeustasoilla, joilla vastaavaa ei ole aikaisemmin esiintynyt.

Lisääntyvästä tulvimisesta voi aiheutua myös eroosiota, syöpymistä ja huuhtoutumista siltojen, tukirakenteiden ja pengerrakenteiden yhteydessä, jolloin tarvitaan suurempia rumpuja pengertäytteen alle jne. Tulvimisesta aiheutuva sisäinen eroosio voi aiheuttaa rakennevaurioita mm. pengerrakenteissa, padoissa ja putkikaivannoissa.

3.5.3 Johtopäätökset merenpinnan nousun vaikutuksista

Merenpinnan arvioitu nousu (valtamerissä 15–90 cm) johtuu pääasiassa lämpölaajenemisesta sekä vuoristo- ja napajäätiköiden sulamisesta. Suomen rannikolla maan kohoaminen kompensoi merenpinnan nousua, ja ennustettu nousu olisi enimmillään muutamia kymmeniä senttejä. Rannikkoalueilla tulvariskiinkin vaikuttaa merenpinnan korkeuden lisäksi ennustettu tuulisuuden lisääntyminen.

4. Ilmastomuutoksen vaikutukset talonrakennukseen

4.1 Sadannan ja lämpötilan muutosten vaikutukset rakennusten ulkopinnoille

Kosteuden vaikutukset rakenteisiin ovat haitallisia. Kosteuslähteinä ovat sade, ilman kosteus, maaperän kosteus, pohjaveden pinnan nousu sekä pintavesien lisääntyminen. Ennustetut sademäärän muutokset Suomessa ovat varsin suuria, jopa 10 %. Muutos tapahtuu lähinnä syksyn sademäärässä. Ilmastomuutosskenaariossa on sademäärän ja haihdunnan erotuksen kasvu selvästi sademäärän kasvua suurempi. Tämä johtuu suurelta osin siitä, että nykyiset lumisateet tulevat enenevässä määrin vetenä. Kasvu on pienempi talvi- ja kevätkausina, mutta jo kesällä kasvu on huomattava. [31].

Ulkoverhousien pääasiallinen tarkoitus on suojata runkoa ja eristeitä. Sateiden lisääntyminen vaikuttaa rakennusten ulkopintojen kosteuskuormiin, ja rakennuksen ulkoverhousien saderasitukset kasvavat pelkästään lisääntyneestä sadannasta johtuen 20–50 %. Tässä ei ole otettu huomioon tuulisuuden lisääntymistä eli viistosateen kasvua. Viistosade lisää seinärakenteille ja ikkunoille tulevaa rasitusta. Ennusteiden mukaan viistosateet tulevat lisääntymään sekä tuulen nopeuden kasvun myötä että talvisateiden lisääntyessä. Viistosateen aiheuttamat ongelmat eivät ole toki kaikkialla yhtä merkittäviä, mutta rannikkoseutujen avonaisilla paikoilla viistosateen vaikutuksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Esimerkiksi ulkomaalausten ja puuverhousien käyttöikä lyhenee ja/tai huoltoväli lyhenee ja sienten (home, laho) ja mikrobien kasvu-edellytykset ulkopinnoilla paranevat. Viistosateen aiheuttamaan kosteusrasitukseen voidaan vaikuttaa rakennuksen muodolla sekä rakenteen yksityiskohdilla, kuten räystäillä ja katoksilla.

Sateiden ja myrskyjen lisääntyminen vaikuttaa rakenteiden tuuletuksen sisääntuloaukkojen toimintaan. Nykyisin joissakin ratkaisuissa myrskysade aiheuttaa vesivuotoja rakenteisiin ja/tai sisätiloihin. Tällaisien ei-toivottujen tapahtumien lisääntyminen johtaa aukkojen rakenteiden muutostarpeeseen. Esimerkiksi myrskypelti-, ikkunapelti- ja ivtulokanavien ulkoilmalaitteet saattavat vaatia uusien tuotteiden kehittämistä ja osin nykyisten ratkaisuiden korvaamisen uusilla. Sama saattaa koskea myös katoille asennettavia iv-koneita ja hormeja.

Erityisen tärkeäksi nousevat työn laatu ja käytetyt materiaalit, jotta taataan, että rakenteet pysyvät kuivina. Ikkunat ja ulkoverhoukset liitoksineen joutuvat alttiiksi voimakkaalle rasitukselle.

Talvien lyhenemisen myötä lämpötilan 0 °C -ohituskertojen määrä pienenee maan eteläisissä osissa ja lisääntyy pohjoisessa, kun lämpötilavaihtelun oletetaan olevan samanlainen kuin tällä hetkellä. Toisin sanoen pakkasvaurioiden todennäköisyys pakkasvaurioille alttiille julkisivuille pienenee Etelä-Suomessa ja kasvaa Pohjois-Suomessa.

Lämpötilan kohoaminen ja sadannan kasvu voivat aiheuttaa ongelmia betonin kemiallisen syöpymisen lisääntyessä. Lisäksi vaihtelut vuodenaikojen välillä (kuivat kesät ja kosteat syksyt) voivat lisätä halkeilutaipumusta. Tämä lisää kunnossapidon tärkeyttä sekä betonin käyttäytymisen tuntemista muuttuvissa olosuhteissa. Myös esteettiset haitat voivat lisääntyä julkisivumateriaalina käytetyn betonin epätasaisen likaantumisen ja värimuutosten myötä.

Suhteellisen kosteuden pysyessä nykyisellään ja lämpötilan kohotessa ns. märkäaika lisääntyy. Märkäajalla indikoidaan mm. metallirakenteiden korroosiota ja sillä tarkoitetaan aikaa, jolloin suhteellinen kosteus on yli 80 % ja lämpötila korkeampi kuin 0 °C. Korroosiolle alttiiden ulkorakenteiden (teräsrakenteet, peltikatot yms.) korrosio lisääntyy ilmaston muuttuessa.

Ultravioletisäteilyn määrä vaikuttaa myös materiaalien säilymiseen rakennusten ulkopinnoissa. On arvioitu (luku 2), että lähivuosikymmeninä tapahtuu otsonikatoon liittyvää säteilymäärän kasvua, joka voi nykytasoon verrattuna olla Lapissa keväisin jopa 30 %. Koko vuoden UV-B-säteilymäärinä muutokset lienevät enintään kymmenen prosentin suuruusluokkaa. Arvioidaan, että seuraavan sadan vuoden aikana tapahtuu ilmastomuutokseen liittyvää UV-B-säteilyn vähenemistä kaikkina vuodenaikoina siten, että palataan alle nykyisen säteilytason.

Perustusten kuivatusjärjestelmät tulee suunnitella sellaisiksi, että ne eivät pääse pakkaskausinaan jäätymään ja että rakennusten sokkelinvieri- ja piha-alueet ovat riittävän kaltevat niin, että sulan kauden aikana ei tapahdu lammikoitumista eikä pakkaskauden tullessa niiden jäätymistä. Sama koskee myös työmaiden työnaikaisia kuivatusjärjestelmiä.

4.2 Lämpötilamuutosten vaikutusten arviointi rakennusten rakennusfysikaaliseen toimintaan

Rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta tarkasteltaessa oleellisemmat lähtöarvot ovat rakennetta ympäröivän ilman lämpötila- ja kosteusolosuhteet [39]. Ilmastomuutoksia käsittelevässä raportissa [31] on esitetty lämpötilan keskimääräinen kohoaminen alueittain sekä eri vuodenaikoina. Sen sijaan vuorokautisista lämpötilavaihteluista ei ole eriteltyä tietoa, joten sekä lämpötila- että kosteusvaihteluiden on oletettu pysyvän nykyisen kaltaisina. Ilman suhteellisen kosteuden muutoksissa on erisuuntaisia arvioita eikä näin

ollen selvää muutostrendiä ole tiedossa. Suhteellisen kosteuden on oletettu pysyvän ennallaan.

Seuraavassa on tarkasteltu muuttuvien ilmasto-olosuhteiden vaikutusta rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimivuuteen. Tarkastelu on kohdistettu seinärakenteisiin ja laskennallisia tarkasteluja on tehty kevyelle puurakenteiselle seinälle sekä betoni-sandwich-rakenteiselle seinälle. Laskennassa on otaksuttu rakenteiden olevan oletettuisa ilmasto-olosuhteissa siten, että rakenteisiin ei pääse vettä vetenä. Tarkastelussa on laskettu vesihöyryn kulkeutumisesta rakenteissa ja siten kosteustilaa.

Oletettuina ilmasto-olosuhteina on käytetty luvussa 1 esitettyä arviota ilmaston kehityksestä sekä Helsingin, Jyväskylän ja Sodankylän säätietoja. Ilmaston on oletettu lämpenevän siten, että vuotuinen keskilämpötila nousee 4 °C Helsingissä, Jyväskylässä ja Sodankylässä. Lämpeneminen on voimakkaampaa talvella (6 °C) ja vähäisempää kesällä (2 °C). Lämpötila- ja kosteusolosuhteiden muutosten lisäksi muiden muuttuvien olosuhteiden vaikutuksia on arvioitu joidenkin tekijöiden osalta nykyisten rakennusten ja rakenteiden toimivuuden ja niissä esiintyvien ongelmien pohjalta.

Laskelmat on tehty kahdelle erityyppiselle seinärakenteelle: tuuletetulle betoni-sandwich-rakenteelle (BSW) sekä seinälle, jossa on puu-ulkoverhous, tuuletusväli ja sellukuitueriste (taulukko1).

Taulukko 1. Laskennassa käytetyt seinärakenteet.

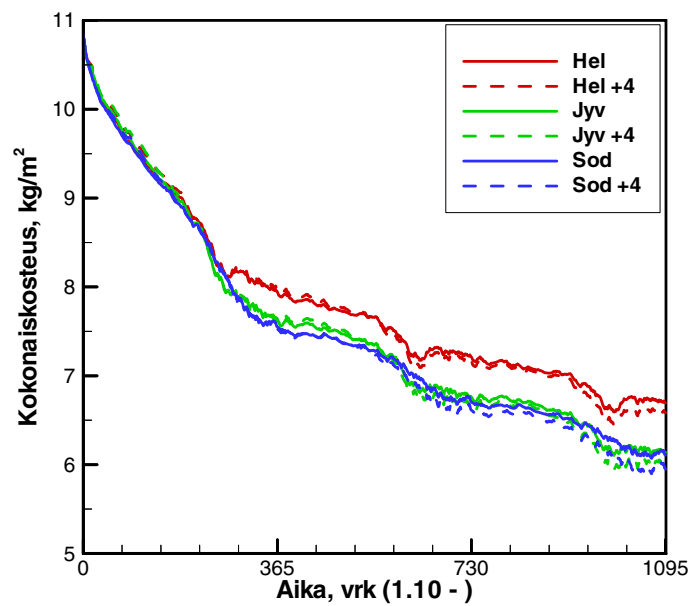
Betoni-sandwich-rakenne (BSW)	Puu-ulkoverhous
70 mm betoni	25 mm lautaulkoverhous
20 mm tuuletusväli	25 mm tuuletusväli
160 mm mineraalivillaeristys	25 mm huokoinen kuitulevy
80 mm betoni	150 mm sellukuitueriste
	rakennuspaperi
	12,5 mm kipsilevy + maali

Viistosateen vaikutusta ei otettu tässä laskennassa huomioon, vaan rakenteiden oletettiin olevan tiiviitä siten, että ulkoverhous estää rakenteen kostumisen. Laskenta-ajanjakso oli 3 vuotta alkaen lokakuun 1. päivästä.

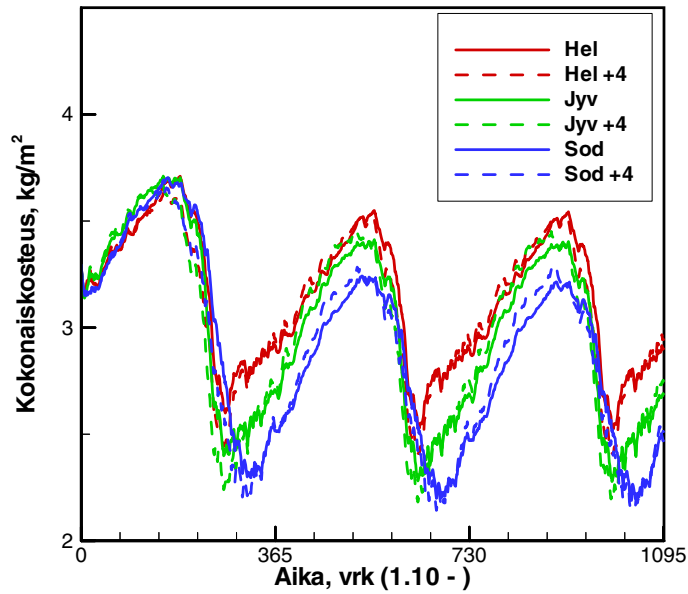
Sisäilman olosuhteina käytettiin +3 g/m³ kosteuskuormaa siten, että maksimikosteuslisä saavutetaan ulkoilman lämpötiloilla $T < 0$ °C, ja kosteuslisä pienenee lineaarisesti nol- laan ulkoilman lämpötilan noustessa 20 °C.

Puurakenteisen seinän tapauksessa laskettiin lisäksi seinän käyttäytyminen vakiosisäilmasto-oloissa 21 °C ja 50 % suhteellinen kosteus, minkä oletettiin aiheuttavan kosteusongelmia höyrynsuluttomaan seinärakenteeseen.

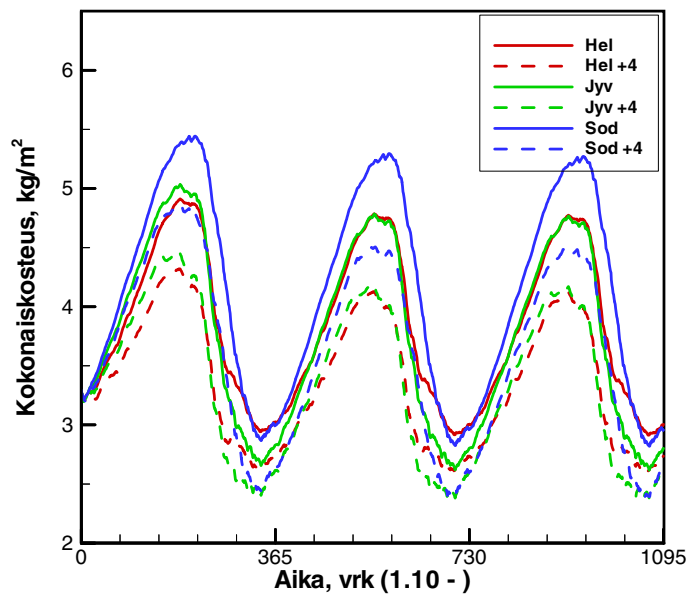
Kuvassa 14 on tulokset betoni-sandwich-seinän kuivumisesta nykyolosuhteissa ja olosuhteissa, joissa lämpötila on keskimäärin 4 °C nykyistä korkeampi. Kuvassa 15 on vastaavasti esitetty puuseinän kosteustekninen toiminta. Kuvassa 16 on laskettu puuseinän kosteus otaksuen sisäilman kosteudeksi 50 % RH. Kuvassa 17 on laskettu tuulen-suojalevyn kosteus sisäilman kosteuden ollessa 50 % RH.



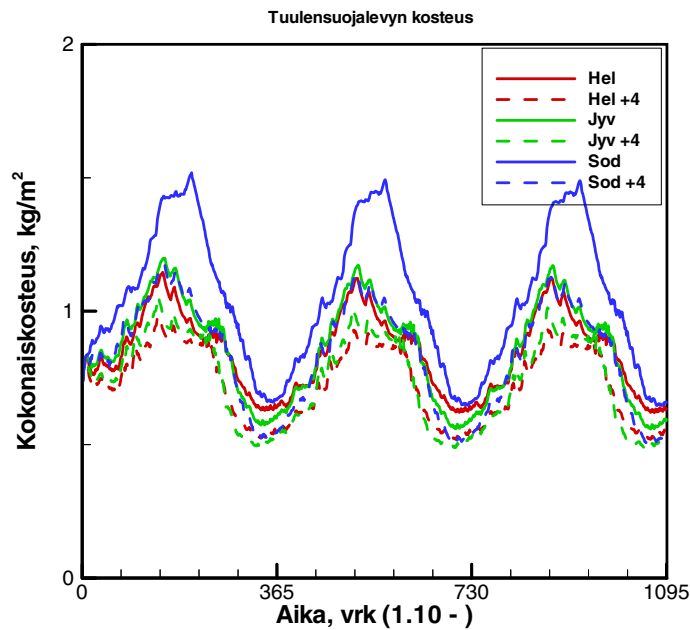
Kuva 14. Betoni-sandwich-seinän kokonaiskosteus ajan funktiona (kuivuminen valmistuksen jälkeen).



Kuva 15. Puurakenteisen seinän kokonaiskosteus ajan funktiona. Sisäilman lämpötilä 21 °C (tai ulkoilman lämpötilä +3 °C, jos suurempi) ja kosteuslisä (lineaarinen ulkoilman lämpötilan mukaan) 0 - +3 g/m³.

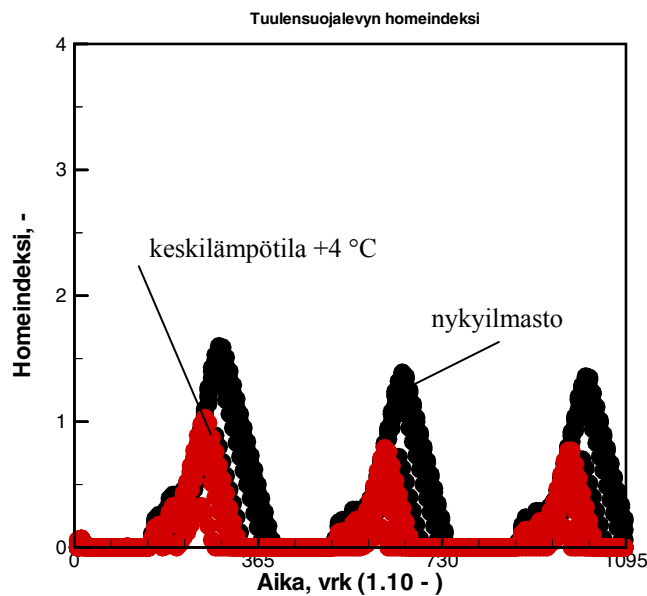


Kuva 16. Puurakenteisen seinän kokonaiskosteus ajan funktiona. Sisäilman suhteellinen kosteus 50 %, lämpötilä 21 °C.

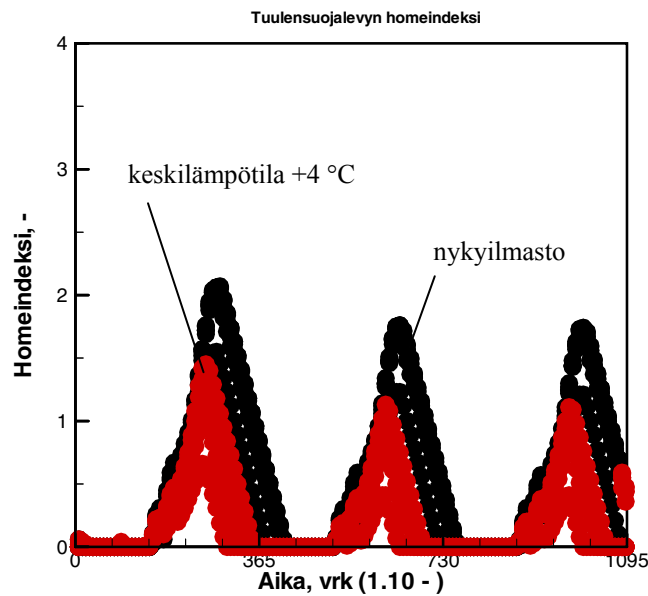


Kuva 17. Puurakenteisen seinän tuulensuojalevyn kosteus ajan funktiona. Sisäilman suhteellinen kosteus 50 %, lämpötila 21 °C.

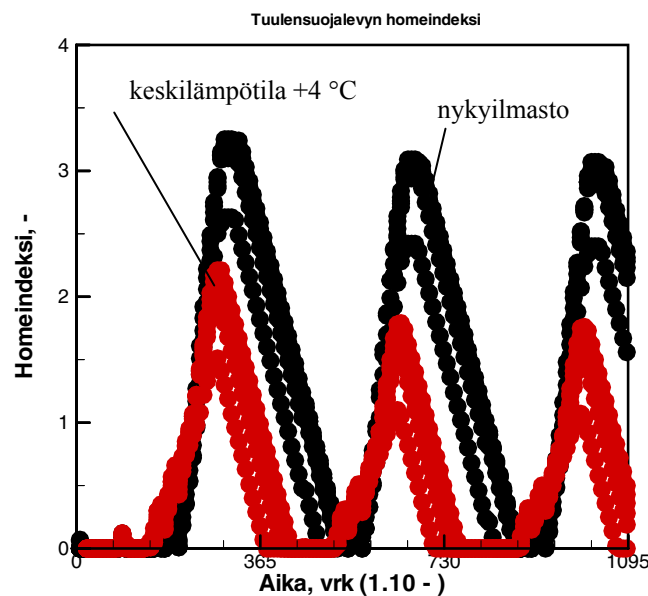
Kuvissa 18–20 on esitetty tuulensuojalevyn homeindeksin muuttuminen eri paikkakunnilla. Homeindeksi kuvaa homeen kasvua rakenteen pinnoilla (1 = mikroskooppista homeen kasvun alkua, 3 = silmin havaittavaa hometta ja 4 = pinta 10 % homeen peitossa).



Kuva 18. Puurakenteisen seinän tuulensuojalevyn homeindeksi ajan funktiona. Sisäilman suhteellinen kosteus 50 %, lämpötila 21 °C. Paikkakunta Helsinki.



Kuva 19. Puurakenteisen seinän tuulensuojalevyn homeindeksi ajan funktiona. Sisäilman suhteellinen kosteus 50 %, lämpötila 21 °C. Paikkakunta Jyväskylä.



Kuva 20. Puurakenteisen seinän tuulensuojalevyn homeindeksi ajan funktiona. Sisäilman suhteellinen kosteus 50 %, lämpötila 21 °C. Paikkakunta Sodankylä.

Laskelmien perusteella oli yksiselitteisesti todettavissa, että ilmastonmuutoksen aiheuttamat vaikutukset tarkasteltujen seinärakenteiden toimintaan eivät ole haitallisia. Ilmaston muuttuessa rakenteet pysyvät nykyolosuhteita kuivempina, ja rakenteiden homehtumispotentiaali pienenee. Tämä edellyttää, että seinän ulkopinta on tiivis ja seinärakenteeseen ei pääse vettä vetenä. Tämä ei koske seinän ulkoverhousta.

Rakenteiden vaippojen (poisluettuna ulkoverhoukset) olosuhteet paranevat, koska pakkasajanjaksot lyhenevät ja yli 0 °C:n ajanjaksot pitenevät. Yleensä rakenteiden kosteus lisääntyy pakkaskausina ja kuivuminen tehostuu merkittävästi, kun lämpötila kohoaa 0 °C:n yläpuolelle. Rakennusmateriaalien tasapainokosteus alenee lämpötilan kohotessa ja suhteellisen kosteuden pysyessä vakiona. Tälläkin tekijällä on vähäinen vaikutus siihen, että rakenteet toimivat nykyistä kuivempina.

4.3 Tuulikuormat

Rakennukset suunnitellaan yleensä 50–100 vuoden käyttöikää varten. Nykyisissä rakennusnormeissa, kuten Eurocodeissa, sääilmiöiden aiheuttamat tilastolliset äärikuormat määritellään 50 vuoden toistuvuusajan perusteella. Ne puolestaan perustuvat yleensä ilmastodataan nykyhetkeä edeltävältä 30 vuoden ajanjaksolta. Siten tuleva ilmastonmuutos olisi jo nyt otettava huomioon suunnittelussa sekä käyttöikään liittyvisä tarkasteluissa.

Rakenteiden suunnittelussa onnettomuusriskiä arvioidaan historiatietojen perusteella. Tällä hetkellä on mahdotonta arvioida ilmastollisia muutoksia tulevaisuudessa samalla tarkkuudella. Kuitenkin olisi tärkeää huomata, että vaikutusten epälineaarisuus voi suurentaa vaikutuksia. Ääri-ilmiöiden huomioiminen suunnitteluarvojen määrittämisessä vaatii lisäselvityksiä, joiden pohjalta voidaan päivittää nykyisiä suunnitteluohjeita.

4.3.1 Tuulikuormien määrittäminen tällä hetkellä

Arvio tuulikuormien suuruudesta perustuu historiatietoihin, joiden perusteella määritetään todennäköisyysperiaatteen mukaan rakenteen käyttöaikana esiintyvät suurimman tuulikuorman vaikutukset [30].

Tuulen aiheuttamat kuormat muuttuvat ajan funktiona, mutta monissa rakenteissa dynaaminen vaikutus on pieni, ja tuulikuormaa voidaan käsitellä staattisena kuormitukseksi. Tärkein tuulikuormien määrittämisperuste on tuulen nopeus. Suunnittelussa käytetään rakenteen käyttöaikana esiintyvää suurinta tuulen nopeutta, johon vaikuttavat maantieteellinen ja alueellinen sijainti, korkeusasema, kohteen koko ja muoto, katon kaltevuus sekä tuulen suunta ja kohdentuvuus. Nämä parametrit on taulukoitu tuulen suunnittelunopeuden laskemista varten ja muunnettaessa tuulen nopeutta vastaaviksi rakenteeseen kohdistuviksi voimiksi. Suunnitteluarvoja määritettäessä oletetaan, että tuulisuuden luonne (mediaani, varianssi) eivät tulevaisuudessa muutu.

Tuulen nopeudet vaihtelevat tilastollisesti alueittain. Tuulen nopeudet esitetään isometreinä, jotka osoittavat kartalla samansuuruisen tuulen perusnopeuden sijaintipaikat. Tuulen perusnopeudella tarkoitetaan Eurocode 1:ssä, osassa 2.4 [6] keskinopeutta, joka mitataan 10 m tasaisen maanpinnan (maastoluokka II) yläpuolella 10 minuutin keskiarvona ja toistumisjakson ollessa 50 vuotta.

Keskimääräinen tuulen nopeus määritetään kertomalla perusnopeus kertoimilla, jotka ottavat huomioon korkeuden, maaston karkeuden ja alueellisen sijainnin. Tuulen nopeuspaine on verrannollinen tuulen nopeuden neliöön.

4.3.2 Tuulikuormien muutosten vaikutukset

Myrskyjen aiheuttamat vahingot rakennuksille ovat Suomessa olleet vähäisiä verrattuna esimerkiksi Englannissa tapahtuviin vahinkoihin [8]. Tämän hetkisten ennusteiden mukaan ääri-ilmiöiden yleisyys lisääntyy ja näin ollen voimakkaita myrskyjä esiintyy tulevaisuudessa nykyistä enemmän.

Luonnonilmiöiden toistuvuuden arviointi perustuu historialliseen dataan, jonka avulla pystytään arvioimaan tietyllä voimakkuudella esiintyvän ilmiön todennäköisyys. Usein esiintyvien ilmiöiden osalta tällainen tarkastelu antaa luotettavan tuloksen, mutta ääri-ilmiöiden esiintymisen todennäköisyyden arvioiminen historiallisen datan perusteella on epävarmaa. Toisaalta juuri ääri-ilmiöiden, kuten myrskyjen ja tulvien, esiintymistodennäköisyys on oleellista rakennuksia ja rakenteita suunniteltaessa, eivät niinkään keskimääräiset tuulennopeudet. Nykyiset ilmastomallit eivät kuitenkaan nykyisellään sovi kovin hyvin sääilmiöiden vaihtelevuuden kuvaamiseen. Yleensä simuloinneissa oletetaan, että ääriarvot muuttuvat suorassa suhteessa keskiarvoihin, ts. ilmiöiden hajonta ei muutu, vaikka todellisuudessa näin ei liene. Esiin on noussut tarve kehittää uusia menetelmiä harvinaisten luonnonilmiöiden toistuvuuden luotettavaksi analysoimiseksi.

Uusien rakennusten osalta tuulien voimistuminen ja myrskyjen lisääntyminen voidaan huomioida päivittämällä ohjeita ja normeja vastaamaan oletettua kehitystä. Olemassa olevia rakennuksia tai rakenteita voidaan parantaa siten, että ne eivät vahingoitu myrskyissä esimerkiksi aerodynaamisia ominaisuuksia parantamalla.

Tuulikuormamaksimien kasvaessa erityistä huomiota on kiinnitettävä kattojen ja etenkin katteiden kiinnityksiin erityisesti räystääsalueilla. Samoin tuulikuormien kasvu voi edellyttää muiden julkisivuihin kiinnitettävien varusteiden (valaisimet, mainokset yms.) tukevampaa kiinnittämistä.

4.4 Lumikuormat

Tällä hetkellä lumikuormat lasketaan hydrologisesti havaittujen vuotuisten enimmäisarvojen perusteella. Suomi on jaettu tasa-arvokäyrien avulla alueisiin, joilla vaakasuoraa projektiota kohti lumikuorman suuruus maastossa vaihtelee 1,4–2,6 m maan eri osissa. Nämä arvot perustuvat mittauksiin 30 vuoden ajalta. Lisäksi tulee huomioida kinostumisen vaikutukset sekä katon muoto.

Lumikuormia on perinteisesti käsitelty määrittelemällä alueittain vakiona pidettävä pintakuorma. Tällaisessa tarkastelussa ei oteta huomioon merkittäviä vaihteluita, joita aiheuttaa sateisuuden määrästä, kasautumisesta ja tuulisuuden vaihtelusta.

Muotokerrointa käyttäen voidaan ottaa huomioon katon erilaisia muotoja. Sen avulla voidaan käsitellä lumen keräytymistä kaiteiden taakse, katon matalimmille osille ja laaksoissa. Tyynissä oloissa tapahtuvan lumen satamisen lisäksi täytyy ottaa huomioon tuulen vaikutukset, jotka voivat muuttaa kasautumista. Huonosti lämpöeristetyissä katoissa lumikuorma voi muuttua jääkuormaksi. Eurocode 1, osa 2.3 [5] ei sisällä ohjeita tuulen lisävaikutuksesta lumikuormaan eikä jään kertymisestä, eikä myöskään ympäri vuoden vaikuttavista lumikuormista.

Talven sateista yhä suurempi osa tulee vetenä, mikä vaikuttaa lumikuormien suuruuteen Etelä-Suomessa. Toisaalta lumikuormat voivat lisääntyvien sademäärien myötä kasvaa Pohjois-Suomessa.

4.5 Vaikutusten arviointi rakentamisolosuhteiden kannalta

Talvien lämpeneminen helpottaa talvirakentamista esimerkiksi betonoinnin suhteen ja routasyvyyksien pienentyessä. Vetenä tulevien sateiden lisääntyessä talvisaikaan voi rakenteiden kuivattaminen aiheuttaa lisäkustannuksia sekä rakenteiden vaurioitumisriskin kasvua. Tuulisuuden lisääntyminen ja erityisesti myrskyjen lisääntyminen voi aiheuttaa hankaluuksia erityisesti rannikkoalueilla ja avarilla paikoilla rakennettaessa. Toistuvat sulamis- ja jäätymisvaihtelut lisäävät kunnossapidon tarvetta myös rakennustyömailla ja asettavat rakennusmateriaalien säilytykselle lisävaatimuksia.

Työmailla, joissa rakennukset perustetaan paalujen varaan, on huolehdittava suojauksin siitä, että paaluja ympäröivä kostea maa ei pääse jäätymään paaluihin kiinni ja kohottaamaan loppulyöntien jälkeen paaluja, jonka seurauksena voi olla perustuksen painuminen.

4.6 Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista talonrakennukseen

Lämpötilan kohoaminen, sateiden lisääntyminen, muutokset pohjaveden korkeudessa ja voimakkaiden tuulien lisääntyminen vaikuttavat talonrakentamiseen kohdistuviin vaarallisiin sekä rakentamisolosuhteisiin.

Sateiden lisääntyminen lisää rakennusten ulkopintojen kosteuskuormaa. Viistosade lisää seinärakenteille ja ikkunoille tulevaa räsitusta. Erityisesti huokoisten materiaalien kosteushaitat sekä esteettiset haitat lisääntyvät. Sademäärän ja haihdunnan välinen ero kasvaa enemmän kuin sademäärä, josta seuraa, että rakennusten ulkoverhouksen räsitukset kasvavat 20–50 %. Myös toistuvat 0 °C -ohituskerrat lisäävät seinärakenteille tulevaa räsitusta. Tästä seuraa, että ulkoverhousten käyttöikä lyhenee tai huollon tarve lisääntyy. Ulkoverhousmateriaalien tulisi olla tulevaisuudessa entistä paremmin kosteutta ja tuulisuutta kestäviä.

Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta muuttuu lämpötilan kohotessa. Pakkasajanjaksojen lyhetyssä seinärakenteiden olosuhteet paranevat lukuun ottamatta ulkoverhouksia. Yleensä rakenteiden kosteus lisääntyy pakkaskausina ja kuivuminen tehostuu merkittävästi, kun lämpötila kohoaa 0 °C:n yläpuolelle. Rakennusmateriaalien tasapainokosteus alenee lämpötilan kohotessa, ja suhteellinen kosteus pysyy vakiona. Ilmaston muuttuessa rakenteet pysyvät nykyolosuhteita kuivempina ja rakenteiden homehtumispotentiaali pienenee lukuun ottamatta katteita ja seinien ulkoverhouksia.

Suhteellisen kosteuden pysyessä nykyisellään ja lämpötilan kohotessa ns. märkä-aika lisääntyy. Märkäajalla indikoidaan mm. metallirakenteiden korroosiota, ja sillä tarkoitetaan aikaa, jolloin suhteellinen kosteus on yli 80 % ja lämpötila korkeampi kuin 0 °C. Korroosiolle alttiiden ulkorakenteiden (teräsrakenteet, peltiverhoukset yms.) korrosio tulee lisääntymään.

Sateiden ja myrskyjen lisääntyminen vaikuttaa rakenteiden tuuletuksen sisääntuloaukkojen toimintaan. Nykyisin joissakin ratkaisuissa myrskysade aiheuttaa vesivuotoja rakenteisiin ja/tai sisätiloihin. Tällaisten ei-toivottujen tapahtumien lisääntyminen johtaa aukkojen rakenteiden muutostarpeeseen. Esimerkiksi myrskypelti-, ikkunapelti- ja ivtulokanavien ulkoilmalaitteet saattavat vaatia uusien tuotteiden kehittämistä ja osin nykyisten ratkaisuiden korvaamisen uusilla. Sama saattaa koskea myös katoille asennettavia iv-koneita ja hormeja.

Erityisen tärkeäksi nousevat työn laatu ja käytetyt materiaalit, jotta taataan, että rakenteet pysyvät kuivina. Ikkunat ja ulkoverhoukset liitoksineen joutuvat alttiiksi voimakkaalle räsitukselle.

Uusien rakennusten osalta tuulien voimistuminen ja myrskyjen lisääntyminen sekä muutokset lumikuormissa voidaan ottaa huomioon päivittämällä ohjeita ja normeja vastaamaan oletettua kehitystä. Olemassa olevia rakennuksia tai rakenteita voidaan parantaa siten, että ne eivät vahingoitu myrskyissä esimerkiksi aerodynaamisia ominaisuuksia parantamalla ja huolehtimalla lumen riittävästä puhdistuksesta.

Tuulikuormamaksimien kasvaessa erityistä huomiota on kiinnitettävä kattojen ja etenkin kattojen kiinnityksiin erityisesti räystääsalveilla. Samoin tuulikuormien kasvu voi edellyttää muiden julkisivuihin kiinnitettävien varusteiden (valaisimet, mainokset yms.) tukevampaa kiinnittämistä. Korkeiden rakenteiden, kuten mastot ja voimalinjat, rakennetekniseen mitoittamiseen on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota.

5. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tie-, katu-, vesi ja viemäriverkostoihin

5.1 Lämpötilan kohoamisen vaikutus

5.1.1 Routasyvyyden muutosten vaikutukset

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa lumen ja roudan määrään ja sitä kautta routasuojaus-tarpeeseen. Lapissa tulevat roudan paksuudet vastaisivat tämän vuosisadan lopulle mentäessä tämänhetkisiä Etelä-Suomen roudan paksuuksia. Arvioiden mukaan Etelä-Suomessa maa on joulukuussa yleensä sula, ja vielä tammikuussa maa on puoliksi sulaa. Keski- ja Pohjois-Suomessa täysin sulan maan esiintymistodennäköisyys ei kasva yhtä paljon kuin Etelä-Suomessa, ja Lapissa maan pinta on yleensä jäässä joulukuussa vielä noin sadan vuoden kuluttuakin.

Maan ollessa lumeton roudan keskimääräisen vuosittaisen maksimipaksuuden arvioidaan ohenevan tämän vuosisadan loppuun mennessä Etelä- ja Keski-Suomessa nykyisestä 1,0–1,5 metristä arvoon 0,5–1,0 metriä. Pohjois-Suomessa muutos olisi nykyisestä 2,0–3,0 metristä arvoon 1,0–2,0 metriä. Vaikka talvet ovat lämpimämpiä, kasvaa siitä huolimatta jäisen maan esiintymistodennäköisyys Etelä-Suomessa keskitalvella, koska lumipeite ohenee. Vuoden keskilämpötilan nousu noin 4 °C pienentäisi talven pakkasmääriä noin 20 000 h °C, jolloin keskimääräiset pakkasmäärät vastaisivat nykyisin tilastollisesti keskimäärin noin kerran 5 tai 10 vuodessa toistuvaa leutoa talvea.

Vaikka talven ilmasto keskimäärin lämpenisikin huomattavasti, voi pitkinä korkeapainejaksoina Suomeen virrata pohjoisesta hyvin kylmää ilmaa. Keskitalvelle ajoittuva pitkä korkeapainejakso voi nopeasti aiheuttaa roudan syvyyden huomattavaa kasvua. Ilmaston lämpenemisen seurauksena voitaisiin teoriassa putkijohtojen roudattomaan syvyyteen perustamisen tasoa nostaa tai routasuojauksia lievästi ohentaa. Samoin liikenneväylien päällysrakenteiden paksuuksia voitaisiin pienentää, mikäli kantavuusmitoitus sen sallii, tai routasuojauksia ohentaa. Kuitenkin mahdollisten pakkashuippujen ja lumettomuuden takia nykytaso on edelleen perusteltua.

Vesijohdot ja viemäriputket on totuttu Suomessa perinteisesti perustamaan roudattomaan syvyyteen. Tosin viime aikoina on myös matalaan perustaminen yleistynyt, jolloin putken jäätyminen estetään putken ympärille tehtävällä lämmöneristyksellä ja/tai erillisellä routasuojauksella sekä tarvittaessa lämmityskaapelilla. Suunnitelmallisesti rakennettujen liikenneväylien päällysrakenteiden paksuus on määrätynyt puolestaan paljolti routamitoituksen pohjalta.

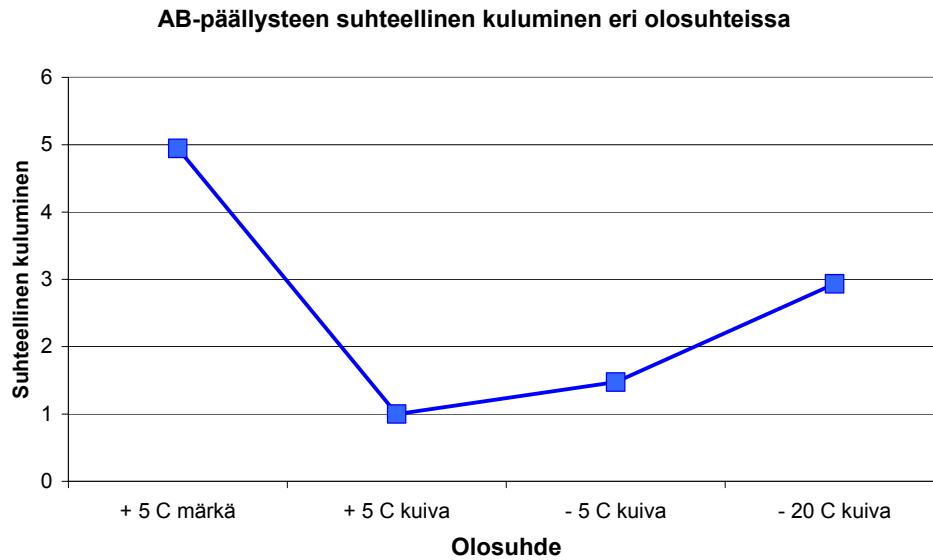
5.1.2 Sulamis-jäätymisvaihteluiden vaikutukset

Suurimman lämpötilan nousun ennustetaan kohdistuvan talvikuukausille. Samaan aikaan sateiden lisäys painottuu talvikauteen, jolloin sade lämpötilan noususta johtuen tulee varsinkin etelässä lumen sijasta vetenä. Keskitalvella ja osin myös alkutalvesta tulevat lyhyet pakkas- ja suojasääjaksot vaihtelevaan tiheään, jolloin syklinen sulamis-jäätymis-sulamis-ilmiö voimistuu, lukuun ottamatta Etelä-Suomea.

Ilmiön seurauksena teiden ja katujen liukkaudentorjuntatarve lisääntyy Keski- ja Pohjois-Suomessa. Mikäli liukkaudentorjuntaan ei kehitetä uusia aineita tai menetelmiä, tämä merkitsee hiekan ja suolan käytön kasvua. Lisääntyvästä suolan käytöstä on haitallisia vaikutuksia ympäristölle ja rakenteille, minkä vuoksi suolan käytön lisääntyminen ei ole suotavaa. Hiekan käyttö yhdessä lisääntyvien sateiden ja sulamisen aiheuttavien virtaamien kanssa aiheuttaa sakokaivojen täyttymistä. Tämä saattaa puolestaan padottaa sadevesiviemäreiden virtaamia. Hiekoitushiekan lisääntyvä käyttö talvella lisää oleellisesti pölyhaittoja keväällä. Lisääntyvä suolan käytön takia tulee varautua uusien suojausrakenteiden rakentamiseen. Lisääntyvän hiekan käytön takia tulee tarkistaa sakokaivojen mitoitus.

Vaihtuvien sulamis- ja jäätymisjaksojen seurauksena aiheutuu rumpujen, sadevesikajojen ja -putkien ajoittaista jäätymistä umpeen, jolloin rajujen sateiden ja/tai sulamisen seurauksena syntyy teille ja kaduille ajoittaista tulvehtimistä tai lammikoitumista. Tulvehtimis- ja lammikoitumisriskin torjumiseksi jäätymisenestojärjestelmien rakentamistarve rumpuihin ja putkistoihin lisääntyy. Sulamis-jäätymisvaihteluiden seurauksena roudan määrä vähenee ja roudan sulamisaika lyhenee. Tämän seurauksena teiden kelirikkoaika lyhenee.

Tie- ja katupäällysteiden kulumiskestävyys vähenee. Talvikuukausien märät jaksot yhdessä nastojen kanssa pienentävät päällysteiden kulutuskestävyyttä. Päällysteiden urautuminen ja purkautumisherkyys kasvavat. Koeradalla suoritetuissa kokeissa päällysteiden märkäkuluminen oli 4–7 kertaa kuivakulumista suurempaa (kuva 21).

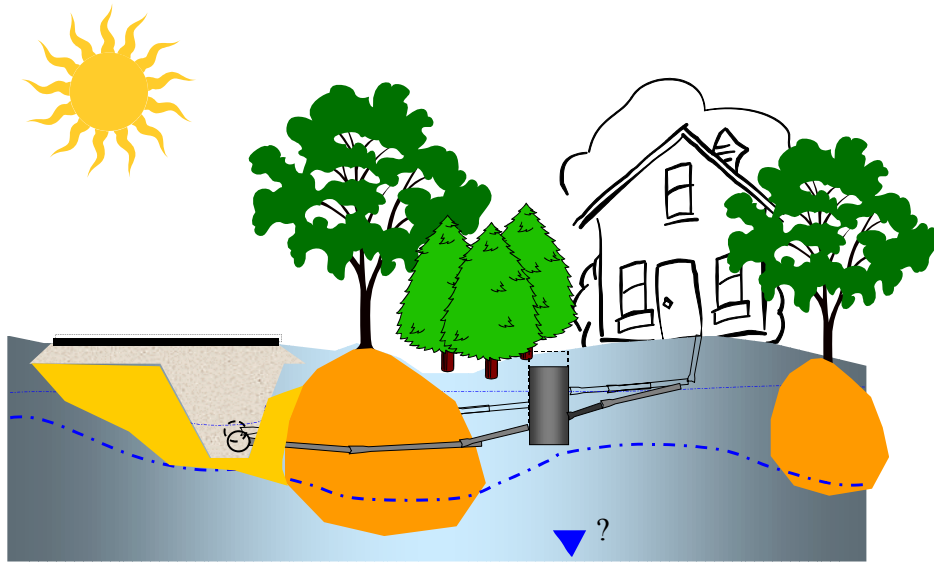


Kuva 21. Asfalttipäällysteen suhteellinen kuluminen eri olosuhteissa.

5.1.3 Pohjaveden korkeuden muutosten vaikutukset

Kuivuuden lisääntyminen kesällä aiheuttaa pohjavedenpinnan alenemista. Lisääntyneet talvisateetkaan eivät välttämättä vaikuta pohjaveden lisääntymiseen, sillä maanpinnan ollessa jäässä sadanta valuu pääasiassa uomiin ja vesistöihin. Savimaapohjilla pohjavedenpinnan alenemisesta on seurauksena maaperän painuminen. Maaperän painuminen voi aiheuttaa ongelmia putkien toiminnassa tai putkirikkoja. Painumisen riskiä lisää puiden (kotimaiset ja ennen kaikkea jalot lehtipuut) aiheuttama maaperän kuivuminen myös pinnalta käsin.

Maanpinnan painumisen aiheuttaman putkijohtojen ja rakennusten vaurioitumisriskin torjumiseksi tulisi taajama-alueilla tehostaa pohjavedenpinnan tarkkailua sekä varautua painumaeroihin putkijohtoja ja rakennuksia perustettaessa (kuva 22).



Kuva 22. Savimaapohjilla pohjavedenpinnan laskiessa ja maan painuessa maanvaraiset putkijohdot ovat vaarassa vaurioitua.

Puusto voi aiheuttaa maaperän kuivumista. Lisäksi puiden ja muun kasvillisuuden juuristot voivat tunkeutua viemäriputkistoihin ja tukkia niitä. Puuston lajivalintaan ja sijoitteluun taajamissa tulee tulevaisuudessa kiinnittää huomiota.

Kesien ollessa kuivia ja lämpimiä talousvedenkulutus kasvaa. Tästä on seurauksena varsinkin haja-asutusalueilla vedensaannin paikoittainen vaikeutuminen. Lisääntynyt vedenkulutus eli virtaamien kasvu syövyttää herkemmin putkistoja, mistä seuraa niiden käyttöiän lyheneminen. Lisääntynyt vedenkulutus lisää myös käyttöveden varastointitarvetta. Lisääntynyt vedenotto ja varastointi voivat aiheuttaa raakaveden laadun heikkenemistä.

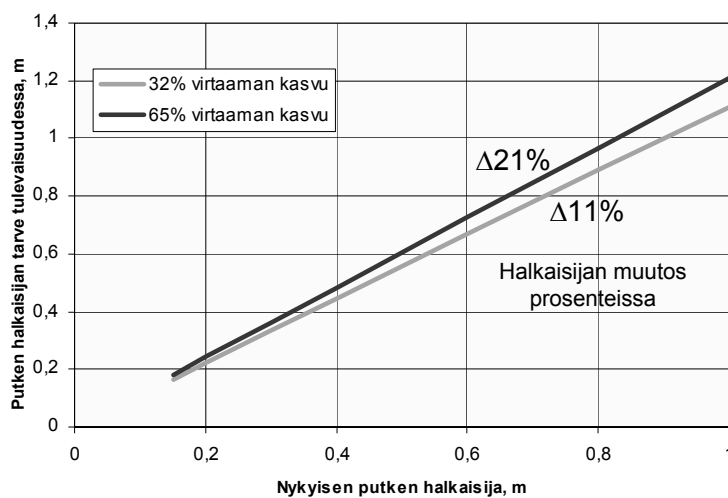
5.2 Sademäärän kasvun vaikutukset

SILMU-ohjelman [40] keskiskenaarion mukaan vuoden keskimääräinen sademäärä lisääntyy nykyiseen sademäärään verrattuna vuoteen 2050 mennessä 30 mm ja vuoteen 2100 mennessä 60 mm. Sademäärän kasvu painottuu talvikuukausiin, ja kesän sademäärät puolestaan vähenevät. Rankkasateiden esiintymistodennäköisyys Suomessa kasvaa kuitenkin sekä kesällä että talvella.

Sateet tulevat varsinkin etelässä talviaikaan nykyistä useammin vetenä ja vain ajoittain lumenä. Lumen sulaminen, pitkäkestoiset vesisateet, rankkasateet sekä erittäin pieni haihdunta maanpinnan ollessa jäässä voivat aiheuttaa talvitulvia. Tammi–helmikuussa valunta kaksinkertaistuisi ja joulukuussa lisäys olisi 60 %. Toisaalta ilmaston lämpenemisen on arvioitu lisäävän rankkasateiden riskiä myös kesällä. Tästä on seurauksena

mitoitussadannan lähtökohtien muuttuminen, joka tulisi ottaa huomioon sadevesiviemäreiden mitoituskriteerejä määritettäessä.

Mitoituksen lähtökohtana käytetään sadetta, joka vastaa joko 10 tai 15 minuuttia kestävä ja kerran joko kahdessa tai kolmessa vuodessa toistuvaa maksimisadetta. Mitoitussateen kasvaessa 30 % lisäys virtaamassa edellyttää nykyisissä sade- ja sekavesiviemäriputkissa halkaisijoiden 10 %:n suurennustarpeen. Mikäli mitoitussateen aiheuttama virtaama kasvaisi 65 %, nykyisten sade- ja sekaviemäriputkien halkaisijoita tulisi kasvattaa 20 % (kuva 23). Sekavesiviemäröintejä on viime vuosikymmeninä korjattu sujutustekniikalla, jonka seurauksena putkien sisähalkaisijat käytännössä pienenevät.



Kuva 23. Rankkasateiden aiheuttaman virtaaman lisäyksen vaikutus sadevesiviemäreiden mitoitukseen.

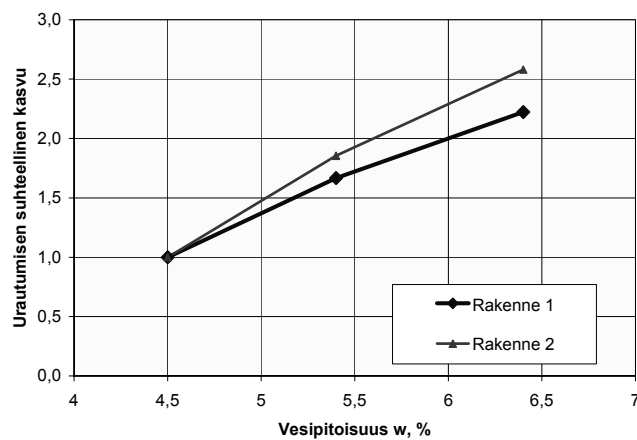
Talvisateiden lisääntyminen aiheuttaa taajamien sadevesiviemäriverkostojen ylikuormittumisen. Ylikuormittumisen seurauksena tonttihulevedet eivät rankkasateilla pääse viemäriverkoston. Tästä voi aiheutua tonttien ja kellarien tulvehtimistä. Tulvehtimisriskin vähentämiseksi taajamien sadevesiviemäröintejä tulisi uusida ja saneerata. Haittavaikutukset eivät synny äkillisesti, vaan hitaasti, jolloin yhteiskunnan on vaikea hahmottaa muutostarvetta.

Tulvehtimisriskiä taajama-alueilla voidaan pienentää, paitsi kasvattamalla hulevesiviemäröinnin putken halkaisijoita (kuva 24), lisäämällä hulevesien imeytysmahdollisuuksia maaperään. Imeytystä voidaan tehostaa ja tulvehtimishuippuja tasoittaa rakentamalla maahan erityisiä rankkasateista aiheutuvien virtaamien varastointirakenteita (kuva 24), joihin sadevedet voidaan kerätä.



Kuva 24. Tulvehtimisriskin pienentämiseksi tulee kasvattaa hulevesiviemäreiden putkikokoa tai rakentaa viemäriverkoston välityskykyä tasaavia sadeveden varastointirakenteita.

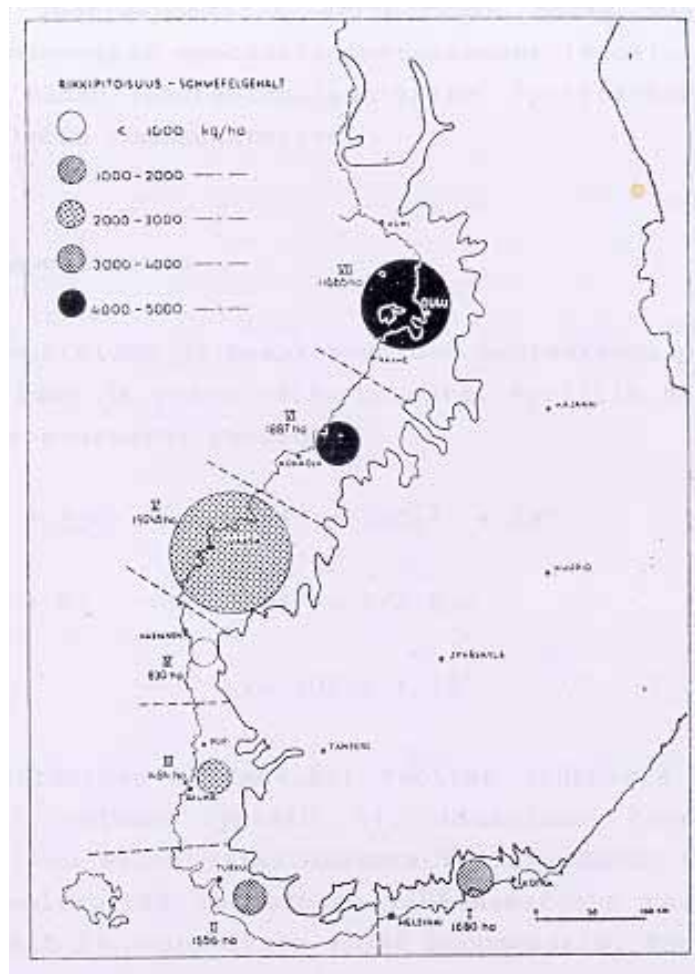
Lisääntyneiden sateiden seurauksena teiden ja katujen rakenteet ovat aikaisempaa useammin ja pidempään märkiä. Teiden ja katujen rakennemateriaaleista hiekka, sora ja murske ovat hyvin herkkiä veden ja kosteuden vaikutuksille. Teiden ja katujen urautuminen (urasyyvyys) voi kaksinkertaistua, kun päällysrakenteen vesipitoisuus lisääntyy noin 2 %. Päällysrakenteessa käytetyn murskeen rasituskestävyys pienenee, jolloin rakenteen deformaatiot lisääntyvät (kuva 25) ja päällysteet vaurioituvat. Teiden ja katujen käyttöikä voi siten lyhentyä merkittävästi nykyiseen verrattuna.



Kuva 25. Kokeellisesti todettu urautumisen suhteellinen kasvu vesipitoisuuden kasvaessa kantavassa rakenteessa 2 % kahdella eri rakennetyypillä.

Maahan asennettujen metallisten johtojen ja muiden metallirakenteiden korroosio lisääntyy jossakin määrin vajoveden syntymistiheyden lisääntymisen johdosta. Maassa tapahtuvan korroosion edellytyksenä on elektrolyytin (veden) olemassaolo rakennekontaktissa. Toistuvat kastumis-kuivumisjaksot lisäävät korroosion mahdollisuutta. Muutos nykyiseen verrattuna on merkittävä kuitenkin vain erityistilanteissa.

Maan kuivuminen kesäisin aikaisempaa syvemmälle ja toisaalta veden huuhtovan vaikutuksen lisääntyminen talvella voivat yhdessä lisätä sulfidipitoisten maiden aikaansaamaa maan ja valuma-alueiden happamoitumista. Sulfidimaita (alunamaita) esiintyy Suomessa merkittävimmin Pohjanlahden maankohoamisalueilla, mutta myös alempia sulfidipitoisuuksia siellä täällä Etelä-Suomessa (kuva 26).



Kuva 26. Sulfidimaiden keskimääräinen rikkipitoisuus [37].

Hapettumisen seurauksena neutraali sulfidisavi muuttuu happamaksi ja huokosveden pH voi laskea jopa tasolle 2–3. Tällöin raskasmetallit lähtevät liikkeelle aiheuttaen ympäristöongelmia. Lisäksi betonin ja teräksen korroosioriski lisääntyy. Metallipinnan korroosiolta suojaava passivaatiokerros poistuu, jolloin korroosio pääsee käynnistymään vapaasti. Materiaalien korroosioriski ei Pohjanmaalla nykyisestä välttämättä merkittä-

västi kuitenkin enää lisääntynyt, sillä maankohoaminen ja siitä seuraava pohjavedenpinnan suhteellinen lasku tuo jo nytkin aikaisemmin syvällä sijainneita maakerroksia hapettumisen piiriin. Ilmiö on syytä kuitenkin huomioida kaukolämpöputkien asemoinnissa ja niiden materiaalien valinnassa. Samoin pitkäikäisten rakenteiden, kuten siltojen perustukset, on syytä suojata happamoitumisen lisääntymiseltä.

5.3 Tuulisuuden kasvun vaikutukset

Ilmaston lämpenemisen myötä tuulisuuden arvioidaan lisääntyvän erityisesti merialueilla talvella. Pohjanlahden ja Suomenlahden rannikoilla tuulen nopeudet kasvaisivat talviaikaan 9–20 % nykytilaan verrattuna. Sen sijaan kesäaikaan muutokset nykytilaan olisivat vähäisiä.

Voimakkaat mereltä puhaltavat myrskytuulet, myrskyyn liittyvä matalapaine ja veden virtaus rannikolle voivat nostaa veden pintaa huomattavasti ja aiheuttaa tulvimista alavilla rannikkoalueilla. Merenpinnan nousun aiheuttamat tulvat voivat haudata ajoittain alleen katuja ja teitä, vaikeuttaa kuivatusjärjestelmien toimintaa ja aiheuttaa ympäristöhaittoja jätevedenpuhdistamoilla. Toistuvat, voimakkaat tuulet voivat kaataa puita sähkö- ja telelinjoille. Riskin pienentämiseksi joudutaan leventämään johtokäytäviä metsissä.

5.4 Ilmastonmuutokseen varautuminen verkostojen kannalta

Ilmatieteen laitoksen suunnittelemaa taajamien sateiden intensiteettitarkkailua pitäisi laajentaa nykyisen 4–5 taajaman lisäksi koskemaan suunniteltuja noin 50 taajamaa. Reaaliaikaiset havainnot voidaan kytkeä ympäristöhallinnon aluekeskuksien tietoverkoihin. Sateiden intensiteettitarkkailun perusteella voitaisiin arvioida

- kuivusrakenteiden suunnittelussa käytettävä mitoitussadanta taajama-alueella, sadannan aiheuttamat virtaamat ja selvittää kuivusrakenteiden mitoituksen riittävyys.
- taajamien valuma-alueiden laajuus ja virtausmallit rankkasateilla.

Kuivusrakenteiden mitoituserusteet tulisi tarkistaa vastaamaan tulevaisuuden rankkasateita. Taajamien sadevesiviemäreiden saneeraustarve sekä sadeveden maahan imeytys- ja allastusmahdollisuudet tulisi selvittää.

Pohjaveden tarkkailua tulisi laajentaa koskemaan useampia taajamia ja havaintopisteiden määrää taajamissa tulisi lisätä. Vakavuuden, kantavuuden ja painumien laskentamenetelmät tulisi tarkistaa maan kosteustilan vaihdellessa pitkinä kuivina ja kosteina kausina. Mitoitusnormit tulisi päivittää vastaamaan tulevaisuuden olosuhteita.

Tulisi selvittää, kuinka paljon väylien talvikunnossapitoa tulisi lisätä, jotta niiden käyttöikä ei lyhenisi. Alikulkujärjestelmien toimivuutta ja kehitystarvetta tulisi arvioida sekä tulvimisen että rankkasateiden lisääntyessä.

6. Ilmastonmuutoksen vaikutukset olemassa olevaan rakennuskantaan

6.1 Tulvimisen vaikutukset olemassa olevien rakennusten kannalta

Viime vuosina Suomessa ei ole rankkasateiden aiheuttamana esiintynyt todella laajoja taajamatulvia. Pienempiä taajamatulvia esiintyy lähes vuosittain jossain päin Suomea. Tulvien seurauksena on rakennusten perustusten ja kellareiden kastuminen, liikenteen estyminen ja katupenkereiden osittainen syöpymissortuminen.

Rannikkoalueilla saattaa merenpinnan kohoaminen lisätä taajamien tulvariskiä. Merenpinnan arvioidaan nousevan 15–90 cm seuraavan sadan vuoden aikana. Toisaalta Suomen rannikolla jääkauden jälkeinen maan kohoaminen on noin 20–70 cm sadassa vuodessa, ja siitä syystä todellinen merenpinnan kohoamisen arvioidaan jäävän korkeintaan muutamiin kymmeneen senttimetriin seuraavan sadan vuoden aikana. Voimakkaat, mereltä puhaltavat myrskytuulet, myrskyyn liittyvä matalapaine ja veden virtaus rannikolle voivat nostaa veden pintaa huomattavasti ja aiheuttaa tulvimisen alavilla alueilla.

Rannikkokaupunkien rakennusjärjestyksissä on esitetty rakennuksille sallitut etäisyydet keskiveden korkeuden mukaisesta rantaviivasta. Ympärivuotiseen asumiseen liittyvillä rakennuksilla sallitut etäisyydet vaihtelevat pääasiassa 30–75 metriä. Edelleen rakennusjärjestyksessä esitetään sallitut alimmat lattiatasot. Sallitun etäisyyden rantaviivasta määrää nykyisin kuitenkin pääsääntöisesti rantamaiseman luonnonmukaisuuden säilyttäminen.

Valtamerten sekä siten myös Itämeren vedenpinnan kohoamisen ennusteisiin sisältyy runsaasti epävarmuutta. Merenpinnan arvioitua merkittävämmällä kohoamisella – sen globaalien vaikutusten lisäksi – on suuri merkitys lähelle nykyistä rantaviivaa perustetuille kaupungeille, taajamille sekä loma-asutukselle. Koska riski on suuri, varautumissuunnitelmia tulisi tehdä myös ennustettua suuremman merenpinnan kohoamisen varalle. Eräs mahdollisuus on ohjata maankäyttöä alueille, joissa riski on pienempi. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi hinnoittelemalla kaavoitetun maan luovutushintaa portaittain korkeustasovälillä +3 - +5 metriä.

Taajama-alueilla lisääntyvä asfaltointi ja muu veden imeytymistä maahan estävä pinnoitus lisääntyvät, jolloin veden pintavirtausmäärät vastaavasti kasvavat. Rakennetuilla alueilla ei viemärointiä yleensä tehosteta vastaamaan lisääntyviä virtaamia. Ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän rankkasateiden riskiä Suomessa. Joidenkin tehtyjen arvioiden mukaan rankkasateiden aiheuttamat taajamien tulvavahingot olisivat noin 10 % vesistöjen suurtulvien aiheuttamista vahingoista. Kaupungeissa ja kuntien taaja-

missä olisikin selvitettävä, miten laajalle rankkasateiden aiheuttamat tulvat voisivat ulottua ja mikä olisi korkein mahdollinen tulvavedenpinnan taso.

Taajamatulvien aiheuttamaa vahinkoriskiä olemassa oleville rakennuksille ja rakenteille voidaan pienentää mm. seuraavin toimenpitein:

- taajamatulvariskin selvittäminen nykyisissä taajamissa
- vesien johtamisen uudelleensuunnittelu
- täsmällisemmät ohjeet hulevesien paikallisesta käsittelystä tulvimisen ja eroosion ehkäisemiseksi
- kuivatusjärjestelmien kapasiteetin varmistaminen ja parantaminen maahan imeyttämisen, ohitusputkien tai tulvakynnysten ja -suojausten avulla
- olemassa olevien kuivatusjärjestelmien mitoituksen tarkistaminen (sadevesiviemäröinti, salaojat ja pumppaamot)
- kiinteistöjen omien pumppaamojen rakentaminen ja laitteiden sähkönsaannin varmistaminen
- veden kapillaarisen nousun estäminen tulvarajan yläpuolelle.

6.2 Pohjavedenpinnan vaihtelun vaikutukset olemassa olevien rakennusten kannalta

Pohjavedenpinnan nousu lisää yläpuolisten maakerrosten suhteellista kosteutta. Liian suuri suhteellinen kosteus edistää mm. puurakenteiden lahoamista ja homeen muodostumista sekä putkien ja teräspaalujen korroosiota. Huokoiset rakennusmateriaalit, kuten tiili, betoni ja puu, imevät kosteutta niiden joutuessa kosketuksiin vapaan veden tai maahuokosissa olevan kostean ilman kanssa.

Lisääntyvä maasta haihtuva kosteus vaikeuttaa merkittävästi ryömintätillaisen alapohjan toimintaa. Pohjaveden pinnan nousu ja kapillaarinen vedenousu maakerroksissa voi saada aikaan kosteusrasituksen lisääntymistä alapohjarakenteissa. Ryömintätillan hyvästä tuulettumisesta huolehtiminen on tällöin erityisen tärkeää.

Pohjavedenpinta voi myös alentua merkittävästi, jos kesä on kuiva ja lämmin. Savipohjilla maan kuivuminen aiheuttaa saven tilavuuden pienenemistä ja sitä kautta maapohjan painumista. Toisaalta kuivina ja lämpiminä kesinä rakennusten lähistöllä kasvavat lehti-puut voivat omalta osaltaan imiessään juuristonsa kautta vettä lisätä pohjavedenpinnan alenemista. Rakennukset ja rakenteet, jotka on perustettu maanvaraisesti savipohjille, voivat savipohjan painuessa vaurioitua.

7. Ilmastomuutoksen vaikutukset kaavoitukseen

7.1 Alueiden käyttöön vaikuttavien olosuhteiden muutokset

Yhdyskuntarakenteella tarkoitetaan sitä fyysisen ympäristön kokonaisuutta, johon yhdyskunnan eri rakenneosat ja toiminnot sijoittuvat sekä niitä suhteita, joita rakenneosilla on toisiinsa [12]. Yhdyskuntarakennetta ohjataan pääasiassa kaavoituksen avulla maakunta-, kunta- ja kunnanosatasolla. Aluerakenteeseen vaikuttavat mm. valtakunnalliset alueidenkäytön tavoitteet ja liikennejärjestelmän kehittäminen sekä aluepoliittiset toimenpiteet [10]. Yhdyskuntarakenteen kehitystä ohjataan alueiden käytön suunnitellulla, josta keskeisen lakisääteisen osan muodostaa kaavoitusjärjestelmä. Yhdyskuntarakennetta tulisi kehittää niin, että toisaalta sen tuottamisen ja käytön eri prosesseista aiheutuisi välittömästi ja välillisesti mahdollisimman vähän kasvihuonekaasupäästöjä, ja toisaalta niin, että ilmastomuutoksesta aiheutuisi yhdyskuntarakenteelle ja sen puitteisissa tapahtuvilla toiminnoilla ja ihmisille sekä luonnonympäristölle mahdollisimman vähän haitallisia vaikutuksia.

Alueiden käyttöön vaikuttavien olosuhteiden muutoksia voi liittyä lämpötilan nousuun, merenpinnan nousuun, sademääriin, ilmaston vaihtelevuuteen sekä ääri-ilmiöiden, kuten myrskyjen ja tulvien, yleisyyteen ja rajuuteen. Keskeisimpiä kaavoituksessa huomioon otettavia ilmastomuutoksesta aiheutuvia vaikutuksia ovat

- lisääntyvät tulvat ja vedenpinnan nousu
- tuulisuuden ja myrskyjen lisääntyminen
- sateiden lisääntyminen
- jäätymisolosuhteiden muutokset.

7.1.1 Tulviminen ja vedenpinnan nousu

Kaavoituksella ohjataan rakennusten ja muiden rakenteiden sijoittamista. Ilmastomuutoksen aiheuttamista mahdollisista vaikutuksista tulvariskin huomioon ottaminen on keskeisimpiä tekijöitä, joihin toimintojen sijoittamisella vaikutetaan.

Yleispiirteisillä kaavatasoilla, maakunta- ja yleiskaavoissa, tulvimisriski voidaan huomioida rajaamalla tulvariskialueet, joille annetaan rakentamiskielto tai -rajoituksia.

Yksityiskohtaisissa kaavoissa, asema- ja ranta-asemakaavoissa, voidaan määrätä minimikorkeustaso meren tai vesistön vedenpinnasta tai minimietäisyys rannasta. Rakennusalojen sijoittamisella voidaan ohjata rakentamista tulvariskin minimoimiseksi. Tulvimista rakennetuilla alueilla voidaan estää maaston, maaperän ja pienilmaston huomioon

ottamisella. Kuntien rakennusjärjestyksissä voidaan antaa paikallisiin olosuhteisiin perustuvia määräyksiä rakennusten minimikorkeustasosta vedenpintaan nähden ja rakennusten minimietäisyyksistä rantaviivasta (ks. esim. [13]).

Maa- ja metsätalousministeriön asettaman ns. suurtulvatyöryhmän loppuraportissa käsitellään tulvavahinkojen välttämistä. Tulvavahinkoja pystytään merkittävästi vähentämään suunnittelemalla maankäyttöä järkevästi ja ohjaamalla rakentamista tulva-alueiden ulkopuolella [42]. Raportin suositukset tulisi ottaa huomioon myös ilmastomuutokseen varautumisen kannalta.

Tavoitteena on, että uusia rakennuksia, rakenteita ja muita toimintoja ei sijoiteta tulva-alueille niin, että tulva aiheuttaa niille merkittävää vahinkoa. Tulva-alueet tulisi kartoittaa ja tunnistaa riskikohteet. Paikkatietopohjaisia tietojärjestelmiä tulee kehittää nykyisten tietojen kokoamiseksi, tulva-alueiden kartoittamiseksi ja riskikohteiden tunnistamiseksi [42]. Alueidenkäytön suunnittelussa ja kaavojen vaikutusten arvioinnissa hyödynnetään paljon paikkatietopohjaisia järjestelmiä. Tulvariskiä koskevien tietojen kerääminen tietojärjestelmiin mahdollistaa tietojen molemminpuolisen hyödyntämisen, eli maankäyttöä ja suunnittelua koskevien tietojen hyödyntämisen tulvakarttoja laadittaessa ja tulvariskiä koskevien tietojen hyödyntämisen suunnittelussa.

Maankäytön, tulvantorjunnan ja pelastustoiminnan tarkkaan suunnitteluun tärkeimmillä tulvavahinkoalueilla tarvitaan yksityiskohtaisia, tarkkaan korkeusmalliin pohjautuvia tulvakarttoja, joilla esitetään, mitkä alueet jäävät veden alle esimerkiksi 100 ja 250 vuoden toistumisaikojen vastaavilla tulvilla. Tulvakarttaan voidaan paikkatietojärjestelmien avulla liittää monia tietoja tulva-alueesta. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi rakennusrekisterin tiedot asuin-, loma- ja muista rakennuksista sekä tiedot maankäytöstä. [42]

Suurtulvatyöryhmän mukaan yleispiirteisiä tulvakarttoja voitaisiin hyödyntää mm. yleispiirteisessä maankäytön suunnittelussa sekä yhteiskunnan kannalta tärkeiden toimintojen tai laitosten (esimerkiksi sairaalat, vanhainkodit ja koulut) sijoittamisessa. Yksityiskohtaisia tulvakarttoja voitaisiin hyödyntää mm. asemakaavoituksessa. [42]

Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää tulvan vaaran huomioon ottamista rakentamisessa [28]. Ympäristöoppaassa 52 Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa - Suositus alimmista rakentamiskorkeuksista annettiin suositus, että ympärivuotinen asutus tulisi sijoittaa niin korkealle, että sille voi aiheutua vahinkoa vasta sellaisesta tulvakorkeudesta, jonka voidaan arvioida esiintyvän keskimäärin kerran 100–200 vuodessa [35].

Kunnan rakennusjärjestyksen tarkoituksena on ohjata rakentamista kunnan alueella paikalliset erityispiirteet huomioon ottaen. Suomen Kuntaliitto antoi vuonna 1999 suosi-

tuksen rakennusjärjestyksen sisällöstä [38] ja lähetti toukokuussa 2002 kuntien rakennusvalvontaviranomaisille yleiskirjeen tulvan vaaran huomioon ottamisesta rakennusten sijoittamisessa kaava-alueiden ulkopuolella [48].

Kuntien rakennusjärjestyksiin tulisi sisällyttää tulvavahinkojen estämisen kannalta tarpeelliset suositukset rakennusten alimmista korkeuksista suhteessa vesistöön. Jos kunta katsoo välttämättömäksi kaavoittaa tai myöntää rakennuslupia alueelle, jolla on tulvan vaara, kunta vastaa esimerkiksi kaava- ja lupamääräyksin, että alue tai rakennukset ja toiminnot suojataan sellaisilla asianmukaisilla rakenteilla tai toimenpiteillä, että tulva ei aiheuta niille vahinkoja. [42]

Maaliskuussa 2003 valmistui ympäristöministeriön rahoittamana ja Kuntaliiton toteuttamana selvitys kuntien uudistettujen rakennusjärjestysten sisällöstä. Selvitykseen saaduista rakennusjärjestyksistä 26:ssa vesistöön nähden alin sallittu rakentamiskorkeus oli määritelty ympäristöoppaan 52 suositusten mukaisesti. Selvityksessä mukana olleista kunnista 32 ei ollut sisällyttänyt rakennusjärjestyksiinsä mitään mainintaa rakennusten korkeusasemasta suhteessa vesistöön.

Helsingin kaupungin rakennusjärjestyksessä [13] on esimerkiksi määrätty, että rakennettaessa ranta-alueella on otettava huomioon vedenpinnan korkeusvaihtelut riittävän suurella varmuudella. Lisätietoina todetaan, että Helsingin edustalla kerran 200 vuoden aikana saavutettava vedenkorkeus on +2,30 metriä. Rakennuksen korkeusasemaa määritettäessä on edellä mainittuun vedenkorkeuteen lisättävä rakennuspaikkakohtainen aaltoiluvara ja jään työntymisestä rantaan aiheutuva korkeuslisä. Veden vaikutukselle arat rakennukset ja rakennelmat on hyvä sijoittaa mahdollisimman riskittömälle korkeudelle. Vähäpätöisempiä rakennelmia voidaan niiden arvon ja vedenkestävyyden perusteella sijoittaa harkinnan mukaan myös alemmaksi.

Alueelliset ympäristökeskukset ovat antaneet suosituksia alimmista rakentamiskorkeuksista lähinnä kuntien ja yksityisten ihmisten lausuntopyyntöjen perusteella. Suositukset ovat tällöin yleensä koskeneet suunniteltua kaava-aluetta tai yksittäistä rakennuspaikkaa. Useille järville ja eräille joen osille ympäristökeskukset ovat laatineet myös yleissuosituksia.

Kaavoituksessa ja rakennuslupia myönnettäessä tulvan vaara tulisi ottaa huomioon yhtenäisellä tavalla. Lainsäädännössä tulisi selkeästi määritellä, mitä tulvan vaaralla tarkoitetaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sen tulvariskitason määrittämistä, joka kaavoittamisessa ja rakentamisessa on tarkoitus ottaa huomioon. [42]

Rakenteiden ja rakennusten käyttöikä huomioon ottaen olisi perusteltua, että tulvan vaaran alainen alue määritettäisiin keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan

mukaisesti. Näin määritetyille alueelle tulisi välttää sijoittamasta pysyvään ja ympärivuotiseen asumiseen tarkoitettuja uusia rakennuksia, vapaa-ajan asumiseen tarkoitettuja rakennuksia (kesämökkit ja lomamökkit tai vastaavat) tai muita talousrakennuksia, joille tulva aiheuttaa merkittäviä vahinkoja (muun muassa saunat ja autotallit, mutta ei venevajat ja vastaavat). Vapaa-ajan asumiseen tarkoitettuja rakennuksia käytetään yhä pidemmän ajan vuodesta, ja on nähtävissä myös selvä suuntaus vapaa-ajan asuntojen muuttamiseksi ympärivuotiseen asumiskäyttöön varsinkin niiden omistajien ikääntyessä ja siirtyessä eläkkeelle. Lisäksi näin määritetyille tulva-alueelle tulisi välttää sijoittamasta yhteiskunnan kannalta tärkeitä toimintoja, kuten julkisen palvelun rakennuksia (muun muassa koulut, päiväkodit ja vanhainkodit) ja kauppoja. [42]

Monet toiminnot ovat ihmisten turvallisuuden ja terveyden tai ympäristön kannalta niin kriittisiä, että niille ei riitä suojaaminen kerran sadassa vuodessa toistuvalla tulvalla. Samoin kuin nykyisten toimintojen suojaamisessa, myös uusien erityisen tärkeiden kohteiden sijoittamisessa tulee harkita tiukempaa riskitasoa, esimerkiksi kerran 250 vuodessa toistuvaa tulvaa. Laitoksilla, joilla käsitellään ympäristölle tai terveydelle vahingollisia aineita, toistumisajaksi voidaan vaatia esimerkiksi kerran 10 000 vuodessa toistuva tulva (HW 1/10 000). [42]

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan kunnan on huolehdittava alueiden käytön suunnittelusta sekä rakentamisen ohjauksesta ja valvonnasta alueellaan. Kunnan tehtävänä on siten huolehtia muun muassa kaavoja laatiessaan ja hyväksyessään sekä rakennuslupia myöntäessään siitä, ettei rakennuspaikoilla ole samassa laissa tarkoitettua tulvan, sortuman tai vyörymän vaaraa. Jos kunnan kehittyminen ja tärkeä yleinen etu välttämättä vaatii, että myös tulvan vaaran alaisia alueita kaavoitetaan ja niille myönnetään rakennuslupia, kunnan tulee yleensä vastata näiden alueiden suojaamisesta tulvilta ennen rakentamista. Tällöin kunta vastaa esimerkiksi kaavamääräyksellään siitä, että alue tai rakennukset ja toiminnot suojataan sellaisilla asianmukaisilla rakenteilla tai toimenpiteillä, ettei tulva aiheuta niille vahinkoja. [42]

Tärkeimmille vesistöosille, joilla esiintyy usein tulvia ja joiden rannoille kohdistuu rakentamispaineita, tulisi laatia suositus alimmista rakentamiskorkeuksista. Suosituksissa ilmoitetaan se vedenkorkeustaso, joka esiintyy keskimäärin kerran noin sadassa vuodessa toistuvalla tulvalla, ja jossa lisäksi on otettu huomioon aaltoiluvara. Meren rannalla noissa suosituksissa käytetään 200 vuoden toistumisaikaa. Alueelliset ympäristökeskukset ovat viime vuosina jo antaneet tällaisia suosituksia. Niiden antamista tulee määrätietoisesti jatkaa ja ne tulee toimittaa tiedoksi kunnille. [42]

Suosituksen tarkoittama alin tulvien kannalta hyväksyttävä rakentamiskorkeus on se ylin korkeus, jolle vesi voi nousta ilman, että se vahingoittaa rakenteita. Vahingoittuvien

rakenteiden korkeuden lisäksi on otettava huomioon, että viemäreiden kautta tulvavedet voivat nousta rakennukseen noudatettua riskitasoa pienemmälläkin tulvalla. [42]

Maankäyttöpaineet vesistöjen varsilla on otettava huomioon, ja suositukset alimmista rakentamiskorkeuksista kannattaa laatia erityisesti alueille, joille kohdistuu paljon uusien toimintojen sijoittamistarpeita. Suosituksia tai viranomaislausuntoja alimmista rakentamiskorkeuksista voidaan tehdä sekä järville, jokivesistöille että meren rannikkoalueille. [42]

7.1.2 Tuulisuus ja myrskyt

Voimakkaiden tuulien ja myrskyjen lisääntyminen edellyttää kaavoituksessa rakennusten ja muiden rakenteiden huolellista sijoittamista maastoon. Elinympäristön suojaaminen tuulilta lisää myös viihtyisyyttä ja turvallisuutta. Tuulisuutta voidaan vähentää maastonmuotojen huomioon ottamisella rakennuksia sijoitettaessa, rakennusten keskinäisellä sijoittamisella sekä kasvillisuuden hyödyntämisellä. (ks. esim. [7], [21], [22])

7.1.3 Sateisuus

Sadannan lisääntyminen aiheuttaa vedenpinnan nousua, maaperän kosteuden lisääntymistä ja virtaamien kasvua. Kaavoituksessa yleis- ja maakuntakaavatasolla voidaan määritellä riskialueita, joille annetaan rakentamiskielto tai -rajoituksia. Asemakaavatasolla, erityisesti vesistön varrella, riskit voidaan ottaa huomioon rakennusten ja verkostojen sijoittamisessa. Maaperää koskevien selvitysten tarve asemakaavoituksessa lisääntyy.

7.1.4 Jäätymisolosuhteet ja lumisateet

Lumenpoiston ja liukkauden torjunnan tarpeen arvioidaan lisääntyvän. Erityisesti asemakaavoituksessa lumenpoistolle on varattava riittävästi tilaa. Alueilla, joilla lumisateet ja lumenpoistotarve lisääntyvät, on varattava nykyistä enemmän tilaa lumelle, sekä asunto- ja muilla alueilla että lumen varastointialueilla. Liukkauden lisääntyminen voi edellyttää liikenneväylien, erityisesti kevyen liikenteen väylien, tasausten tarkistamista ja jyrkkien rinteiden välttämistä.

7.2 Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen kaavoituksessa

7.2.1 Kaavoituksen kehittäminen

Alueiden käytön suunnittelussa huomioon otettavat seikat perustuvat edellä käsiteltyihin arvioituihin muutoksiin Suomessa. Tavoitteena on ilmastonmuutoksesta mahdollisesti aiheutuvien haittojen lieventäminen ja mahdollisten hyötyjen lisääminen.

Yhdyskuntarakenteen kehitystä ohjataan alueiden käytön suunnittelulla. Alueiden käytön suunnittelujärjestelmä koostuu laajuudeltaan ja yksityiskohtaisuudeltaan eriasteisten kaavojen laadinnasta sekä kaavoitusta ohjaavista valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista, jotka antaa valtioneuvosto. Keskeisiä toimijoita ovat kunnat ja maakunnan liitot sekä alueelliset ympäristökeskukset. [28], [27], [50]

Kaavatasot ja niiden laadinnasta vastaavat ovat seuraavat:

- maakuntakaava (maakunnan liitto)
- yleiskaava (kunta)
 - myös kuntien yhteinen yleiskaava ja
 - osayleiskaava
- asemakaava (kunta).

Lisäksi kaavoitukseen kuuluvat kunnan vuotuiset kaavoituskatsaukset ja ns. kehityskustelut alueellisen ympäristökeskuksen kanssa. Kunnat laativat lisäksi rakennusjärjestyksen, jossa voidaan antaa paikallisiin olosuhteisiin liittyviä määräyksiä.

Maakuntakaavalla ratkaistaan alueidenkäytön maakunnalliset kysymykset. Yleis- ja asemakaavoilla ohjataan kuntien alueidenkäyttöä. Yleispiirteisten kaavojen (maakuntakaava ja yleiskaava) sisältövaatimuksissa korostuvat laaja-alaiset yhdyskuntarakenteelliset ja ympäristökysymykset. Asemakaavan sisältövaatimuksissa puolestaan painottuvat terveellisyys, turvallisuus ja lähiympäristön laatu.

Alueiden käytön suunnittelussa on edistettävä turvallisen, terveellisen, viihtyisän, sosiaalisesti toimivan ja eri väestöryhmien, kuten lasten, vanhusten ja vammaisten, tarpeet tyydyttävän elin- ja toimintaympäristön luomista sekä ympäristönsuojelua ja ympäristöhaittojen ehkäisemistä.

Kaavoituksella ja muulla alueidenkäytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa pääasiassa rakennusten, verkostojen ja muiden rakenteiden sijoittumiseen sekä jossain määrin niiden määrään, kokoon ja muihin ominaisuuksiin.

Kaavoitukseen liittyviä keinoja ilmastonmuutoksen huomioon ottamiseksi voivat olla:

- ohjeet ja suositukset toimintojen sijoittamiseen
- aluevaraukset eri käyttötarkoituksiin
 - tulva-, sortuma- ym. riskialueiden rajaaminen rakentamisen ulkopuolelle
- kaavamerkinnot ja -määräykset
 - rakentamisrajoitukset tulva- ym. riskialueilla
- rakennusten, verkostojen ja muiden rakenteiden sijoittaminen
- asemakaavataso suunnitteluperiaatteet
 - erityishuomio pienilmastoon, maastoon ja maaperään
 - lisäselvitykset, maaperätutkimukset, tuulitunneli- tms. selvitykset
 - kuivatuksen suunnittelu, sadevesiviemärit, päällystetyt pinnat.

Maakuntakaavassa keskeinen keino ilmastonmuutokseen varautumiseen on tulvariskin huomioonottaminen määrittelemällä alueet, joille tulvariskin vuoksi on syytä rajoittaa rakentamista, joko yleisesti tai erityiskohteiden (esim. sairaalat) sijoittamista. Rakentamisen minimikorkeustaso vedenpinnasta voidaan määrätä. Yhteistyö tulvaviranomaisten kanssa on tärkeää. Myös yleiskaavassa voidaan rajata alueita, joille annetaan tulvariskin vuoksi rakentamisrajoituksia. Toimintojen sijoitus olemassa olevia verkostoja (erityisesti vesijohdot ja viemärit) hyödyntäviksi on perusteltua myös ilmastonmuutokseen varauduttaessa. Asemakaavoituksessa pienilmaston, maaston ja maaperän huomioonottamista koskevat periaatteet korostuvat entisestään. Rakennusten sijoittaminen, muoto ja suuntaus tuulisuuden minimoimiseksi ovat tärkeää. Pohjois-, koillis- ja luoteisrinteiden käyttöönottoa sekä tuulisia alueita ja mäen harjanteita tulisi välttää ja suosia puuston suojaamia alueita sekä etelä-, kaakkois- ja lounaisrinteitä. Mahdollisimman paljon rakennusmassaa tulisi suunnata etelään ja muodostaa rakennuksista toisiaan suojaavia korttelialueita. Rakennusten sijoittelussa tulisi välttää painanteita, joihin muodostuu ”kylmän ilman järviä” alueilla, joilla vuorokautiset lämpötilavaihtelut muodostuvat suuriksi ja tuulisuus on vähäistä. Rakennusten ja verkostojen sijoittamista huonolle maaperälle tulisi välttää. Vesistöpengerten sortumavaarat tulee ottaa myös huomioon. Tuulisuutta ja maaperää koskevien selvitysten tarve lisääntyy.

Asemakaavataso esimerkkinä rakennusten ilmastonmukaisen sijoittamisen ”10 kultaista sääntöä” ([7], ks. myös esim. [34], [21] ja [22]):

- 1) Sijoita rakennus siten, että se on tuulensuojassa, mutta pystyy hyödyntämään auringonsäteilyä.
- 2) Käytä maastoa tuulensuojana.
- 3) Sijoita talo maastossa korkealle – lämpötilaero voi olla jopa 0,3 °C/m korkeusero.

- 4) Estä kylmän ilman valuminen kasveilla ja/tai rakennetuilla elementeillä.
- 5) Älä sijoita rakennusta notkoon – siellä vallitsevat usein kylmät ilmavirtaukset.
- 6) Istuta kasvillisuutta tuulensuojaksi.
- 7) Säilytä olemassa olevaa puustoa pohjoispuolella tuulensuojaksi.
- 8) Sijoita rakennus rinteeseen siten, että maasto suojaa ja rakennus avautuu valoon päin.
- 9) Tiiviissä rakentamisessa ota huomioon valonsaanti ja tuulensuoja.
- 10) Sijoita rakennukset tiiviissä rakentamisessa etelärinteeseen – siinä ne voivat sijaita lähekkäin varjostamatta toisiaan.

Ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi kaavoituksessa tarvitaan lisää selvityksiä mahdollisista vaikutuksista, niiden todennäköisyyksistä, vaihteluväleistä jne.

Kaavoituksessa käytettäviä suunnittelu- ja arviointimenetelmiä tulisi kehittää ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi. Paikkatietoja hyödyntäviä menetelmiä tulisi kehittää yhteistyössä tulvariskialueita kartoittavien tahojen kanssa. Lisäksi menetelmiä tulee kehittää edelleen kaavavaihtoehtojen arvioimiseksi tuulisuuden ym. ilmastonmuutoksen kannalta oleellisten tekijöiden osalta. Kansainvälistä yhteistyötä tehdään esimerkiksi COST Action C14:ssa ”Impact of wind and storm on city life and built environment”.

Ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi voidaan antaa suunnittelusuosituksia eri kaavatasoille sekä tarvittaessa laatia täydennyksiä säännöksiin, kuten maankäyttö- ja rakennuslakiin ja -asetukseen, sekä kuntien rakennusjärjestyksiin. Täydennykset voivat koskea esimerkiksi tulvariskialueiden määrittelyä, rakentamisrajoituksia riskialueille, pienilmaston, maaston ja maaperän huomioon ottamista, sade- ja pintavesien johtamista, rantarakentamista, rakennuspaikalle asetettavia vaatimuksia, rakennuksen etäisyyttä rantaviivasta ja vesistöistä ja rakennuksen korkeusasemaa ranta-alueella.

7.2.2 Kaavoitusprosessi

Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen ei aiheuta muutoksia kaavoitusprosessiin, mutta edellyttää asian selvittämistä kaikissa prosessin vaiheissa:

- Kaavan valmistelu
 - Lähtötietojen hankkiminen
 - Yhteistyökumppanien määrittely
 - Tavoitteiden määrittely

- Osallistumis- ja arviointisuunnitelma
- Suunnittelutyö
- Vuorovaikutus
- Kaavan vaikutusten arviointi
- Kaavaehdotus
- Kaavan hyväksyminen ja toteuttaminen.

7.2.3 Mahdollisia muutoksia säädöksiin

Kaavoitusta ohjataan maankäyttö- ja rakennuslailla [28] ja -asetuksella [27], valtakunnallisilla alueidenkäyttötavoitteilla [50] ja kuntien rakennusjärjestyksillä [38], [13]. Alueidenkäyttöä ja rakentamista koskevia määräyksiä sisältyy myös ympäristöministeriön asetukseen kaavoissa käytettävistä merkinnöistä [57] sekä Suomen rakentamismääräyskokoelmaan [41].

Alueiden käytön suunnittelujärjestelmä on nykyisellään tarkoituksenmukainen myös ilmastonmuutokseen varauduttaessa. Ilmastonmuutoksen huomioon ottamista voidaan edellyttää nykyisten säännösten puitteissa mm. kaavojen vaikutuksia arvioitaessa.

Mikäli halutaan varmistaa ilmastonmuutoksen huomioon ottaminen kaavoituksessa, voidaan tarvittaessa täsmentää tai korostaa asiaa esim. lisäämällä se säädöksissä esitettyihin luetteluihin, jotka koskevat suunnittelun ja rakentamisen tavoitteita ja kaavojen vaikutusten selvittämiselvöitteita. Täydennyksiä ilmastonmuutoksen huomioon ottamisesta voidaan lisätä myös muihin mm. kaavojen laatimista, suojelutarvetta, ranta-alueita, rakennuspaikkaa ja rakentamista koskeviin säännöksiin.

Suurtulvatyöryhmä esitti maankäyttö- ja rakennuslakiin ja asetukseen muutoksia tulvan, sortuman tai vyörymän vaaran huomioonottamiseksi (liite B). Nämä ovat perusteltuja myös ilmastonmuutoksen kannalta.

7.3 Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista kaavoitukseen

Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulviin, tuulisuuden, rankkasateiden ja myrskyjen lisääntymiseen, sadannan kasvuun, maan kosteuden ja pohjavesiolosuhteiden muutokseen, eroosion ja sortumariskin lisääntymiseen sekä jäätymisolosuhteiden muutokseen edellyttävät asian tiedostamista ja mahdollisia muutoksia kaavoitukseen.

Yleispiirteisessä kaavoituksessa, maakuntakaavassa ja yleiskaavassa, keskeinen ohjauskeino on tulva-, sortuma- tms. riskialueiden määrittely ja rajaus rakentamisen ulkopuolelle. Yksityiskohtaisessa kaavoituksessa, asemakaavassa, keskeiseksi muodostuvat tonttien ja muiden alueiden sekä rakennusalojen rajaus rakennusten, verkostojen ja muiden rakenteiden sijoittamisen ohjaamiseksi. Suunnitteluperiaatteissa korostuvat pienilmaston, maaston ja maaperän huomioon otto. Pienilmasto ja maasto vaikuttavat tuulisuuden ja myrskyjen vaikutuksiin. Maaperästä riippuvat mm. kuivatusmahdollisuudet, sadevesien imeytyminen yms.

Kaavojen laatimisessa tulisi kehittää paikkatietopohjaisia suunnittelu- ja tietojärjestelmiä tulva- ym. riskialueiden huomioonottamiseksi. Pienilmastoa, maastoa ja maaperää koskevia kaavojen suunnittelu- ja arviointimenetelmiä tulee kehittää edelleen.

Jotta voidaan varmistaa muutokset kaavoituksessa, tulisi ohjeiden ja suositusten lisäksi harkita säädösmuutoksia. Lisäselvityksiä ja tutkimusta tarvitaan riskien ja sopivien suojaustasojen yms. määrittelemiseksi. Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen kaavoituksessa edistää myös turvallisen, terveellisen ja viihtyisän asuinympäristön muodostamista ja energiatalouden ja yhdyskuntatalouden kannalta edullista sekä kestävästä rakentamisesta.

8. Yhteenveto

Niin sanottujen kasvihuonekaasujen päästöt tulevat selvästi nostamaan ilmakehän lämpötilaa jo rakennetun ympäristön suunnitteluiän kuluessa. Lämpötilan nousuun liittyy monia muitakin ilmastollisia muutoksia. Kasvihuoneilmiön mekanismi on yksinkertaistetusti se, että ilmakehän kasvihuonekaasut (kuten kasvihuoneen lasikate) läpäisevät hyvin auringosta tulevaa lyhytaaltoista säteilyä, mutta absorboivat ja heijastavat takaisin maan pinnan lähettämää pitkäaaltoista säteilyä. Kasvihuonekaasujen konsentraation – ja sen myötä ilmakehän absorptiokyvyn – kasvaessa maapallon säteilytase muuttuu, kunnes saavutetaan uusi tasapainotila.

Globaalien ilmastomallien laskentahila on liian harva ja reunaehdot liian epätarkkoja, jotta ne voisivat tarkasti kuvata paikallisia muutoksia esimerkiksi Suomessa. Tähän tarvitaan alueellisia ilmastomalleja. Tässä julkaisussa esitetään Suomea koskeva alueellinen ennuste, joka vastaa 2,6 °C maapallon keskilämpötilan nousua. Ennusteen mukaan keskilämpötilan nousu on kaikkialla Suomen alueella n. 4 °C, ja isotermit siirtyvät noin 500 kilometriä pohjoiseen. Lämpeneminen on suurempaa talvella kuin kesällä.

Keskilämpötilan nousuun liittyy muutoksia esimerkiksi lumipeitteen ja meren jääpeitteen kestoajoissa sekä meriveden lämpötiloissa. Ennustetut sademäärän muutokset Suomessa ovat suuria, varsinkin syksyllä. Kokonaisvirtaamat kasvavat. Tuulennopeuden muutosten arviointi ilmastomallien avulla on vaikeaa. Keskimääräinen tuulennopeus ei myöskään ole rakentamisen kannalta kovin kiinnostavaa, vaan suurimpien tuulennopeuksien todennäköisyydet. Ilmastomallit eivät kuitenkaan nykyisellään sovi hyvin sääilmiöiden vaihtelevuuden kuvaamiseen.

Lumettomien alueiden keskimääräisten talvien roudan syvyydet pienenisivät noin 0,5–1,0 metriä nykyisestä. Etelärannikolla useammin kuin joka toinen vuosi routaa ei olisi käytännössä ollenkaan. Vaikka talven ilmasto keskimäärin lämpenisikin huomattavasti, voi pitkinä korkeapainejaksoina kehittyä hyvin alhaisia lämpötiloja sekä pohjoisesta Suomeen virrata kylmää ilmaa. Keskitalvelle osuva pitkä korkeapainejakso voi nopeasti aiheuttaa roudansyvyuden merkittävää kasvua. Routasuojaus on tulevaisuudessakin tarpeen koko maassa, mutta tarkennuksia routasuojausten paksuuksiin voidaan tehdä.

Sateiden lisäys painottuu talvikuukausiin, jolloin sade lämpötilan noususta johtuen tulisi varsinkin etelässä vetenä eikä lumena. Sulaminen ja vesisateet voivat tällöin synnyttää talvitulvia. Etelä-Suomessa tammi–helmikuun valunnan arvioidaan kaksinkertaistuvan, ja joulukuussa lisäys olisi 60 %. Nykyiset kevättulvat väistyisivät Etelä-Suomesta. Pohjois-Suomessa kevättulvat aikaistuisivat ja jäisivät monina vuosina nykyistä pie-

nemmiksi. Suurten kevättulvien riski kuitenkin säilyy, koska talven sademäärän ennakoidaan lisääntyvän ja pohjoisessa sateet tulevat edelleen pääosin lumena.

Pohjavedenpinta tulee nousemaan sademäärien kasvaessa, lumen lisääntyneen sulannan takia ja maapohjan ollessa talvisin pidempiä aikoja sulana. Maan vesipitoisuuden kasvaessa maan lujuus pienenee ja esimerkiksi tierakenteiden kantavuus alenee. Pohjavedenpinnan nousu voi estää myös perustusten kuivatusrakenteiden toiminnan. Liian suuri suhteellinen kosteus aiheuttaa rakenteiden vaurioitumista mm. puurakenteiden lahoamista ja homehtumista sekä putkien ja teräspaalujen korroosiota.

Sadannan lisääntyminen aiheuttaa vesialtaissa pinnan nousua, mikä nostaa myös pohjaveden pintaa. Maaperän vesipitoisuuden kasvaessa kuormitus kasvaa ja huokosvedenpaine nousee, jolloin maan lujuus alenee. Sadannan kasvu lisää myös virtaamaa vesistöissä, jolloin riski eroosiolle kasvaa. Maa-aineksen syöpyminen virtauksen vaikutuksesta vaikuttaa luiskan stabiliteettiin. Eroosiota ja sortumia voi tulevaisuudessa tapahtua korkeustasoilla, joilla vastaavaa ei ole aikaisemmin esiintynyt. Lisääntyvästä tulvimisesta voi aiheutua myös eroosiota, syöpymistä ja huuhtoutumista siltojen, tukirakenteiden ja pengerrakenteiden yhteydessä, jolloin tarvitaan suurempia rumpuja pengertäytteen alle. Tulvimisesta aiheutuva sisäinen eroosio voi aiheuttaa rakennevaurioita mm. pengerrakenteissa, padoissa ja putkikaivannoissa.

Merenpinnan arvioitu nousu (valtamerissä 15–90 cm) johtuu pääasiassa lämpölaajenemisesta sekä vuoristo- ja napajäätiköiden sulamisesta. Suomen rannikolla maan kohoaminen kompensoi merenpinnan nousua, ja ennustettu nousu olisi enimmillään muutamia kymmeniä senttejä. Rannikkoalueilla tulvarisktiin vaikuttaa merenpinnan korkeuden lisäksi ennustettu tuulisuuden lisääntyminen.

Teiden talvikunnossapidon arvioidaan lisääntyvän keskitalvella lisääntyvän lumenpoiston ja liukkauden torjunnan vaikutuksesta. Sen sijaan maaliskos-, marraskos- ja joulukuussa lauhtumisen seurauksena kunnossapito vähenee, sillä etenkin marraskuussa sateet tulisivat vetenä.

Tulvimisen lisääntyminen johtaisi alavilla alueilla mm. kiinteistöjen kellaritilojen ja tierakenteiden alikulkukäytävien lisääntyvään tulvimiseen. Tulvat voivat myös rikkoa tai siirtää esimerkiksi tierakenteita ja rumpuja. Tulvien levitessä alueille, joissa on ympäristölle vaarallisia aineita (jäte- ja raaka-aineverastot, kaatopaikat, jäteveden käsittelylaitokset) ympäristöriskin mahdollisuus kasvaa.

Taajamien sateiden intensiteettitarkkailusta pitäisi laajentaa nykyisen 4–5 taajaman lisäksi koskemaan suunniteltuja noin 50 taajamaa. Kuivatusrakenteiden mitoitusperusteet tulisi tarkistaa vastaamaan tulevaisuuden rankkasateita. Taajamien sadevesi-

viemäreiden saneeraustarve sekä sadeveden maahan imeytys- ja allastus- mahdollisuudet tulisi selvittää.

Pohjaveden tarkkailua tulisi laajentaa koskemaan useampia taajamia, ja havaintopisteiden määrää taajamissa tulisi lisätä. Vakavuuden, kantavuuden ja painumien laskentamenetelmät tulisi tarkistaa maan kosteustilan vaihdellessa pitkinä kuivina ja kosteina kausina. Mitoitusnormit tulisi päivittää vastaamaan tulevaisuuden olosuhteita.

Taajamatulvariski tulisi selvittää nykyisissä taajamissa ja tarvittaessa suunnitella vesien johtaminen uudelleen ja tarkistaa olemassa olevien kuivatusjärjestelmien mitoitus (sadevesiviemäröinti, salaojat ja pumppaamot). Lisäksi tulisi laatia ohjeet hulevesien paikallisesta käsittelystä tulvimisen ja eroosion ehkäisemiseksi. Taajamatulvien aiheuttamaa vahinkoriskiä olemassa oleville rakennuksille ja rakenteille voidaan pienentää varmistamalla kuivatusjärjestelmien kapasiteetti maahan imeyttämisen, ohitusputkien tai tulvakynnysten ja -suojausten avulla. Lisäksi tulisi estää veden kapillaarinen nousu tulvarajan yläpuolelle. Tulvimisen, sortumariskin ja huuhtoutumisen vaikutuksia tulisi paikallisesti selvittää ja tarvittaessa tulisi määrätä selkeitä rakentamisrajoituksia.

Lämpötilan kohoaminen, sateiden lisääntyminen, muutokset pohjaveden korkeudessa ja voimakkaiden tuulien lisääntyminen vaikuttavat talonrakentamiseen kohdistuviin vaatimuksiin sekä rakentamisolosuhteisiin. Sateiden lisääntyminen lisää rakennusten ulkopintojen kosteuskuormaa. Viistosade lisää seinärakenteille ja ikkunoille tulevaa räsitus-ta. Erityisesti huokoisten materiaalien kosteushaitat sekä esteettiset haitat lisääntyvät. Sademäärän ja haihdunnan välinen ero kasvaa enemmän kuin sademäärä, josta seuraa, että rakennusten ulkoverhouksen räsitukset kasvavat 20–50 %. Myös toistuvat 0 °C -ohituskerrat lisäävät seinärakenteille tulevaa räsitusta. Tästä seuraa, että ulkoverhousten käyttöikä lyhenee tai huollon tarve lisääntyy.

Ulkoseinärakenteiden (poisluettuna ulkoverhoukset) kosteustekninen toiminta muuttuu lämpötilan kohotessa. Pakkasajanjaksojen lyhetessä seinärakenteiden olosuhteet paranevat. Yleensä rakenteiden kosteus lisääntyy pakkaskausina, ja kuivuminen tehostuu merkittävästi, kun lämpötila kohoaa 0 °C:n yläpuolelle. Rakennusmateriaalien tasapainokosteus alenee lämpötilan kohotessa ja suhteellisen kosteuden pysyessä vakiona. Ilmaston muuttuessa rakenteet pysyvät nykyolosuhteita kuivempina ja rakenteiden homehtumispotentiaali pienenee, lukuun ottamatta katteita ja seinien ulkoverhouksia.

Suhteellisen kosteuden pysyessä nykyisellään ja lämpötilan kohotessa ns. märkäaika lisääntyy. Märkäajalla indikoidaan mm. metallirakenteiden korroosiota, ja sillä tarkoitetaan aikaa, jolloin suhteellinen kosteus on yli 80 % ja lämpötila korkeampi kuin 0 °C. Korroosiolle alttiiden ulkorakenteiden (teräsrakenteet, peltiverhoukset yms.) korrosio tulee lisääntymään.

Sateiden ja myrskyjen lisääntyminen vaikuttaa rakenteiden tuuletuksen sisääntuloaukkojen toimintaan. Erityisen tärkeäksi nousevat työn laatu, detaljisuunnittelu ja käytetyt materiaalit, jotta taataan, että rakenteet pysyvät kuivina.

Pohjavedenpinnan nousu lisää yläpuolisten maakerrosten suhteellista kosteutta. Liian suuri suhteellinen kosteus edistää mm. puurakenteiden lahoamista ja homeen muodostumista sekä putkien ja teräspaalujen korroosiota. Huokoiset rakennusmateriaalit, kuten tiili, betoni ja puu, imevät kosteutta niiden joutuessa kosketuksiin vapaan veden tai maa-huokosissa olevan kostean ilman kanssa.

Lisääntyvä maasta haihtuva kosteus vaikeuttaa merkittävästi ryömintätalaisen alapohjan toimintaa. Pohjaveden pinnan nousu ja kapillaarinen vedennousu maakerroksissa voi saada aikaan kosteusrasituksen lisääntymistä alapohjarakenteissa. Ryömintätalilan hyvästä tuulettumisesta huolehtiminen on tällöin erityisen tärkeää.

Talven sateista yhä suurempi osa tulee vetenä, ja myrskyisyys tulee lisääntymään. Tuuli- ja lumikuormat määritetään tällä hetkellä normien mukaan, jotka perustuvat 30 viime vuoden aikana tehtyihin mittauksiin. Koska rakennusten käyttöikä on kuitenkin huomattavasti pidempi, tulevat muutokset kuormissa tulisi ottaa huomioon jo nykyisin. Tällä hetkellä on mahdoton arvioida ilmastollisia muutoksia tulevaisuudessa samalla tarkkuudella. Kuitenkin olisi tärkeää huomata, että vaikutusten epälineaarisuus voi suurentaa vaikutuksia. Rakentamista koskevat säädökset tulisi päivittää vastaamaan tulevaisuuden olosuhteita.

Uusien rakennusten osalta tuulien voimistuminen ja myrskyjen lisääntyminen sekä muutokset lumikuormissa voidaan ottaa huomioon päivittämällä ohjeita ja normeja vastaamaan oletettua kehitystä. Olemassa olevia rakennuksia tai rakenteita voidaan parantaa siten, että ne eivät vahingoitu myrskyissä esimerkiksi aerodynaamisia ominaisuuksia parantamalla ja huolehtimalla lumen riittävästä puhdistuksesta. Tuulikuormamaksimien kasvaessa erityistä huomiota on kiinnitettävä kattojen ja etenkin katteiden kiinnityksiin erityisesti räystääsalueilla.

Kaavoituksessa ilmastonmuutokseen voidaan varautua tekemällä täydennyksiä säännöksiin, kuten maankäyttö- ja rakennuslakiin ja -asetukseen sekä kuntien rakennusjärjestyksiin, ja antamalla suunnittelusuosituksia eri kaavatasoille. Täydennykset voivat koskea esimerkiksi tulvariskialueiden määrittelyä, rakentamisrajoituksia riskialueille, pienilmaston, maaston ja maaperän huomioon ottamista, sade- ja pintavesien johtamista, rantarakentamista, rakennuspaikalle asetettavia vaatimuksia, rakennuksen etäisyyttä ranta-viivasta ja vesistöistä ja rakennuksen korkeusasemaa ranta-alueella.

Rakennusten sijoittaminen, muoto ja suuntaus tuulisuuden minimoimiseksi ovat tärkeitä seikkoja. Pohjois-, koillis- ja luoteisrinteiden käyttöönottoa sekä tuulisia alueita ja mäen harjanteita tulisi välttää, ja suosia puuston suojaamia alueita sekä etelä-, kaakkois- ja lounaisrinteitä. Mahdollisimman paljon rakennusmassaa tulisi suunnata etelään ja muodostaa rakennuksista toisiaan suojaavia korttelialueita. Rakennusten sijoittelussa tulisi välttää painanteita, joihin muodostuu ”kylmän ilman järviä” alueilla, joilla vuorokautiset lämpötilavaihtelut muodostuvat suuriksi ja tuulisuus on vähäistä. Rakennusten ja verkostojen sijoittamista huonolle maaperälle tulisi välttää.

Nykyiset säännökset mahdollistavat sinänsä ilmastonmuutoksen huomioonottamisen kaavoituksessa. Täydennykset säännöksiin voivat kuitenkin olla hyödyllisiä jatkossa. Paikalliset erityispiirteet voidaan ottaa huomioon myös rakennusjärjestyksessä. Myös nykyisiä kaavoitusperiaatteita noudattamalla voidaan varautua ilmastonmuutokseen. Erityisesti rantarakentaminen sekä pienilmastoa koskevien periaatteiden merkitys kuitenkin korostuu. Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen kaavoituksessa edistää myös turvallisen, terveellisen ja viihtyisän asuinympäristön muodostamista ja energiatalouden ja yhdyskuntatalouden kannalta edullista sekä kestävää rakentamista.

Muutokset tulevaisuudessa ovat suurelta osalta samoja, joita nykyisinkin otetaan huomioon suunnittelussa. Suunnittelu- ja mitoitusmenetelmiä on kuitenkin täsmennettävä, jotta vahinkoriski tulee huomioitua riittävällä tavalla.

Lähdeluettelo

- [1] Andraldy, A.L., Amin, M.B., Hamid, S.H., Hu, X. & Torikai, A. 1995: Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Ambio* 24(3): 191–196.
- [2] Blumhalter, M. & Ambach, W. 1988: Solar UVB-albedo of various surfaces. *Journal of Photochemistry and Photobiology* B53: 36–43.
- [3] Burrows, W., Vallee, M., Wardle, D.I., Kerr, J.B., Wilson, L.J. & Tarasick, D.W. 1994: The Canadian UV-B and total ozone forecast model. *Meteorological Applications* 1: 247–265.
- [4] Climtech-teknologiaojelma. <http://www.tekes.fi/ohjelmat>
- [5] ENV 1991-2-3. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.3: Snow loads. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 59 s.
- [6] ENV 1991-2-4. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.4: Wind actions. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 156 s.
- [7] Erat, B. 1994: Ekologia, ihminen, ympäristö. Opetushallitus, RAK Rakennusalan Kustantajat, Jyväskylä.
- [8] Graves, H.M. & Phillipson, M.C. 2000: Potential implications of climate change in the built environment. London: BRE. 63 s.
- [9] Groisman, P. Ya. 1994. Unusual weather conditions in Central and Northern Europe after volcanic eruptions. *Climate Variations in Europe*, Publ. Academy of Finland 3/94, 46–68.
- [10] Harmaajärvi, I., Huhdanmäki, A. & Lahti, P. 2001: Yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 522. Helsinki.
- [11] Heino, R. 1994. Changes of relative humidity in Finland. *Climate Variations in Europe*, Publ. Academy of Finland 3/94, 314–320.
- [12] Heinonen, S., Kasanen, P. & Walls, M. 2002: Ekotehokas yhteiskunta. Ympäristöklusterin kolmannen ohjelmakauden esiselvitysraportti. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 598. Helsinki.
- [13] Helsingin kaupungin rakennusjärjestys. Helsinki 2000.

- [14] Herman, J.R., Bhartia, P.K., Ziemke, J., Ahmad, Z. & Larko, D. 1996: UV-B increases (1979–1992) from decreases in total ozone. *Geophysical Research Letters* 23: 2117–2120.
- [15] Houghton, J.T. et al. (eds.) 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press.
- [16] IPCC Third Assessment Report: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch>
- [17] IPCC Third Assessment Report: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch>
- [18] IPCC Third Assessment Report: *Climate Change 2001: Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch>
- [19] Karl, T.R., Quayle, R.G. & Groisman, P. Ya. 1993. Detecting climate variations and change: New challenges for observing and data management systems. *J. Climate*, 6: 1481–1494.
- [20] Kharin, V.V. & Zwiers, F.W. 2000. Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *J. Climate* 13: 3760–3788.
- [21] Kivistö, T. & Rauhala, K. 1989: Town planning and operating costs of residential areas (ASTA II). VTT Tiedotteita 935. 142 s.
- [22] Kivistö, T. & Wahlgren, I. 1985: Energiatalous kaavoituksessa. VTT, maankäytön laboratorio, Suomen Kaupunkiliitto, Julkaisu D:29, Suomen Kunnallisliitto. Helsinki.
- [23] Kuusisto, E. 1986: Tilastomatematiikan menetelmien käyttö hydrologiassa. Sovellettu hydrologia (toim. S. Mustonen). *Vesiyhdistys*, s. 291–307.
- [24] Lahti, M. 1994. Linear trends in surface and geostrophic winds in Finland. *Climate Variations in Europe*, Publ. Academy of Finland, 3/94, 306–313.
- [25] Lenoble, J. 1998: Modeling of the influence of snow reflectance on ultraviolet radiance for cloudless sky. *Applied Optics* 37: 2441–2447.

- [26] Lubin, D, Jensen, E.H. & Gies, H.P. 1998: Global surface ultraviolet radiation climatology from TOMS and ERBE data. *Journal of Geophysical Research* 103: 29939–29956.
- [27] Maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999).
- [28] Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999).
- [29] Makkonen, L., Launiainen, J., Kahma, K. & Alenius, P. 1984. Long-term variations in some physical parameters of the Baltic Sea. *Climatic Changes on a Yearly to Millennial Basis*, D. Reidel Publ., 391–399.
- [30] Makkonen, L. Comments on Sections 7 and 8 of the Eurocode 1: 2-4 and the basic reference wind velocity for Finland. VTT Rakennustekniikka, Tutkimusselostus nro RTE30870/96, 18 s.
- [31] Makkonen, Lasse. 2002: Ilmastonmuutos – nykykäsitys Suomen osalta. Sisäinen raportti RTE50-IR-8/2002. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 9 s. + liitt. 28 s.
- [32] Mims, F.M. & Frederick, J.E. 1995: Cumulus clouds and UV-B. *Nature* 371: 291.
- [33] Moen, L. 2000. Nya resultat från SWECLIM. Swedish Regional Climate Modelling Programme, Årsrapport 2000, 8–11.
- [34] Ojala, K. 2000: Kestävän yhdyskunnan käsikirja. KL-Kustannus Oy. Jyväskylä.
- [35] Ollila, M. (toim.) 1999: Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa - Suositus alimmista rakentamiskorkeuksista. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 52. Helsinki. 54 s.
- [36] Ollila, M., Virta, H. & Hyvärinen, V. 2000: Suurtulvaselvitys, arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 51 s.
- [37] Palko J., Räsänen M. & Alasaarela E. 1985: Happamien sulfaattimaiden esiintyminen ja vaikutus veden laatuun Sirppujoen vesistöalueella. Vesihallitus. Tiedotus 260.
- [38] Rakennusjärjestyksen malli - Suositus perusteluineen. Suomen Kuntaliitto 1999.

- [39] RIL 183-3.5-1996. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä: Ilmastorasi-
tukset. Suomen rakennusinsinöörien liitto. 79 s.
- [40] Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma 1990–1995 (SILMU).
- [41] Suomen rakentamismääräyskokoelma. B3 Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet.
Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Ehdotusluonnos 19.3.2002.
- [42] Suurtulvatyöryhmän loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriön asettaman työ-
ryhmän loppuraportti 15.4.2003.
- [43] Swedish Regional Climate Modelling Program (SWECLIM)
- [44] Taalas, P., Kaurola, J., Kylling, A., Shindell, D., Sausen, R., Dameris, M., Grewe,
V., Herman, J.R., Damski, J. & Steil, B. 2000: The impact of greenhouse gases
and halogenated species on future solar UV radiation doses. *Geophysical
Research Letters* 27: 1127–1130.
- [45] Taalas, P, Kaurola, J. & Lindfors, A. 2002: Long-term ozone and UV estimates.
Proceedings, Understanding the Global System - The Finnish Perspective,
FIGARE Closing Conference, Espoo, 9–10.12.2002: 137–145.
- [46] Talonrakennuksen routasuojausohjeet. VTT Yhdyskuntatekniikka. Rakennustieto.
Helsinki 1997. 94 s.
- [47] Tarasick, D.W., Fioletov, V.E., Wardle, D.I., Kerr, J.B., McArthur, L.J.B. &
McLinden, C.A. 2003: Climatology and trends of surface UV radiation.
Atmosphere-Ocean 41(2): 121–128.
- [48] Tulvavaaran huomioon ottaminen rakennusten sijoittamisessa asemakaava-aluei-
den ulkopuolella. Suomen Kuntaliiton yleiskirje kuntien rakennusvalvontaviran-
omaisille. Helsinki 3.5.2002.
- [49] Tuomenvirta, H. & Jylhä, K. 2001: Development of Finsken Climate Scenarios.
Seminar on global Change Scenarios for Finland, Helsinki 28.5.2001.
- [50] Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista, Helsinki
30.11.2000.

- [51] Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Lahtinen, R. & Heikinheimo, M., 2000. Ilmas-
ton lämpenemisen vaikutus routaan lumettomilla paikoilla Suomessa. Ilmatieteen
laitos, Meteorologisia julkaisuja No. 43. 29 s.
- [52] Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Heikinheimo, M., Kellomäki, S., Peltola, H.,
Strandman, H. & Väisänen, H. 2000: The impact of climate change on soil frost
under snow cover in a forested landscape. Climate Research.
- [53] Venäläinen, A., Granskog, M. & Tuomenvirta, H. 1999: Alueellinen ilmaston-
muutos ja liikenne. Publications of the Ministry of Transport and
Communications 11/99. 32 s.
- [54] Viitanen, H. 1997: Modelling the time factor in the development of mould fungi
in wood - the effect of critical humidity and temperature conditions.
Holzforschung 51 (2): 99–106.
- [55] Weatherland, E.C., Tiao, G.C., Reinsel, G.C., Frederick, J.E., Choi, D.S. & Tam,
W.K. 1997: Analysis of long-term behaviour of ultraviolet radiation measured by
Robertson-Berger meters at 14 sites in the United States. *Journal of Geophysical
Research* 102: 8737–9754.
- [56] WMO Scientific Assessment of Ozone Depletion 1998, World Meteorological
Organization Global Ozone Research and Monitoring Project, Report, No. 44.
- [57] Ympäristöministeriön asetus maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa kaavoissa
käytettävistä merkinnöistä 31.3.2000.

Muuta kirjallisuutta

Kivikoski, H. 1994. Pakkasmäärät ja lämpöastesummat eri havaintoasemilla Suomessa havaintokaudella 1961–1990. VTT, Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio, moniste.

Pelin, T. The Impacts of Climate Change in the Helsinki Metropolitan Area. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C2001:16. 59 s.

Rahmstorf, S. Ocean Currents and Climate Change. Climate Impact Research. Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and German Academy Leopoldina, Berlin. October 1997. 6 s.

Rahmstorf, S. & Ganopolski, A. 1999. Long-Term Global Warming Scenarios Computed with an Efficient Coupled Climate Model. Climatic Change, vol. 43. pp. 353–367.

Rydell, B., Fallsvik, J., Lind, B. & Ottosson, E. 2001. Geotekniska konsekvenser av klimatförändringar. Slutrapport och kunskapsbehov. SGI Varia 507. Linköping, Statens Geotekniska institut. 32 s.

Solantie, R. & Uusitalo, K. 2000. Patoturvallisuuden mitoitussadannat: Suomen suurimpien 1, 5 ja 14 vrk:n piste- ja aluesadantojen analysointi vuodet 1959–1998 kattavasta aineistosta. 77 s.

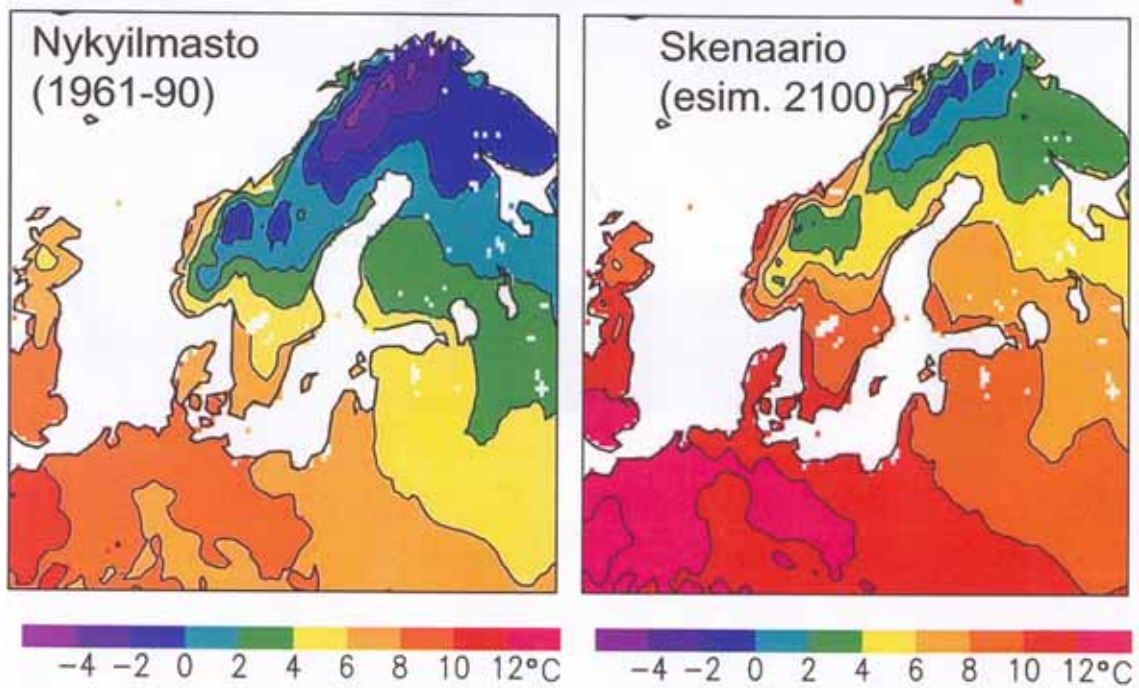
Tuomenvirta, H., Uusitalo, K., Vehviläinen, B. & Carter, T. 2000. Ilmastonmuutos, mitoitussadanta ja patoturvallisuus: arvio sadannan ja sen ääriarvojen sekä lämpötilan muutoksista Suomessa vuoteen 2100. 65 s.

Venäläinen, A. Ilmasto lämpenee, oheneeko routa? Tie ja liikenne 10/2000, s. 14–16.

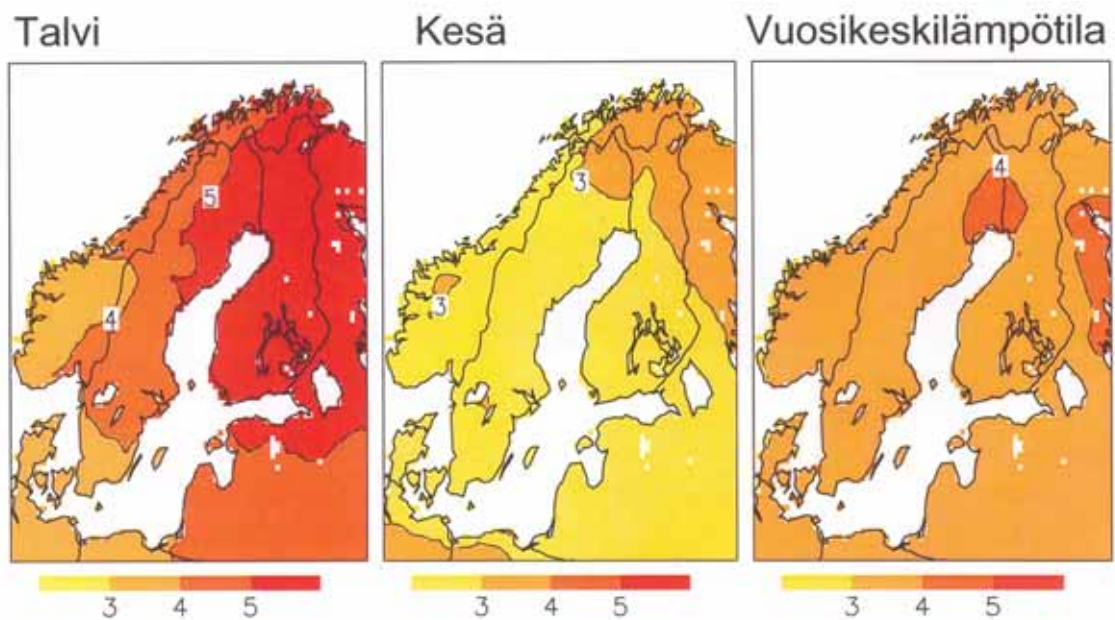
The impact of climate change on the Baltic Sea ice and soil frost beneath snow-free surfaces in Finland. Ilmastonmuutoksen vaikutus Itämeren jääpeitteeseen ja routaan lumettomilla paikoilla Suomessa. (Julkaisu on englanninkielinen.) Liikenneministeriön julkaisuja 13/2000.

Vad ställer vädret och klimatförändringar för tekniska krav på vägar och järnvägar? Transportforum 2002, Session 20. VTI konferens 21, 2002. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping.

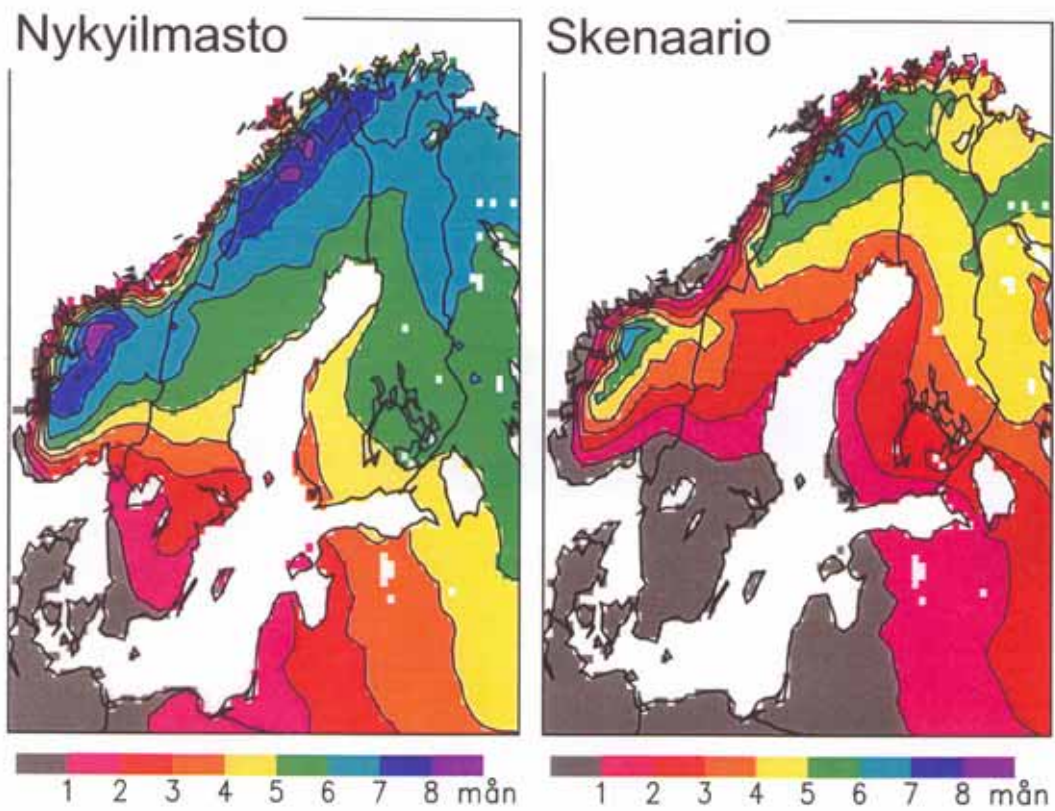
Liite A: Todennäköinen ilmastonmuutos Suomessa



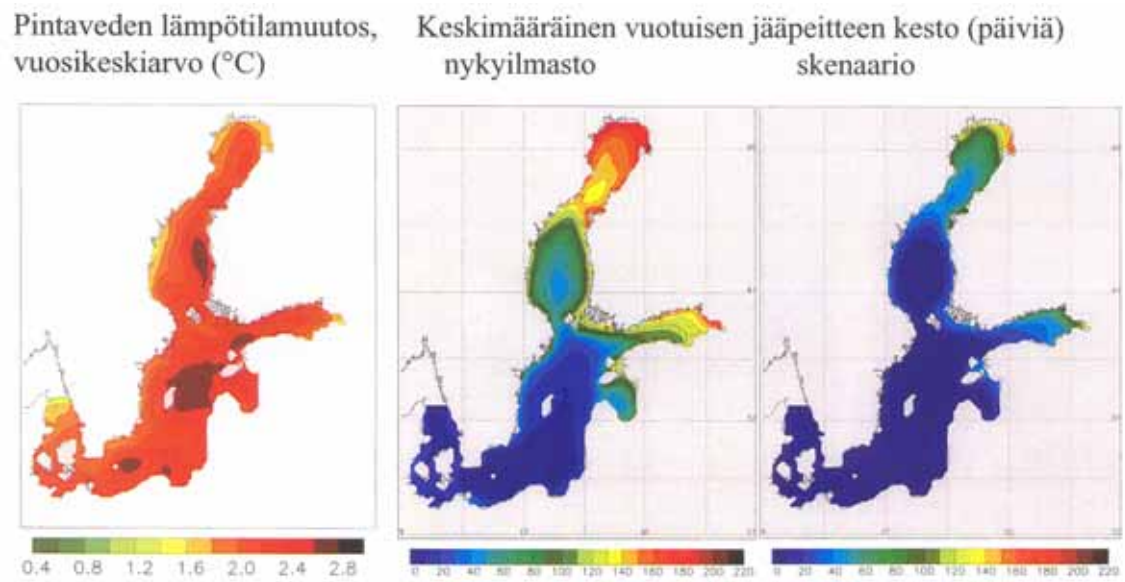
Kuva 1. Keskilämpötilamuutos Pohjois-Euroopassa [33].



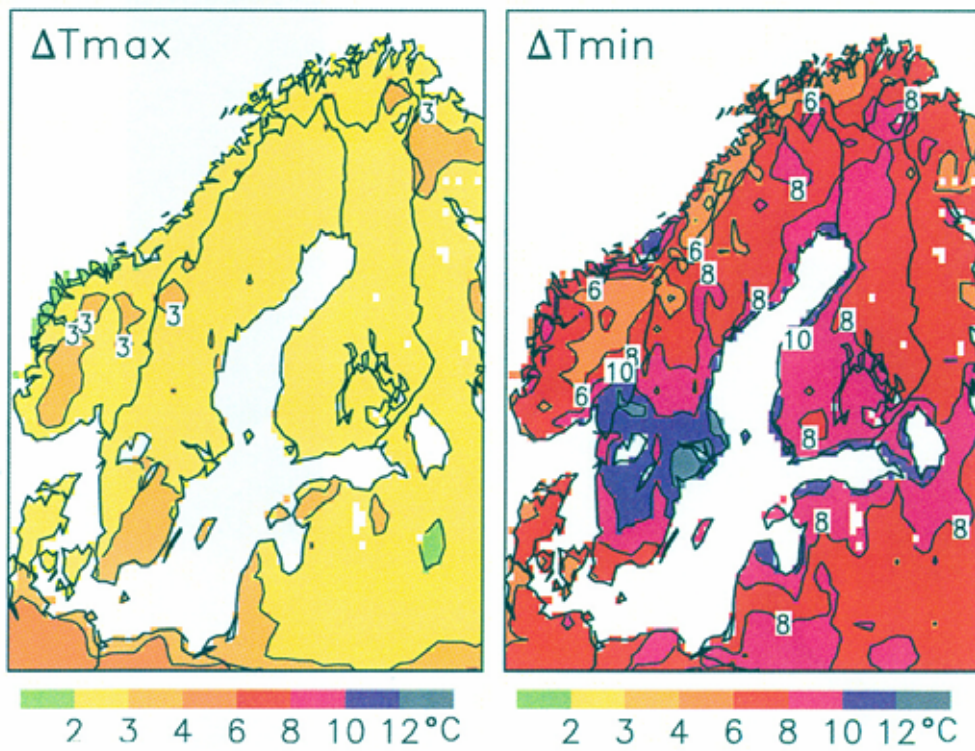
Kuva 2. Keskilämpötilamuutos eri vuodenaikoina [33].



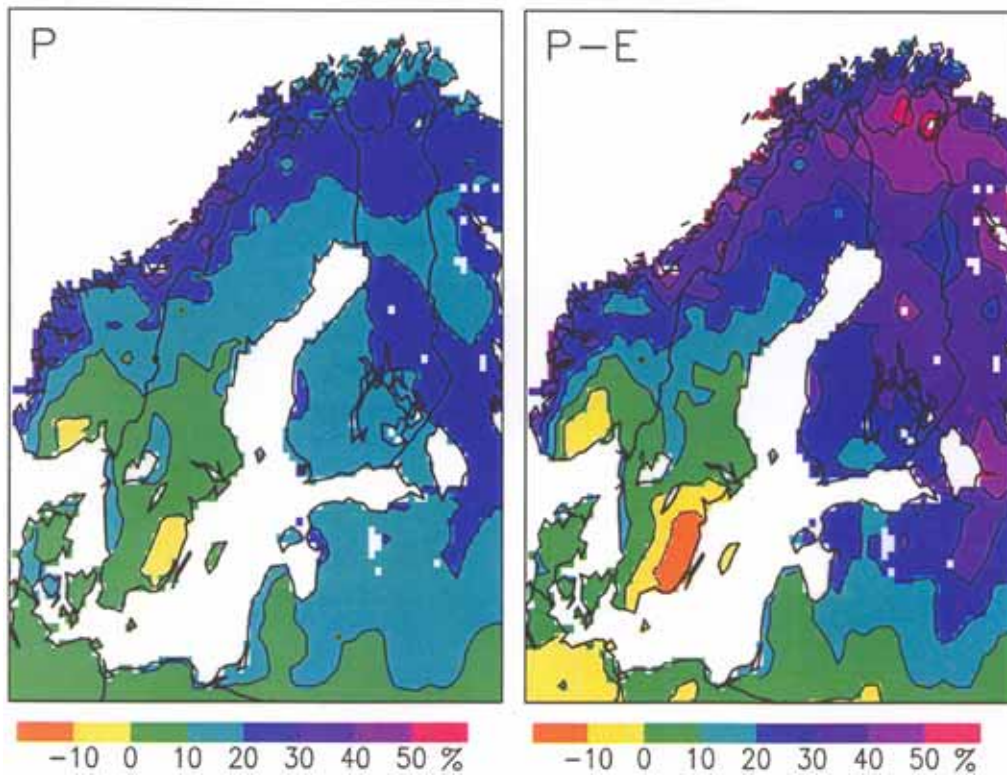
Kuva 3. Muutokset lumipeitteen kestoajassa [33].



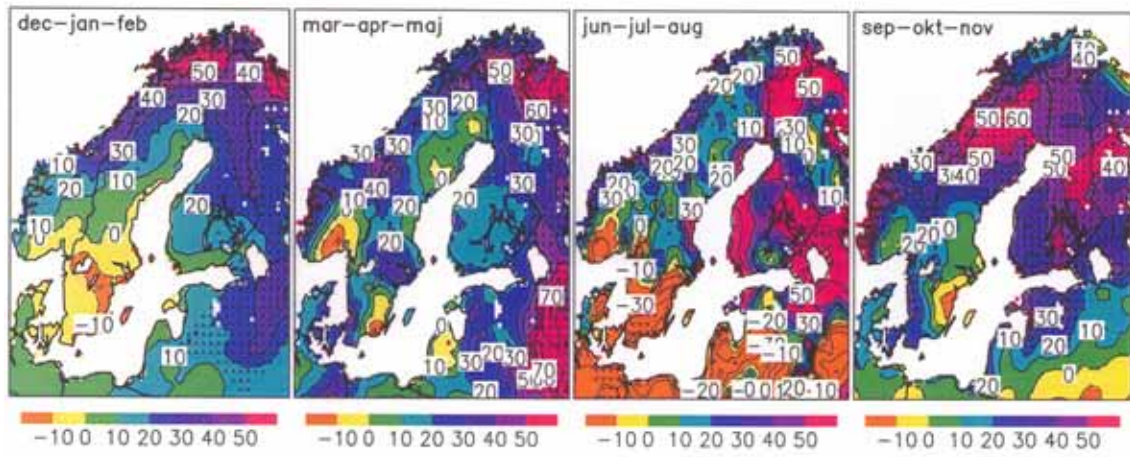
Kuva 4. Itämeren lämpeneminen [33].



Kuva 5. Ilman korkeimman ja alimman lämpötilan muutos [33].



Kuva 6. Vuotuisen sademäärän ja sadannan ja haihdunnan välisen eron muutos [33].



Kuva 7. Sadannan muutos eri vuodenaikoina [33].

Liite B: Suurtulvatyöryhmän tekemät maankäyttö- rakennuslain ja asetuksen muutosehdotukset

(Suurtulvatyöryhmä 2003, liite 4)

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) rakennuspaikkaa koskevia vaatimuksia käsittelevä 116 § on nyt kirjoitettu seuraavasti (tulvaa koskeva virke tummennettuna):

"Asemakaava-alueella rakennuspaikan sopivuus ratkaistaan asemakaavassa.

*Rakennuspaikan tulee asemakaava-alueen ulkopuolella olla tarkoitukseen sovelias, rakentamiseen kelvollinen ja riittävän suuri, kuitenkin vähintään 2 000 neliometriä. **Rakennuspaikan soveliaisuutta ja kelvollisuutta harkittaessa on muun muassa otettava huomioon, ettei rakennuspaikalla ole tulvan, sortuman tai vyörymän vaaraa.** Lisäksi rakennukset on voitava sijoittaa riittävälle etäisyydelle kiinteistön rajoista, yleisistä teistä ja naapurin maasta.*

Rakennuksen etäisyydestä asemakaava-alueen ulkopuolella toisen omistamaan tai hallitsemaan maahan ja sillä olevaan rakennukseen säädetään asetuksella."

Eduskunnan ympäristövaliokunta totesi asiaa koskevassa mietinnössään (6/1998 vp) muun muassa seuraavaa: "Valiokunta pitää välttämättömänä, että tulvan, sortuman tai vyörymän vaara otetaan huomioon jo asemakaavaa laadittaessa." Edellä tummennettu 116 §:n tulvavirke koskee asemakaava-alueen ulkopuolista aluetta. Siksi ympäristövaliokunnan kannan toteutumisen varmistamiseksi maankäyttö- ja rakennuslain asemakaavan sisältövaatimuksia koskevan 54 §:n toisen momentin ensimmäisen virkkeen jälkeen tulisi lisätä uusi virke:

"Rakentamista ei saa osoittaa alueelle, jolla on tulvan vaara tai joka on maaperältään tarkoitukseen soveltumaton."

Samalla lain 116 §:n edellä mainitun kolmannen momentin asetuksenantovaltuutta tulisi laajentaa ja kirjoittaa momentti seuraavasti (lisäys tummennettuna):

"Tulvan vaarasta sekä rakennuksen etäisyydestä asemakaava-alueen ulkopuolella toisen omistamaan tai hallitsemaan maahan ja sillä olevaan rakennukseen säädetään asetuksella."

Lain 141 §:ään tulisi lisätä uusi 2 momentti seuraavasti:

"Jos rakennus saadaan 1 momentissa tarkoitetun lupamääräyksen mukaisesti sijoittaa tulvan vaaran alaiselle alueelle, rakennuslupaviranomaisen on huolehdittava, että tieto siitä viedään kiinteistötietojärjestelmään."

Maankäyttö- ja rakennusasetukseen (895/1999) tulisi lisätä sopivaan kohtaan uudeksi pykäläksi seuraava:

"Rakennuspaikan soveliaisuutta ja kelvollisuutta harkittaessa on otettava huomioon, että maankäyttö- ja rakennuslain 54 §:n 2 momentissa ja 116 §:n 2 momentissa mainittu tulvan vaara tarkoittaa sitä, että tulva voi nousta rakennuksen vedestä vahingoittuviin rakenteisiin keskimäärin kerran sadassa vuodessa. Erityisen tärkeiden ja ympäristölle vaaraa aiheuttavien toimintojen ja kohteiden osalta tämän vaatimuksen tulee harkinnan mukaan olla tiukempi. Tulvan vaaran määrittämisestä vastaa alueellinen ympäristökeskus, jolta on tarvittaessa pyydettävä rakennuspaikan soveltuvuudesta lausunto. Rakennuspaikka katsotaan kuitenkin rakentamiseen soveltuvaksi, jos se tai rakennus suojataan asianmukaisesti tulvavahingoilta."

Asetuksen muutoksen perustelutekstissä tulisi muun ohella todeta, että Suomen ympäristökeskus vesiasioiden tutkimus- ja kehittämiskeskuksena varmistaisi opastuksella, että tulvan toistumisajan määrittämisessä käytetään parhaita ja yhtenäisiä käytäntöjä ja että myös muuttuvat olosuhteet otetaan asianmukaisesti huomioon.

Lisäksi maankäyttö- ja rakennusasetuksen 49 §:n 2 momenttiin tulisi tehdä seuraava tummennettu lisäys:

"Rakennuslupahakemukseen tulee liittää selvitys rakennuspaikan perustamis- ja pohjaolosuhteista ja tarvittaessa terveellisyydestä, korkeusasemasta ja tulvan, sortuman tai vyörymän vaaran huomioon ottamisesta sekä näiden edellyttämästä perustamistavasta ja tarvittavista muista toimenpiteistä."

Tekijä(t) Ala-Outinen, Tiina, Harmaajärvi, Irmeli, Kivikoski, Harri, Kouhia, Ilpo, Makkonen, Lasse, Saarelainen, Seppo, Tuhola, Markku & Törnqvist, Jouko			
Nimeke Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön			
Tiivistelmä Ilmastotutkijoiden mukaan ilman keskilämpötila Suomessa tulee todennäköisesti nousemaan neljä astetta lähimmän sadan vuoden aikana. Keskilämpötilan nousuun liittyy muutoksia esimerkiksi lumipeitteen ja meren jääpeitteen kestoajoissa sekä meriveden lämpötiloissa. Ennustetut sademäärän muutokset Suomessa ovat suuria, varsinkin syksyllä. Ääri-ilmiöiden, kuten myrskyjen ja rankkasateiden sekä pitkien kuivien tai kosteiden jaksojen, todennäköisyys kasvaa. Rakennukset suunnitellaan yleensä ainakin 50–100 vuoden käyttöikää varten. Nykyisissä rakennusnormeissa, esimerkiksi Eurocode-ohjeissa, sääilmiöiden aiheuttamat tilastolliset äärikuormat määritellään 50 vuoden toistuvuusajan perusteella. Ne puolestaan perustuvat yleensä ilmastodataan nykyhetkeä edeltävältä 30 vuoden ajanjaksolta. Siten tuleva ilmastonmuutos olisi jo nyt otettava huomioon rakennusten ja yhdyskuntien suunnittelussa sekä käyttöikään liittyvissä tarkasteluissa. Myös olemassa olevan rakennuskannan säilymisestä tulevissa ilmasto-olosuhteissa olisi huolehdittava. Varautumalla ilmastonmuutokseen etukäteen sen kielteisiä vaikutuksia voidaan pienentää ja myönteisiä vaikutuksia hyödyntää. Lumettomien alueiden keskimääräisten talvien roudan syvyudet pienensivät noin 0,5–1,0 m nykyisestä. Etelärannikolla useammin kuin joka toinen vuosi routaa ei olisi käytännössä ollenkaan. Routasuojaus on tulevaisuudessakin tarpeen koko maassa, mutta tarkennuksia routasuojauksen paksuuksiin voidaan tehdä. Taajamatulvien esiintymistodennäköisyys kasvaa. Talvisateiden lisääntyessä ja maanpinnan ollessa jäässä pintavirtaukset lisääntyvät, jolloin sadevesiviemärien kuormitus kasvaa. Myös rankkasateilla sadevesiviemäriverkosto ylikuormittuu, tonteilta huuhtoutuvien vesien pääsy verkostoon estyy sekä kellarien ja tonttien tulvehtimisriski kasvaa. Tulvimisen aiheuttamien riskien torjumiseksi sadevesiviemäröinnin uusimis- ja saneeraustarve lisääntyy. Jos tulvat leviävät alueilla, jossa on ympäristölle vaarallisia aineita, nämä voivat levitä ympäristöön. Lisääntyneiden sateiden takia eroosiota ja sortumia voi tulevaisuudessa tapahtua aiempaa matalimmilla korkeustasoilla. Pohjaveden pinta tulee nousemaan sademäärien kasvaessa, lumen lisääntyneen sulannan takia ja maapohjan ollessa talvisin pidempiä aikoja sulana. Maan vesipitoisuuden kasvaessa maan lujuus pienenee ja kantavuus alenee. Kuivuuden lisääntyminen kesällä yhdessä puiden aiheuttaman maaperän kuivumisen kanssa voi saada aikaan pohjavedenpinnan alentumista. Siitä voi edelleen aiheutua savimaapohjilla painumisen seurauksena putkirikkoja. Tulevaisuudessa on syytä varautua painumaeroihin putkijohtoja asennettaessa. Sateiden lisääntyminen lisää rakennusten ulkopintojen kosteuskuormaa. Viistosade lisää seinärakenteille ja ikkunoille tulevaa rasitusta. Erityisesti huokoisten materiaalien kosteushaitat sekä esteettiset haitat lisääntyvät. Myös toistuvat 0 °C -ohituskerrat lisäävät seinärakenteille tulevaa rasitusta. Tästä seuraa, että ulkoverhousten käyttöikä lyhenee tai huollon tarve lisääntyy. Ulkoverhouksmateriaalien tulisi olla paremmin kosteutta ja tuulisuutta kestäviä. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta muuttuu lämpötilan kohotessa. Pakkasajanjaksojen lyhentyessä seinärakenteiden olosuhteet paranevat lukuun ottamatta ulkoverhouksia. Rakennusmateriaalien tasapainokosteus alenee lämpötilan kohotessa, jos suhteellinen kosteus ei muutu. Talvien lämpeneminen helpottaa betonointia ja perustustöitä. Vetenä tulevien sateiden lisääntyessä talvisaikaan rakenteiden kuivattamisesta aiheutuu lisäkustannuksia ja rakenteiden vaurioitumisriski kasvaa. Toistuvat sulamis- ja jäätymsvaihtelut lisäävät kunnossapidon tarvetta myös rakennustyömailla sekä aiheuttavat rakennusmateriaalien säilytykselle lisävaatimuksia. Kaavoituksessa tulisi varautua ilmastonmuutoksen vuoksi erityisesti tulviin, tuulisuuden, rankkasateiden ja myrskyjen lisääntymiseen, sadannan kasvuun, maan kosteuden ja pohjavesiolosuhteiden muutoksiin, eroosion ja sortumariskin lisääntymiseen sekä jäätymisolosuhteiden muutoksiin. Muutoksiin voidaan varautua selvittämällä ja rajaamalla rakentamisen ulkopuolelle tulvariskialueita, rajoittamalla kaavamääräyksillä rakentamista riskialueille, määräämällä rakentamisen minimikorkeustaso vedenpinnasta, kiinnittämällä erityistä huomiota pienilmastoon, maastoon ja maaperään, sijoittamalla rakennukset tuulisuuden minimoimiseksi ja välttämällä rakennusten ja verkostojen sijoittamista huonolle maaperälle. Tuulisuutta ja maaperää koskevien selvitysten tarve lisääntyy. Suunnittelu- ja arviointimenetelmiä tulisi kehittää ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi. Ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi voidaan antaa suunnittelusuosituksia eri kaavatasoille sekä tarvittaessa laatia täydennyksiä säädöksiin, kuten maankäyttö- ja rakennuslakiin ja -asetukseen sekä kuntien rakennusjärjestyksiin. Täydennykset voivat koskea esimerkiksi tulvariskialueiden määrittelyä, rakentamisrajoituksia riskialueille, pienilmaston, maaston ja maaperän huomioon ottamista, sade- ja pintavesien johtamista, rantarakentamista, rakennuspaikalle asetettavia vaatimuksia, rakennuksen etäisyyttä rantaviivasta ja vesistöistä ja rakennuksen korkeusasemaa ranta-alueella. Lisäselvityksiä ja tutkimusta tarvitaan riskien, suojautusajojen yms. määrittelemiseksi.			
Avainsanat climatic change, environmental impacts, built environment, temperature, rainfall, snow-fall, sea level, wind conditions, construction industry, urban planning			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Puumiehenkuja 2 A, PL 1806, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6460-X (nid.) 951-38-6461-8 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero R2SU00826	
Julkaisu-aika Huhtikuu 2004	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 83 s. + liitt. 6 s.	Hinta B
Projektin nimi ILMATEKES		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämisskeskus (Tekes), VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2227
VTT-TIED-2227

Author(s) Ala-Outinen, Tiina, Harmaajärvi, Irmeli, Kivikoski, Harri, Kouhia, Ilpo, Makkonen, Lasse, Saarelainen, Seppo, Tuhola, Markku & Törnqvist, Jouko			
Title Impacts of climate change on the built environment			
Abstract <p>According to climate change experts the average air temperature in Finland is projected to increase 4 °C in the next 100 years. Buildings are designed for the service life of 50 - 100 years. The expected climate change should be taken into account in regulations and in service life design of structures. It is also important to take care of the existing building stock in the future climate conditions.</p> <p>The temperature increase affects the duration of snow and ice cover. The changes in precipitation, according to predictions, will be significant, up to 10%. The changes in precipitation are most significant in the autumn. Extreme phenomena, such as strong winds and heavy rain as well long dry or rainy periods, will occur more often. The ground frost depth of will decrease about 0.5-1.0 meters. Approximately every second year, there will be no ground frost at the south coast of Finland.</p> <p>The probability of flooding will increase. Drains for rainwater will be overloaded due to rain, particularly in wintertime when the ground is frozen. Increased heavy rainfalls generate flooding. It will be necessary to renew and renovate drains for rainwater in order to avoid the flooding risk. Flooding in the areas, where toxic materials are stored, may cause environmental hazards. Because of increasing rain the water level in rivers and lakes raises and erosion and landslides may occur at higher levels than before.</p> <p>The depth of groundwater rises as a consequence of rain and increased thawing of snow and because the ground is unfrozen for longer periods. When the water content of ground increases its strength decreases. The increased dry periods in summertime can reduce the depth of groundwater. This can create contraction and pipe breakings at heavy-textured soil.</p> <p>Driving rain increases the stress of casing of buildings (walls, roofs and windows). The grainy fouling and change of colour are the typical aesthetic damages, which can be created by driving rain. Consequently, the life-time of structures and/or the maintenance cycle gets shorter. The repeated cold and warm periods stress the structures. The structural physics behaviour of wall structures will change when the temperature increases. The equilibrium moisture content of building materials decreases when the temperature is above 0 °C and when the relative humidity remains constant.</p> <p>When winters get warmer, the construction process shall become easier. For example, the depth of ground frost decreases and the use of concrete gets easier. Due to more rainy winters drying of structures will become more demanding. Also, building materials are subjected to weather conditions and may be damaged by high humidity.</p> <p>The effects of the climate change should also be taken into account in land use planning. In general planning, i.e. regional land use plans and master plans, it is essential to determine the flood, land slide and other risk areas and to leave them outside building areas or to restrict construction in them. In detailed planning, i.e. town plans, it is important to define sites and building areas to control location of buildings, networks and other structures. The minimum construction level near waterways should be regulated and special attention should be paid to microclimate, topography and soil. New recommendations for planning as well as specifications and complements to regulations may be necessary.</p>			
Keywords climatic change, environmental impacts, built environment, temperature, rainfall, snow-fall, sea level, wind conditions, construction industry, urban planning			
Activity unit VTT Building and Transport, Puumiehenkuja 2 A, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6460-X (soft back ed.) 951-38-6461-8 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Project number R2SU00826	
Date April 2004	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 83 p. + app. 6 p.	Price B
Name of project ILMATEKES		Commissioned by The National Technology Agency (Tekes), VTT Building and Transport	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

Ilmastotutkijoiden mukaan ilman keskilämpötila Suomessa tulee todennäköisesti nousemaan neljä astetta lähimmän sadan vuoden aikana. Myös sateiden ennustetaan lisääntyvän merkittävästi, varsinkin syksyllä. Ääri-ilmiöiden, kuten myrskyjen ja rankkasateiden sekä pitkien kuivien tai kosteiden jaksojen, todennäköisyys kasvaa.

Rakennukset suunnitellaan yleensä ainakin 50–100 vuoden käyttöikää varten. Siten tuleva ilmastonmuutos olisi jo nyt otettava huomioon rakennusten ja yhdyskuntien suunnittelussa sekä käyttöikään liittyvissä tarkasteluissa. Myös nykyisen rakennuskannan säilymisestä tulevissa ilmasto-olosuhteissa olisi huolehdittava. Varautumalla ilmastonmuutokseen etukäteen sen kielteisiä vaikutuksia voidaan pienentää ja myönteisiä vaikutuksia hyödyntää.

Tätä julkaisua myy
VTT TIETOPALVELU
PL 2000
02044 VTT
Puh. (09) 456 4404
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av
VTT INFORMATIONSTJÄNST
PB 2000
02044 VTT
Tel. (09) 456 4404
Fax (09) 456 4374

This publication is available from
VTT INFORMATION SERVICE
P.O.Box 2000
FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 9 456 4404
Fax + 358 9 456 4374
