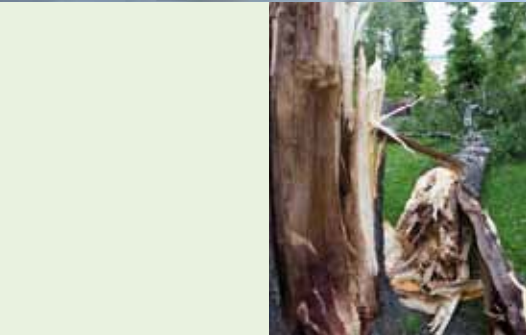


# Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua?

Yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla



# Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua?

- yhteenveto suomalaisesta  
sopeutumistutkimuksesta  
eri toimialoilla

Julkaisun nimi:

Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua?  
– yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla

Julkaisija:

Maa- ja metsätalousministeriö

Kannen kuvat:

Pauli Jokinen Ilmatieteen laitos paitsi saimaannorppa, maa- ja metsätalousministeriön kuvapankki

ISBN 978-952-453-681-3 (painettu), 978-952-453-682-0 (verkkojulkaisu)

ISSN 1238-2531 (painettu), 1797-397X (verkkojulkaisu)

Graafinen suunnittelu: Z Design Oy

Taitto: Anita Pesola/Juvenes Print

Paino: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print, Tampere 2012

# Esipuhe

Tähän yhteenvetoraporttiin on koottu Suomessa toteutetun ilmastonmuutoksen vaikutus- ja sopeutumistutkimuksen tuloksia eri toimialoilla. Raportti perustuu pitkälti Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelman (ISTO, 2006–2010) hankkeiden tuloksiin, mutta mukana on myös monien muiden projektien, kuten ekosysteemipalvelujen ja elinkeinojen sopeutumista selvittäneen VACCIA-hankkeen ja Metsäntutkimuslaitoksen MIL-ohjelman, tuloksia. ISTOn päätyttyä oli tarpeen vetää yhteen ohjelmassa saatuja tuloksia ja samalla myös tuottaa laajempi kokonaisnäkemys suomalaisen yhteiskunnan haavoittuvuudesta ja mahdollisuuksista sopeutua muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin.

ISTO on osaltaan toteuttanut Ilmastonmuutoksen kansallista sopeutumisstrategiaa (2005) ja tuottanut käytännön sopeutumistoimissa tarvittavaa tietoa. Tätä tutkimusyhteenvetoa on tarkoitus hyödyntää lähivuosina sopeutumisstrategian uusimistyössä sekä täydentävän sopeutumistutkimuksen suuntaamisessa. Yhteenvedon perusteella on mahdollisuus muodostaa laaja näkemys Suomen kannalta keskeisimmistä ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyvistä kysymyksistä ja tuoda kansalliset näkemykset mukaan myös EU-tason sopeutumistyöhön.

Raportin tärkeimmät tulokset on koottu tiivistelmään. Luvussa 2 on tietoa ilmastonmuutoksesta ja sään ääri-ilmiöistä Suomessa. Luvussa 3 esitetään toimialakohtaisesti sopeutumistutkimusten keskeisiä tuloksia. Luku 4 kuvaa kansainvälisiä kytkentöjä. Luvussa 5 käsitellään eri aloja läpileikkaavia kysymyksiä ja siinä on tulosten lisäksi myös kuvattu menetelmäkehitystä. Tämä sopeutumistutkimuksen yhteenveto pohjautuu ensisijaisesti suomalaiseen tutkimukseen, mutta kotimaisten tulosten puuttuessa on viitattu myös alan kansainväliseen tutkimukseen. Raportin lopussa esitetään tutkijoiden arvio sopeutumistutkimuksen tasosta Suomessa ja jatkotutkimustarpeita yleisellä tasolla. Yksityiskohtaisempia tutkimustarpeita ja sopeutumistoimia sisältyy myös toimialakohtaisiin lukuihin.

Raportin valmisteluun kirjoittajina ja kommentoijina on osallistunut kymmeniä tutkijoita lukuisista organisaatioista. Työtä on ohjannut maa- ja metsätalousministeriön vetämä Ilmastonmuutokseen sopeutumisen koordinoitiryhmä, jonka tehtävänä on seurata ja edistää Ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian toimeenpanoa. Yhteenveto on toteutettu maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella osana sektoritutkimuksen ilmastonmuutoksen tutkimusohjelmaa.

Yhteenvedon kokoamisesta ja toimittamisesta vastanneena projektipäällikkönä olen nähnyt, miten tutkijat ovat venyneet monien projektien rinnalla myös tämän raportin tekemiseen. Työtä on pidetty tärkeänä ja motivoivana, ja sopeutumistutkimusta tekevät tutkijat toivovat, että tuloksia sovelletaan käytäntöön. Toivottavasti yhteenveto palvelee tätä tarkoitusta ja siihen palataan kerta toisensa jälkeen kokoavan tiedon lähteenä. Monitieteinen yhteenveto tarjoaa kaikille uusien näkökulmien ilmastonmuutokseen sopeutumiseen.

Lämmin kiitos kaikille työhön osallistuneille!

Helsingissä, maaliskuussa 2012

Reija Ruuhela  
projektipäällikkö

# Kirjoittajat ja toimittajat

Auttila Miina, Itä-Suomen yliopisto  
Bergström Irina, Suomen ympäristökeskus  
Fronzek Stefan, Suomen ympäristökeskus  
Gregow Hilppa, Ilmatieteen laitos  
Haanpää Simo, Aalto yliopisto  
Haapala Jari, Ilmatieteen laitos  
Hakala Kaija, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus  
Halonen Mikko, Gaia Consulting Oy  
Heikkinen Hannu I., Oulun yliopisto  
Heikkinen Risto, Suomen ympäristökeskus  
Helle Pekka, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Henttonen Heikki, Metsäntutkimuslaitos  
Himanen Sari, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus  
Holmberg Maria, Suomen ympäristökeskus  
Huitu Otso, Metsäntutkimuslaitos  
Hyvärinen Marko, Helsingin yliopisto  
Hyvönen Terho, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus  
Jakkila Juho, Suomen ympäristökeskus  
Johansson Milla, Ilmatieteen laitos  
Jokinen Pauli, Ilmatieteen laitos  
Juha Jokisalo, Aalto-yliopisto  
Jylhä Kirsti, Ilmatieteen laitos  
Kahiluoto Helena, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus  
Kallio Maarit, Metsäntutkimuslaitos  
Karhu Juha A., Ilmatieteen laitos  
Kauppila Pekka, Thule instituutti, Oulun yliopisto  
Kellomäki Seppo, Itä-Suomen yliopisto  
Kilpeläinen Antti, Itä-Suomen yliopisto  
Kumpula Jouko, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Kunnasranta Mervi, Itä-Suomen yliopisto  
Käyhkö Jukka, Turun yliopisto  
Lahdensivu Jukka, Tampereen teknillinen yliopisto  
Laitila Arja, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus  
Lépy Élise, Oulun yliopisto  
Leviäkangas Pekka, VTT  
Lindholm Harri, Työterveyslaitos  
Makkonen Lasse, VTT  
Marttunen Mika, Suomen ympäristökeskus  
Mela Hanna, Suomen Ympäristökeskus  
Molarius Riitta, VTT  
Müller Michael, Metsäntutkimuslaitos  
Neuvonen Seppo, Metsäntutkimuslaitos  
Niemelä Pekka, Turun yliopisto  
Niemi Marja, Itä-Suomen yliopisto  
Nurmi Teemu, Suomen ympäristökeskus  
Nurmi Väinö, Ilmatieteen laitos  
Partonen Timo, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos  
Peltola Heli, Itä-Suomen yliopisto  
Peltonen Lasse, Suomen ympäristökeskus  
Peltonen-Sainio Pirjo, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus  
Perrels Adriaan, Ilmatieteen laitos  
Pilli-Sihvola Karoliina, Ilmatieteen laitos  
Pöyry Juha, Suomen ympäristökeskus  
Reinikainen Marko, Helsingin yliopisto  
Rintamäki Hannu, Työterveyslaitos  
Ruosteenoja Kimmo, Ilmatieteen laitos  
Ruuheela Reija, Ilmatieteen laitos  
Räisänen Jouni, Helsingin yliopisto  
Saarikivi Pirkko, Foreca Consulting Oy  
Saikkonen Kari, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus  
Sairinen Rauno, Itä-Suomen yliopisto  
Salemaa Maija, Metsäntutkimuslaitos  
Siitonen Juha, Metsäntutkimuslaitos  
Tietäväinen Hanna, Ilmatieteen laitos  
Toivonen Heikki, Suomen ympäristökeskus  
Tuomenvirta Heikki, Ilmatieteen laitos  
Tuomisto Jouni, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos  
Urho Lauri, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Wahlgren Irmeli, VTT  
Vapaavuori Elina, Metsäntutkimuslaitos  
Vapalahti Olli, Helsingin yliopisto  
Vehviläinen Bertel, Suomen ympäristökeskus  
Veijalainen Noora, Suomen ympäristökeskus  
Venäläinen Ari, Ilmatieteen laitos  
Vihervaara Petteri, Suomen ympäristökeskus  
Viljanen Markku, Itä-Suomen yliopisto  
Vinha Juha, Tampereen teknillinen yliopisto

# Kuvailulehti

Julkaisija	Maa- ja metsätalousministeriö	Julkaisu-aika huhtikuu 2012
Tekijä(t)	Reija Ruuhela (toim.)	
Julkaisun nimi	Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla	
Tiivistelmä	<p>Raporttiin on koottu Suomessa toteutetun ilmastonmuutoksen vaikutus- ja sopeutumistutkimuksen tuloksia laajasti eri toimialoilta. Vuoden 2011 aikana tutkijayhteisön yhteistyön tuloksena syntynyt yhteenveto perustuu pitkälti Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelman (ISTO, 2006–2010) hankkeisiin, mutta mukana on myös monien muiden projektien tuloksia.</p> <p>Ihmiskunnan toiminnasta aiheutuva ilmastonmuutos on meneillään, eikä sitä voida enää kokonaan estää hillintätoimista huolimatta. Maapallo ei lämpene tasaisesti, vaan Suomessa lämpötila kohoaa enemmän kuin maapallolla keskimäärin. Jos maapallon keskilämpötila kohoaa 2 asteella, Suomessa vuoden keskilämpötila nousisi noin 3,5 astetta ja vuotuinen sademäärä kasvaisi noin 13 %. Muutoksen nopeus on Suomessa suuri haaste niin yhteiskunnalle kuin luonnollekin.</p> <p>Raportissa kuvataan ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja mahdollisuuksia sopeutua muutokseen eri toimialoilla: luonnonvarojen käytöstä ja luonnon monimuotoisuudesta rakennettuun ympäristöön ja ihmisten terveyteen. Ilmastonmuutokseen sopeutumista tarkastellaan myös monitieteisenä, toimialojen rajat ylittävänä kysymyksenä ja kuvataan päätöksenteon kannalta tärkeitä ilmastoriskien arvioinnin ja hallinnan menetelmiä, alueellista haavoittuvuutta sekä taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia.</p> <p>Sopeutumistutkimus on hyvin eri vaiheissa eri toimialoilla, niinpä tulokset eivät ole täysin yhteismitallisia, eivätkä vertailtavissa eri toimialojen kesken. Tähän mennessä toteutetun sopeutumistutkimuksen tuloksia voidaan kuitenkin soveltaa käytännön sopeutumistoimissa jo monilla aloilla. Sopeutumistoimet tukevat usein myös toimialan muita tavoitteita.</p> <p>Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusta on tarpeen jatkaa ja syventää kaikilla toimialoilla. Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudellisista, yhteiskunnallisista ja ympäristövaikutuksista sekä sopeutumistoimien kustannustehokkuudesta tarvitaan lisää tietoa. Toimivien ratkaisujen löytämiseen tarvitaan ennakoivaa sää- ja ilmastoriskien arviointia ja hallintaa. Ilmastonmuutokseen varautumisessa tulisi ottaa huomioon myös sään ja ilmaston luontainen vaihtelu.</p> <p>Tutkimusyhteenvetoa on tarkoitus hyödyntää lähivuosina ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumistrategian uusimistyössä sekä täydentävän sopeutumistutkimuksen suuntaamisessa.</p>	
Asiasanat	ilmastonmuutos, vaikutukset, sopeutuminen, haavoittuvuus, maatalous- ja elintarviketuotanto, metsätalous, kalatalous, porotalous, riistatalous, vesivarat, luonnon monimuotoisuus, teollisuus, energia, liikenne, alueidenkäyttö, yhdyskunnat, rakentaminen, terveys, matkailu, vakuutustoiminta, riskien arviointi ja hallinta	
Julkaisusarjan nimi ja numero	MMM:n julkaisuja 6/2011	
	ISSN 1238-2531 (painettu) 1797-397X (verkkojulkaisu)	ISBN 978-952-453-681-3 (painettu) 978-952-453-682-0 (verkkojulkaisu)
	Sivuja 177	Kieli suomi

# Sisältö

Esipuhe	3
Tiivistelmä	8
Tutkijoiden yhteenveto ja tutkimustarpeita	12
1 Johdanto	14
2 Ilmasto muuttuu Suomessa	16
2.1 Ilmasto	16
2.2 Itämeri	24
3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutuminen eri toimialoilla	28
3.1 Elinkeinoelämä	28
3.1.1 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen maa- ja elintarviketaloudessa	28
3.1.2 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen metsätaloudessa	38
3.1.3 Kalasto, kalakannat ja kalastus sekä niiden sopeutuminen ilmaston muuttuessa	46
3.1.4 Ilmastonmuutos ja riistakannat	52
3.1.5 Ilmastonmuutos ja poronhoito	56
3.1.6 Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos - vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen	61
3.1.7 Teollisuus ja energia	66
3.1.8 Matkailu ja luonnon virkistyskäyttö	69
3.1.9 Vakuutusala	74
3.2 Luonnon monimuotoisuus	78
3.2.1 Johdanto	78
3.2.2 Luonnon monimuotoisuus, ekosysteemipalvelut ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon	79
3.2.3 Vieraslajit ja luonnon monimuotoisuus	80
3.2.4 Esimerkkejä sopeutumisen haasteista luonnon monimuotoisuudelle	81
3.2.5 Ex situ -suojelusta apua heikoimmille lajeille	84
3.2.6 Luonnon monimuotoisuuden taloudellinen arvottaminen	85
3.3 Rakennettu ympäristö	89
3.3.1 Liikenne ja tietoliikenne	89
3.3.2 Alueidenkäyttö, yhdyskunnat ja rakentaminen	98
3.4 Terveys ja hyvinvointi	111
3.5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutuminen Itämerellä	124
4 Kansainväliset kytkennät	126
4.1 Globaalien vaikutusten heijastuminen Suomeen	126
4.2 Kehittyvien maiden tukeminen	130
5 Läpileikkaavat kysymykset	135
5.1 Ilmatoriskien arvioinnin ja hallinnan menetelmät	135
5.1.1 Ilmatoriskin määritelmä	135
5.1.2 Ilmatoriskit	137
5.1.3 Ilmatoriskien arvioinnin menetelmiä	138
5.1.4 Esimerkkejä ilmatoriskianalyseista	140
5.2 Alueellinen haavoittuvuus	145
5.3 Ilmastomuutoksen taloudelliset vaikutukset ja niiden arviointi	151
5.3.1 Johdanto	151
5.3.2 Ilmastonmuutoksen kansantaloudelliset vaikutukset Suomelle	152
5.3.3 Yhteenveto taloudellisesta tutkimuksesta	154

5.3.4 Taloudellinen riskinhallinta	156
5.4 Ilmastonmuutoksen ja siihen sopeutumisen sosiaaliset vaikutukset	160
5.5 Varoitusjärjestelmät	167
5.6 Tutkimustiedon viestintää verkossa	169
6 Yhteenveto: Tukijoiden arvio sopeutumistutkimuksen tasosta Suomessa	170
7 Sopeutumistutkimuksen tulevaisuuden tarpeita	174



# Tiivistelmä

**Ilmasto** muuttuu väistämättä kasvihuoneilmaston voimistumisen seurauksena ja muutoksen suuruus riippuu kasvihuonekaasupäästöjen määrästä. Jos maapallon keskilämpötila kohoaa kahdella asteella tämän vuosisadan aikana jo toteutuneen vajaan asteen lämpenemisen lisäksi, Suomessa vuoden keskilämpötila nousisi noin 3,5 astetta; talvella lämpötila kohoaisi peräti viidellä asteella ja kesälläkin yli kahdella asteella. Samalla vuotuinen sademäärä lisääntyisi Suomessa noin 13 %. Ilmaston luonnollinen vaihtelu on suurta ja muutokset alkavat vasta vähitellen erottua luonnollisen vaihtelun taustasta. Lämpötilan nousun, sademäärän kasvun ja lumen vähenemisen lisäksi myös usean muun säätä ja ilmastoja kuvaavan suureen muutokset painottuvat vuoden talvipuoliskolle. Kesällä yleistyvät helteet ja rankkasateet, mahdollisesti toisinaan myös kuivuus.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät myös **Itämerellä**. Talvien leudontuminen vaikuttaa Itämeren jääpeitteen laajuuteen ja jään paksuuteen. Yhtenäisten merijääkenttien väheneminen lisää sään vaihtelevuutta merellä ja rannikkoalueilla. Maailmanlaajuinen merenpinnan nousu vaikuttaa Itämerelläkin. Sademäärä ja jokivesien valunta Itämereen kasvavat, tuulisuus ja merenkäynti voimistuvat. Itämeren pinnan on arvioitu nousevan jonkin verran vähemmän kuin valtamerien keskimäärin. Pohjanlahdella maankohoaminen riittää ainakin vuosisadan alkupuolella vielä tasapainottamaan merenpinnan nousun. Muuttuvilla sääoloilla on myös biologisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia. Itämeri on ollut aina muutosten meri ja niin myös tulevaisuudessa. Itämeren peruspiirteiden - veden lämpötilan, suolaisuuden, jääpeitteen ja eliöstön - suuri vaihtelevuus johtuu pääasiassa Itämeren pienestä koosta ja sijainnista Pohjois-Atlantin kinalossa.

Ilmastonmuutos saattaa parantaa Suomen **maatalouden** tuotantokykyä lähitulevaisuudessa pidentyvän kasvukauden ja suuremman lämpösumman kautta. Ilmastonmuutoksen myötä säätilan vaihtelut, ääri-ilmiöt ja suurempi tauti- ja tuholaispaine saattavat kuitenkin aiheuttaa ennalta arvaamattomia haittoja maataloudelle. Myönteisistä muutoksista voidaan parhaiten hyötyä ja haasteista selviytyä varautumalla muutoksiin joustavasti. Viljelymenetelmiä ja -järjestelmiä on kehitettävä, on rakennettava hälytysjärjestelmiä mm. tuholaisien massaesiintymisten ja tautiepidemioiden varalle sekä huolehdittava siitä, että kasvinjalostus tuottaa jatkuvasti uusiin oloihin soveltuvia lajikkeita. Kasvintuotannossa lisääntyvä kosteus etenkin talvella lisää vesitalouden hallintatarvetta. Kohoava lämpötila voi johtaa kasvien liian nopeaan kehitysrytmiin, mikä saattaa johtaa alentuviin satoihin. Kotieläintaloudessa vaarana ovat yleistyvät eläintaudit ja rehuissa esiintyvät homesienimyrkyt eli mykotoksiinit.

**Elintarviketaloudessa** lämpimämpi ja kosteampi ilmasto saattaa lisätä ruoan varastointiongelmia ja uhata ruoan hygieenisyyttä ja laatua. Vieraslajien ja uusien haittamikrobien yleistymistä ja leviämistä Suomeen on seurattava ja arvioitava, miten niiden aiheuttamat haitat tulevaisuuden ilmastossa voivat muuttua ja miten muutoksiin voidaan varautua. Maatalouden ympäristönsuojelussa on varauduttava lisätoimiin, kun kasvitautien ja -tuholaisien torjunta ja lisääntyvät sateet uhkaavat lisätä torjunta-aineiden ja ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Varautumisessa on tärkeää paitsi tietyn uhkan tunteminen, myös joustavuus sopeutumisessa sekä tunnettuihin että tuntemattomiin tekijöihin. Joustavuutta voidaan parantaa monipuolisella tuotannolla, jossa yksittäisen maatilan käytössä on esim. useita viljelykasvilajikkeita ja viljelykasveja.

Suomen maapinta-alasta on noin kaksi kolmasosaa **metsätaloukskäytössä**. Metsien hoidon ja käytön sopeuttaminen muuttuvaan ilmastoon on tärkeää, jotta pystytään turvaamaan luonnon monimuotoisuus talousmetsissä ja metsien kestävä käyttö eri tarkoituksiin, kuten ainespuun ja energiabiomassan tuottamiseen sekä virkistyskäyttöön. Metsätalouden aikajänne on pitkä, useita vuosikymmeniä, mikä edellyttää metsänhoidon asteittaista sopeuttamista muuttuvaan ilmastoon. Metsänhoitotoimenpiteillä voidaan ainakin jossain määrin myös vähentää ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia, kuten lisääntyviä tuhoriskejä. Sopeutumistoi-  
mien tarve voi kuitenkin olla hyvin erilainen lyhyellä, keskipitkällä ja/tai pidemmällä aikavälillä, ja vaihdella paljonkin riippuen myös alueesta. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tulisi tulevaisuudessa voida lisätä myös

metsien hiilensidontaa, metsien ja puutuotteiden hiilivarastoja sekä metsäbiomassan hyödyntämistä energian tuotannossa. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi metsien hoitotoimenpiteet tulee sopeuttaa siten, että ne tukevat ilmastopoliittisia tavoitteita.

**Kalakantojen** reagointi lämpötilan muutoksiin näkyy kalansaaliissa usein joidenkin vuosien viiveellä lajista riippuen. Kasvunopeuden esimerkiksi kuhalla ja ahvenella arvioidaan kasvavan lämpenemisen ansiosta. Toisaalta kylmää vettä tarvitsevat lajit, joihin useimmat uhanalaiset kalalajit kuuluvat, ovat tiukoilla. Taimenen arvellaan tulevaisuudessa kärsivän korkeista kesälämpötiloista ja vähäisistä virtaamista kutuajoissa. Lämpimät talvet yhdessä rehevöitymisen kanssa ovat ilmeinen syy vähentyneisiin made- ja siikasaaliisiin. Ammattikalastuksen hyödynnettävissä olevien kalavarojen taloudellinen arvo näyttää vähenevän. Itämeressä ympäristömuutokset ratkaisevat kehityssuunnan rannikon kalakannoissa ja jäättilanne vaikuttaa talvikalastukseen. Ilmastonmuutoksen vaikutuksen ennustaminen kalakannoissa kovin pitkälle eteenpäin on epävarmaa ja oleellisempaa onkin seurata ilmaston vaihtelun ja muutoksen vaikutuksia kalakannoissa ja saaliissa sekä vieraslajien levinneisyydessä ja runsaudessa. Lämpenemisen myötä vieraslajeja on asettunut rannikkovesiin kiihtyvää tahtia aiheuttaen kilpailua ja syrjäyttäen alkuperäisiä lajeja. Sopeutuminen ilmastonmuutokseen vaatii ajan tasalla olevaa ymmärrystä siitä, mitä on tapahtumassa. Kalastus on jo osin sopeutunut joihinkin ilmaston aiheuttamiin muutoksiin, mutta yksi keskeinen haaste on kalojen käyttäytymisessä tapahtuvat muutokset. Kalastustapojen ja -paikkojen muutokset ovat osin välttämättömiä saalistason palauttamiseksi ja kalanistutuksia tulisi myös kohdistaa uudelleen.

**Riistaeläinlajit**, kuten muutkin eliölajit, ovat sopeutuneet ilmaston ja elinympäristön vaihteluun ja muutokseen. Ilmaston lämmetessä on perusteltua olettaa, että samalla kun kasvillisuusvyöhykkeet siirtyvät pohjoiseen, tiettyihin elinympäristöihin aikojen saatossa sopeutuneiden lajien levinneisyysalueetkin muuttuvat. Tällöin Pohjois-Euroopassa arktisen ja siperialaisen faunatyypin lajit joutuvat vetäytymään pohjoiseen ja itään, kun taas eteläisten, eurooppalaisten lajien levinneisyysalueet siirtyvät kohti pohjoista. Riistanhoidon ja metsästyksen näkökulmasta varautuminen tuleviin muutoksiin voi perustua eläinkantojen huolelliseen seurantaan ja täsmälliseen saalistilastointiin. Tältä pohjalta metsästyksen määrä voidaan mitoittaa kestäväksi.

**Poronhoidon** ekologiseen, sosiaaliseen ja ekonomiseen kestävyysvaikutukset elinkeinon itsensä lisäksi monet paikalliset, alueelliset ja globaalit tekijät. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia poronhoitoon on monilta osin vielä vaikea ennakoida, mutta se näyttäisi tuovan poronelinkeinnolle enemmän ongelmia ja haasteita kuin suotuisia muutoksia. Siksi tulevien ympäristömuutosten kohtaamisessa tarvitaan entistä laajempaa ympäristö- ja luonnonvarojen käytön tutkimusta sekä samalla monipuolisia ja kattavia toimenpiteitä niin yksittäisten elinkeinojen kuin laajemman luonnonvarojen käytön kestävyysparantamiseksi.

**Luonnon monimuotoisuus**, biodiversiteetti, on ihmisen hyvinvoinnille välttämätöntä ja elävän luonnon tarjoamien aineettomien ja aineellisten hyötyjen, ekosysteemipalveluiden, säilyminen on varmistettava ilmaston muuttuessa. Ilmastonmuutos vaikuttaa merkittävästi ekosysteemien toimintaan ja sitä kautta moniin ekologiisiin, taloudellisiin ja sosiaalisiin hyötyihin, joita luonnon monimuotoisuus tuottaa ihmiselle. Euroopasta on löydetty yli 11 000 vieraslajia, joiden aiheuttamat haitat alkuperäiselle luonnon monimuotoisuudelle ja ekosysteemipalveluille ovat merkittäviä ja nopeasti lisääntymässä. Aggressiivisesti leviävät vieraslajit hyötyvät ilmastonmuutoksesta suhteessa enemmän kuin alueen alkuperäinen lajisto. Sen sijaan useille uhanalaisille lajeille, kuten saimaannorpalle, muuttuvasta ilmastosta on haittaa. Ekosysteemipohjaisilla sopeutumistoimilla pyritään ylläpitämään ja vahvistamaan ihmiselle tärkeitä ekosysteemipalveluja sekä ylläpitämään luonnon monimuotoisuutta. Suojelualueet ovat tärkeitä monimuotoisuuden säilyttämisessä ja sopeutumisessa ilmastomuutokseen.

Sää ja ilmasto vaikuttavat usein ratkaisevasti matkakohteen valintaan, ja sen vuoksi ilmastonmuutokseen varautuminen on toimialalla tärkeää. **Suomen matkailun** valttina toimivat luonnonolosuhteet muuttuvat vähitellen, kun talvet lauhtuvat ja lumipeitteinen aika lyhenee. Vastaavasti kesämatkailuun soveltuva kausi

pitenee, joten on tärkeää kehittää ympärivuotista matkailua ja varmistaa kesäisen luonnon vetovoimaisuus ja puhtaus. Matkailuelinkeino Suomessa voi saada myös kilpailullista hyötyä, jos monien nykyisin suosittujen matkakohteiden ilmasto-olosuhteet muualla Euroopassa ja maailmalla heikkenevät. Toisaalta talvikauden vapaa-ajan toimintojen suosio voi hiipua. Lähimatkailun suosio voi myös kasvaa, jos lentolippujen hinnat nousevat tuntuvasti ilmastosyistä. Matkailun tulevaisuus riippuu kuitenkin merkittävästi muista yhteiskunnallisista toiminnoista ja talouskehityksestä.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen **vesivaroihin**, hydrologiaan ja tulviin tutkivien hankkeiden mukaan ilmastonmuutos tulee muuttamaan merkittävästi jokien virtaamien ja järvien vedenkorkeuksien vuodenaikaista vaihtelua. Kevään lumen sulamistulvat pienenevät merkittävästi lauhempien talvien johdosta etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Kesän vedenkorkeudet alenevat useissa järvissä aikaisemman kevään ja kasvavan haihdunnan vaikutuksesta etenkin runsasjärvisillä alueilla, joilla järvihaihdunta vaikuttaa voimakkaammin. Kesän ja alkusyksyn kuivuus ja alhaiset vedenpinnat tulevat joillain järvillä olemaan tulevaisuudessa nykyistä suurempi ongelma. Syksyn sateet lisääntyvät ja loppusyksyn virtaamat kasvavat tulevaisuudessa. Talven vedenkorkeudet ja virtaamat kasvavat selvästi etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa, kun talven aikana entistä suurempi osa sateesta tulee vetenä ja lumi sulaa talven aikana. Muutoksia on havaittavissa jo lähivuosikymmeninä, mutta merkittäviksi ne kasvavat vuosisadan puolivälin paikkeilla.

**Rakennusten** ja etenkin **yhdyskuntarakenteen** suunnittelussa nykyään tehtävät ratkaisut vaikuttavat pitkälle tulevaisuuteen. Ilmastonmuutoksen näkökulmasta on tärkeää, että rakennettu elinympäristö toimii erilaisissa sääoloissa, että se luo viihtyisät puitteet elämälle eikä sen ylläpitäminen kuluta kohtuuttomasti energiaa. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulisi ottaa huomioon rakentamisen koko ketjussa, aina alueiden käytön suunnittelusta rakennusten sijoitteluun, rakentamiseen ja elinkaaren aikaiseen ylläpitoon asti. Hyvällä yhdyskuntasuunnittelulla voidaan ehkäistä ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia ja tuottaa viihtyisää rakennettua ympäristöä.

Ilmastonmuutokseen sopeutumisessa on otettava huomioon sekä olemassa oleva rakennuskanta että uudisrakentaminen. Ilmastonmuutos vaikuttaa rakennettuun ympäristöön muun muassa lisäämällä tekniseen infrastruktuuriin ja rakennusten ulkopintoihin kohdistuvaa rasitusta ja kasvattamalla paikoin tulvariskiä. Ennakoiva kunnossapito on tärkeä sopeutumiskeino ja se edellyttää tietoa rakenteiden vaurioitumismekanismeista. Rakennusperinnön ja kulttuuriympäristön ylläpidossa ja korjaamisessa on jo alettu varautua ilmastonmuutokseen. Tulvavaarallisten alueiden kartoituksen tuloksia voidaan hyödyntää paikallisten sopeutumistoimien suunnittelussa ja hulevesioppaassa ohjataan varautumiseen myös kiinteistötasolla. Nykyisessä rakentamista ohjaavassa lainsäädännössä ja muissa säädöksissä on olemassa edellytykset ilmastonmuutoksen huomioon ottamiseksi.

Ilmastonmuutoksella on monia kielteisiä vaikutuksia **liikennejärjestelmiin**. Myönteiset vaikutukset sen sijaan tunnetaan vielä puutteellisesti. Kunnossapidon kehittäminen, rakenteiden kestävyysparantaminen sekä varoitus- ja suojelutoiminnan tehostaminen auttaa sopeutumaan lähivuosikymmenien ilmaston vaihteluihin ja muutokseen. Suurempiin muutoksiin varautuminen vaatii suunnittelua ja mitoituksien tarkistamista. Ilmastonmuutoksen vaikutukset liikennetarpeen kehitykseen sekä liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen tunnetaan puutteellisesti. Ilmastonmuutoksen hillintätoimet voivat puolestaan vaikuttaa eri liikennemuotojen kehitykseen ja tämäkin saattaa vaatia ennakoivaa sopeutumista.

Suomalainen **teollisuus** on yleisesti ottaen hyvin energiavaltaista ja siten ilmastonmuutosta on sektorilla tarkasteltu enemmän hillinnän kuin sopeutumisen kannalta. Sopeutumiseen liittyvää tutkimusta on Suomessa tehty vain vähän. Sää ja ilmasto voivat kuitenkin vaikuttaa monin tavoin teollisuustuotannon koko ketjuun raaka-aineiden saatavuudesta ja kuljetuksesta sääherkkiin prosesseihin ja kysynnän vaihteluun. Erityisesti energian kulutuksen ja tuotannon sää- ja ilmastoriippuvuus on merkittävä.

**Vakuuttaminen** riskienhallintakeinona perustuu riskien kokoamiseen ja jakamiseen. Ongelmalliseksi sää- ja ilmatoriskin vakuuttamisen tekee vakuutettavien samanaikainen altistuminen korvauksia aiheuttavalle ilmiölle. Tähän voidaan sopeutua jakamalla riskiä alueellisesti vakuuttamalla alueita, joille suurelta luonnonkatastrofit eivät osu samanaikaisesti. Maantieteellisessä hajauttamisessa jälleenvakuuttajilla on merkittävä rooli. Ilmastonmuutos aiheuttaa vakuutusmarkkinoille vaikeuksia, koska historiallisten tietojen perusteella ei voida arvioida tulevia vahinkoja entiseen tapaan. Tarvitaan menetelmiä, joissa ilmastotilastoja ja ilmastonmuutos-skenaarioita hyödynnetään yhdessä historiallisen vahinkotiedon kanssa arvioitaessa tulevaisuudessa tapahtuvia korvauksia. Mikäli vakuutusala ei pysty vastaamaan ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin haasteisiin, on vaarana, että sääriskiltä ei voi suojautua vakuutuksella.

Merkittävä osa ilmastonmuutoksen yhteiskunnallisista vaikutuksista ilmenee suoraan tai välillisesti **ihmisten terveydessä ja hyvinvoinnissa**. Toisaalta terveys ja hyvinvointi voivat olla merkittävä motivaatio sekä hillintä- että sopeutumistoimille, ja näiden toimien priorisoinnissa ihmisen terveys tulisi olla tärkeä sektorit ylittävä arviointikriteeri. Ilmastonmuutoksesta johtuvia terveysvaikutuksia on Suomessa tutkittu toistaiseksi vain vähän, mutta nykyisen tiedon perusteella voidaan tehdä arvioita yleisellä tasolla. Ilmaston lämmetessä helteen aiheuttamat terveysongelmat voivat yleistyä ja kylmyyteen liittyvät terveysongelmat vähentyä. Rankkasateiden yleistyminen voi lisätä talousvesien pilaantumisen riskiä, ja hyönteisten tai muiden eläinvälitteisten tautien levinneisyydessä ja epidemiologiassa voi tapahtua muutoksia. Talvisin pilvisuus lisääntyy ja lumipeite vähenee; aiempaa synkemmät talvet voivat pahentaa mielenterveysongelmia. Ilmastonmuutoksen kielteisiin terveysvaikutuksiin voidaan varautua kehittämällä muun muassa varoitusjärjestelmiä, toimintatapoja ja terveydenhuollon toimia riskialttiiksi tunnistetuissa säätilanteissa sekä rakennuskantaa. Lisäksi tietoisuutta terveys- ja toimintakykyhaitoista on tarpeen lisätä tekemällä potentiaaliset vaaratilanteet ja riskirajat helposti tunnistettaviksi.

**Ilmatoriskien arviointi ja hallinta** ja toisaalta hyväksyttävän riskitason määrittäminen ovat oleellinen osa päätöksentekoa kaikilla toimialoilla sekä yksityisellä että julkisella sektorilla ja hallinnon eri tasoilla. Muuttuvassa ilmastossa myös riskien toteutumisen todennäköisyydet muuttuvat ja tarvitaan aiempaa perusteellisempaa riskien arviointia, jossa otetaan huomioon nykyisen ilmaston lisäksi myös ilmastonmuutoksen vaikutukset. Ilmatoriskejä voidaan arvioida eri lähestymistavoin. Luonnon järjestelmiin liittyviä uhkia painottavat tavat keskittyvät ilmatoriskin fysikaalisiin ominaisuuksiin, ja yhteiskunnan haavoittuvuutta painottavat lähestymistavat ilmatoriskien sosiaalisiin ja taloudellisiin ominaisuuksiin. Ilmatoriskien analyysissä käytetään asiantuntija-arvioita ja riskianalyyskejä, jotka yhdistävät ilmastotapahtuman todennäköisyyden ja sen seurausvaikutusten todennäköisyyden. Riskien hallintakeinoja ovat tapahtumien ehkäiseminen ja tapahtuneiden vaurioiden rajoittaminen ja korjaaminen.

**Alueelliseen haavoittuvuuteen** vaikuttavat altistuminen ilmastonmuutoksen ja sään vaikutuksille, luonnon ja yhteiskunnan järjestelmien herkkyys vaikutuksille ja kyky sopeutua niihin. Sopeutumistoimet on räätälöitävä niin, että ne ottavat huomioon nämä tekijät paikallisesti. Alueellisen haavoittuvuuden tutkimuksessa on oleellista eri toimialat ylittävä kokonaisvaltainen tarkastelu. Ensimmäisiä tähän soveltuvia kartoitustyökaluja on jo kehitetty. Alueellisen haavoittuvuuden tutkimus on kuitenkin Suomessa vasta alkuvaiheessa.

Ilmastonmuutoksen **taloudellinen tutkimus** on Suomessa ollut tähän asti melko vähäistä. Joillain toimialoilla vaikutukset tiedetään jo melko hyvin, mutta suurta epävarmuutta liittyy vielä vaikutuksien voimakkuuden arviointiin. Lisäksi ilmastonmuutoksen aiheuttamat fyysiset seuraukset eivät välttämättä johda samansuuruisiin ja –suuntaisiin taloudellisiin vaikutuksiin. Ilmastonmuutos ei yleensä myöskään ole ainoa tai tärkein eri toimialojen kehitykseen vaikuttava tekijä. Sen vuoksi ilmastonmuutoksen aiheuttamat taloudelliset vaikutukset kannattaa arvioida yhdessä muiden tekijöiden kanssa. Sään aiheuttamilta riskeiltä voidaan suojautua hajauttamalla riskiä kohteisiin, joihin sääilmiö vaikuttaa eri tavalla. Riskiltä voi suojautua myös vakuutuksella tai joillain sektoreilla sääjohdannaisilla. Suomessa valtion takaama sosiaaliturva toimii myös taloudellisena riskinhallintakeinona.

Ilmastosopeutumisen tutkimuksessa näkökulmat ovat laventuneet vähitellen myös **sosiaaliin** ja **kulttuuriin** vaikutuksiin, joiden arviointiin sosiaalisten vaikutusten arvioinnin viitekehys (SVA) tarjoaa monia hyviä lähtökohtia. Ilmastomuutoksen sosiaalisissa vaikutuksissa on kyse siitä, miten luonnossa, luonnonvarojen käytössä ja yhdyskuntien infrastruktuurissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat ihmisten ja yhteisöjen arkeen, hyvinvointiin, elämäntapoihin, toimintaedellytyksiin ja kulttuuriin käyttöihin. Sosiaaliset ja kulttuuriset tekijät – kuten yhteisön sosiaaliset verkostot, osallistuminen päätöksentekoon, arvot ja tottumukset – ovat tärkeitä sopeutumiskyvyn vahvistamisessa. Sopeutumiskyky on myös pääomaa, jonka ylläpitäminen ja kehittäminen ovat hyväksi riippumatta siitä, millaisena ilmastomuutoksen vaikutukset näyttäytyvät. Tietyn alueen väestön ilmastosopeutumisen tarpeita analysoidaan pohtimalla kokonaisuutta, johon kuuluvat esimerkiksi liikkuminen, energia-asiat, viihtyisyys, maankäyttö, työ ja turvallisuus. Näin yhdistämällä ekologinen, sosiaalinen, taloudellinen ja kulttuurinen kestävyys linkittyvät toisiinsa.

Ilmastomuutoksen seurauksena vaaraa tai vahinkoa aiheuttavien säätilanteiden todennäköisyydet muuttuvat. Osana ilmastomuutokseen varautumista on tarpeen kehittää **ennakkovaroitusjärjestelmiä**. Niiden tarkoituksena on paitsi varoittaa ennakolta vaaraa aiheuttavasta tilanteesta myös käynnistää toimia, jotka helpottavat tilanteesta selviytymistä ja minimoivat vahinkoja jo nykyisin. Ilmatieteen laitos ja Suomen ympäristökeskus varoittavat säähän, meriin ja vesistöihin liittyvistä ilmiöistä. Varoituksia välitetään eri tiedotuskanavien kautta ja viranomaiset saavat varoituksia myös suoraan heille suunnatun järjestelmän avulla.

**Ilmastomuutoksen seuraukset muualla maailmassa välittyvät Suomeen** muun muassa kansainvälisen kaupan kautta. Esimerkiksi kuivuus tai tulvat voivat nostaa ruuan ja raaka-aineiden hintoja, mikä voi osittain parantaa Suomen maatalouden kilpailukykyä. Arktisen alueen merkitys merenkululle kasvaa ja energiavarojen hyödyntämismahdollisuudet lisääntyvät jääpeitteisen ajan lyhentyessä, millä voi olla vaikutusta koko Pohjois-Suomen aluekehitykseen. Ilmastomuutos voi olla myötävaikuttamassa konflikteihin ja muuttoliikkeisiin kehittyvissä maissa, mikä tulee huomioida myös Suomen kehitysyhteistyössä. **Kehittyvät maat** ovat erittäin haavoittuvia ilmastoriskeille ja niiden talous on yleensä riippuvainen maataloudesta tai muusta alkutuotannosta. Sen vuoksi on tärkeää, että sopeutumistoimet tukevat myös varautumista ilmaston luonnollisesta vaihtelusta johtuviin luonnonkatastrofeihin eikä ainoastaan vuosikymmenien päässä odotettavissa oleviin tapahtumiin. Kehitysyhteistyössä tulisi ottaa huomioon ilmastonäkökulma ja vahvistaa kehittyvien maiden yhteiskunnan ja elinkeinon sopeutumiskykyä.

## Tutkijoiden yhteenveto ja tutkimustarpeita

Meneillään olevaan ja väistämättömään ilmastomuutokseen on tarpeen varautua. Se edellyttää ilmastomuutoksen sopeutumistutkimuksen jatkamista ja syventämistä edelleen, sillä eri toimialoilla tutkimus on hyvin erilaisissa vaiheissa. Maa- ja metsätaloudessa ja vesivarojen hallinnassa ollaan pisimmällä, kun monilla aloilla sää- ja ilmastoriippuvuutta ei tunneta riittävän hyvin vielä nykyisessäkään ilmastossa. Kuitenkin tutkijoiden käsityksen mukaan sopeutumistutkimusten tuloksia voidaan hyödyntää käytännön sopeutumistoimissa jo nykyisenkin tiedon perusteella lähivuosina. Ilmastomuutoksen suuruuteen tai sen vaikutuksiin liittyvän tieteellisen tiedon epävarmuuden ei tulisi olla esteenä käytännön toimien aloittamiselle. Sopeutumistoimet voivat tukea myös toimialan muita tavoitteita. Tutkimustulosten ja toimenpide-ehdotusten soveltaminen käytäntöön lisää kansalaisten turvallisuutta ja parantaa yhteiskunnan toimintavarmuutta ja on myös taloudellista. Valtakunnallisen ja monialaisen koordinaation tulisi tukea tiedon soveltamista ja viestintää myös alueellisella ja paikallisella tasolla.

Ilmastomuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudellisista, sosiaalisista ja ympäristövaikutuksista sekä sopeutumistoimista ja niiden kustannustehokkuudesta tarvitaan lisää tietoa. Tutkimusta puutteellisesti tunnetuista ilmastoriskeistä ja toisaalta ilmastomuutoksen hyödyistä suomalaiselle yhteiskunnalle ja luonnolle on tarpeen

syventää. Usein muutokset teknologisissa, taloudellisissa ja sosiaalisissa tekijöissä lisäävät yhteiskunnan haavoittuvuutta sää- ja ilmatorisille. Toimivien ratkaisujen löytämiseen tarvitaan ennakoivaa sää- ja ilmatoriskien arviointia ja hallintaa. Tässä tulisi ottaa huomioon sekä ilmastonmuutos että sään vaihtelu.

Arktisten alueiden ja Itämeren haavoittuvuuden takia pohjoismainen ja muu lähialueyhteistyö sopeutumistutkimuksessa on tärkeää. Globaalien vuorovaikutussuhteiden ja nopeasti reagoivien maailmanmarkkinoiden kautta ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät meillä mm. energian- ja ruoan hinnoissa sekä maailmanpolitiikan muutoksina. Tarvitsemme tutkimusta näiden kansainvälisten vaikutussuhteiden piirteistä ja seurauksista Suomessa.

Oikein ajoitettujen sopeutumistoimien avulla ilmastonmuutoksen myönteisiä vaikutuksia Suomessa voidaan hyödyntää ja haitallisia vaikutuksia vähentää. Sopeutumistoimien hyödyt voivat olla moninkertaisia kustannuksiin verrattuna ja ne tukevat kestävästä luonnonvarojen käyttöä ja toimintaa.

# 1 Johdanto

Ihmiskunnan toiminnasta aiheutuva ilmastonmuutos on meneillään, eikä sitä voida enää kokonaan estää hillintätoimista huolimatta. Kansainvälisessä ilmastopolitiikassa asetettu tavoite rajoittaa maapallon keskilämpötilan kohoaminen kahteen asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna voi osoittautua mahdottomaksi saavuttaa. Toistaiseksi neuvottelut ilmaston lämpenemistä aiheuttavien kasvihuonekaasujen päästörajoituksista ovat edenneet hitaasti ja päästöt ovat jatkaneet kasvuaan. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen merkitys hillinnän rinnalla korostuu sitä enemmän mitä hitaammin ilmastonmuutoksen hillintätoimissa edetään.

Ilmastonmuutos on maailmanlaajuinen ilmiö, mutta sen vaikutukset koetaan paikallisella tasolla. Ilmastonmuutos tuo mukanaan riskejä, joilla toteutuessaan on merkittäviä haitallisia vaikutuksia paikallisiin elinolosuhteisiin, talouteen, elinkeinoihin, turvallisuuteen, terveyteen ja kulttuuriin tai jopa koko elämänmuotomme säilymiseen. Toisaalta menestyksenkäs sopeutumisen voi synnyttää myös uusia mahdollisuuksia esimerkiksi elinkeinoelämälle.

Lämpeneminen maapallolla ei ole tasaista, vaan ilmasto Suomessa lämpenee enemmän kuin maapallolla keskimäärin. Muutoksen nopeus on suuri haaste niin yhteiskunnalle kuin luonnollekin. Pohjoisella ja vauraalla Suomella on hyvät edellytykset sopeutua muuttuvaan ilmastoon, mutta muutokseen kannattaa varautua ennakoita. Näin voidaan parhaiten pienentää ilmastonmuutoksen haittoja ja toisaalta hyödyntää myönteisiä vaikutuksia.

Ensimmäinen ilmastonmuutokseen sopeutumiseen keskittynyt monitieteinen tutkimushanke Suomessa oli FINADAPT (2004–2005), jota edelsivät laajat monitieteiset ilmastonmuutoksen tutkimusohjelmat SILMU (1990–1995) ja FIGARE (1999–2002). Näiden ohjelmien tutkimustuloksia hyödynnettiin ensimmäisen sopeutumisstrategian laatimisessa. Sen yhteydessä todettiin myös tarve käynnistää uusi Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma, ISTO. Tähän raporttiin on koottu yhteen tärkeimmät ISTOn tutkimushankkeiden tulokset vuosilta 2006–2010. Koska ohjelma toteutui suunniteltua pienemmin resurssein, hankkeet eivät kattaneet kaikkia toimialoja. Tässä yhteenvedossa kuitenkin on tavoitteena luoda kokonaiskuva suomalaisen sopeutumistutkimuksen tuloksista, joten yhteenvedossa on mukana eri alojen asiantuntijoiden kokoamaa tutkimustietoa myös muista tutkimushankkeista ja –ohjelmista. Kaikilla toimialoilla riippuvuuksia ilmastosta ei ymmärretä riittävän hyvin vielä edes nykyisessä ilmastossa ja siten ilmastonmuutoksen vaikutusarviot ja sopeutumistutkimuskin ovat vain suuntaa-antavia. Tämän vuoksi kaikkien eri toimialojen tutkimus ei ole vielä yhteismittallista ja täysin vertailtavissa. Asiantuntijoiden suuntaa-antavatkin arviot voivat kuitenkin olla hyvä lähtökohta seuraavaa sopeutumisstrategiaa laadittaessa ja jatkotutkimustarpeita kartoitettaessa.

Suomessa sopeutumistutkimus on edennyt pääasiassa erikseen eri toimialoilla. Monet kysymykset ovat kuitenkin yhteisiä eri toimialoille, ja usein olisi tarpeen tarkastella sopeutumista monitieteisenä, toimialojen rajat ylittävänä haasteena esimerkiksi alueellisella tai paikallisella tasolla. Ilmatoriskien arviointi ja taloudelliset seuraukset ovat päätöksenteon kannalta tärkeitä, kun pohditaan, miten rajallisia voimavaroja kannattaa suunnata. Tämä yhteenvedon loppupuolella käsitellään muun muassa näitä läpileikkaavia kysymyksiä.

## **Ilmastomuutokseen sopeutumiseen liittyviä käsitteitä:**

### **Ilmastomuutos**

Ilmastomuutos tarkoittaa sekä luonnollisista tekijöistä johtuvaa että ihmiskunnan aiheuttamaa ilmaston ajallista muuttumista. YK:n ilmastosopimuksissa määritelmä poikkeaa tästä: siellä ilmastomuutoksella tarkoitetaan nimenomaan sellaisia muutoksia, jotka johtuvat suoranaisesti tai epäsuorasti ihmiskunnan toimista, esim. ilmakehän koostumuksen muuttamisesta.

### **Vaikutus**

Ilmastomuutoksen vaikutus yhteiskuntaan tai luonnonjärjestelmiin. Vaikutus voi etu tai haitta, suora tai epäsuora.

### **Sopeutuminen**

Luonnon ja ihmisten mukautuminen odotettavissa oleviin tai jo tapahtuneisiin ilmastollisiin muutoksiin joko hyödyntämällä etuja tai minimoimalla haittoja.

### **Herkkyys**

Herkkyys kuvaa sitä, miten voimakkaasti sään ja ilmaston vaihtelu vaikuttaa tarkasteltavaan järjestelmään.

### **Sopeutumiskyky**

Järjestelmän kyky sopeutua ilmastomuutokseen, minimoida siitä aiheutuvia haittoja ja hyödyntää etuja tai selviytyä muutoksen seurauksista.

### **Haavoittuvuus**

Haavoittuvuus kuvaa altistumista ilmastomuutoksen vaikutuksille ja puutteellista kykyä selviytyä kielteisistä vaikutuksista. Haavoittuvuus riippuu ilmastomuutoksen luonteesta, suuruudesta ja nopeudesta sekä järjestelmän herkkyydestä ja sopeutumiskyvystä.

### **Ilmatoriski**

Ilmatoriski kuvaa sääilmiön tai ilmastomuutoksen aiheuttaman haitan mahdollisuutta. Ilmatoriskin suuruus riippuu ilmiön todennäköisyydestä sekä siitä aiheutuvien vaikutusten vakavuudesta.



## 2 Ilmasto muuttuu Suomessa

### 2.1 Ilmasto

Kirsti Jylhä, Kimmo Ruosteenoja, Jouni Räisänen ja Stefan Fronzek

*Kasvihuoneilmion voimistumisen myötä ilmasto muuttuu väistämättä, mutta ilmaston luonnollinen vaihtelu on suurta. Ilmastonmuutoksen eteneminen riippuu kasvihuonekaasujen päästöjen määrästä. Jos maapallon keskilämpötila kohoaa kahdella asteella tämän vuosisadan aikana jo toteutuneen vajaan asteen lämpenemisen lisäksi, Suomessa vuoden keskilämpötila nousisi noin 3,5 astetta; talvella lämpötila kohoaisi peräti viidellä asteella ja kesälläkin yli kahdella asteella. Samalla vuotuinen sademäärä lisääntyisi Suomessa 10–15 %. Muutokset alkavat vähitellen erottua luonnollisen vaihtelun seasta. Lämpötilan nousun, sademäärän kasvun ja lumen vähenemisen lisäksi myös usean muun säätä ja ilmastoa kuvaavan suureen muutokset painottuvat vuoden talvipuoliskolle. Kesällä yleistyvät helteet ja rankkasateet, mahdollisesti toisinaan myös kuivuus.*

#### **Ilmastonmuutos alkaa vähitellen erottua luonnollisen vaihtelun taustasta**

Ilmastonmuutosta voidaan seurata pitkäaikaisiin säähavaintoihin pohjautuvien tilastojen avulla, jotka kertovat samalla myös ilmaston luontaisen vaihtelun suuruudesta. Suomen ilmastoon vaikuttaa maamme sijainti korkeilla leveysasteilla suuren mantereen reunalla. Sää vaihtelee maassamme suuresti riippuen siitä, mistä suunnasta ilmvirtaukset ja liikkuvat matala- ja korkeapaineet meille kulloinkin tulevat. Toistaiseksi säätilojen luontainen vaihtelu on tyypillisesti ollut suurempaa kuin ilmastonmuutokseen liittyvä trendi. Yhden paikkakunnan lyhyen aikavälin havainnot eivät anna riittävää kuvaa ilmastonmuutoksen etenemisestä, vaan tarvitaan säähavainto-asetemien muodostaman alueellisesti kattavan mittausverkoston tuottamia tietoja.

Vuoden keskilämpötilan Suomen aluekeskiarvo on noussut viimeisen sadan vuoden (1909–2008) aikana noin 0,9 °C. Lämpeneminen on ollut tilastollisesti merkitsevää myös keväällä (1,6 °C) ja kesällä (0,7 °C). Viime vuosikymmenien aikana eniten ovat kuitenkin lämmenneet talvet [1]. Sadan vuoden muutosnopeus oli Suomessa suunnilleen sama kuin koko maapallolla keskimäärin mitattu 0,7 °C [2], mutta viimeaikainen lämpeneminen on ollut meillä selvästi nopeampaa: vuosina 1959–2008 Suomen keskilämpötila kohosi peräti 0,30±0,19 °C vuosikymmenessä, kun taas maapallon keskilämpötilan muutosnopeus on vuodesta 1970 nykypäiviin ollut noin 0,16 °C vuosikymmenessä.

Suuren osan säässä ja ilmastossa esiintyvistä heilahteluista selittää edelleen luonnollinen vaihtelu. Esimerkiksi 1930-luvulle osui lämpimiä vuosia, ja 1980-luvulla esiintyi puolestaan kylmiä talvia. Pohjois- ja Keski-Lapissa oli vuonna 1999 noin viikon ajan 45–50 asteen huippupakkasia. Viime vuosina sattuneet poikkeuksellisen ja jopa ennätyskellisen lämpimät jaksot, kuten vuoden 2008 talvi sekä vuosien 2010 ja 2011 kesät tukevat kuitenkin ilmastonmuutoksesta esitettyjä ennusteita. Toisaalta vuosien 2010 ja 2011 talvet ovat oiva muistutus siitä, että talvet voivat yhä joskus olla kylmiä ja lumisia myös Etelä-Suomessa.

Suomessa sademäärät ovat suurempia etelässä kuin maan pohjoisosissa, ja näin myös runsaat sateet ovat pohjoisessa harvinaisempia [3-5]. Runsaimmat sateet ajoittuvat kesään, jolloin ilma lämpimyytensä ansiosta voi sisältää paljon kosteutta. Sopivissa säätilanteissa kosteus tiivistyy rankkasadetta tuottaviksi pilviksi, mutta

tällaisille runsaille kesäisille sateille on ominaista suuri ajallinen ja alueellinen vaihtelu. Niinpä touko-syyskuun sademäärät vaihtelevat paljon vuodesta toiseen eikä niissä ole toistaiseksi havaittu selkeitä trendejä [6].

Pitkien vähäsateisten jaksojen esiintymisessä ei havainnoista löydy yhtä selvää eroa etelän ja pohjoisen välillä kuin kokonaissademäärissä, joskin neljän havaintoaseman noin 100 vuoden havaintojen perusteella kuivia jaksoja on kesäpuolella vuotta keskimäärin enemmän ja ne kestävät kauemmin rannikkoalueilla kuin Lapissa. Sateettomien päivien määrissä ja kuivuusjaksojen pituuksissa ei pääsääntöisesti ole esiintynyt tilastollisesti merkitseviä trendejä, tai sitten trendit ovat olleet laskevia. [7]

Kymmenen aseman ilmanpaineen havaintoajasarjojen perusteella laskettujen voimakkaiden tuulten nopeuksissa ja esiintymistaajuudessa on yleensä ollut pitkäaikainen laskeva suuntaus. Viimeisten vajaan viidenkymmenen vuoden aikana tuulen nopeudet näyttäisivät puolestaan hieman kasvaneen, mutta muutos ei ole ollut tilastollisesti merkitsevä [8].

### Ilmastonmuutoksen eteneminen riippuu kasvihuonekaasujen päästöjen määrästä

Ihmiskunnan päästöt lisäävät ilmakehässä luonnostaan esiintyvien kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten määrää. Vuonna 2010 maapallon ilmakehässä oli hiilidioksidia noin 389 ppm eli lähes 0,4 promillea [9], mikä on lähes 40 % enemmän kuin ennen teollistumisen alkua tuhansien vuosien ajan. Seurauksena hiilidioksidin, metaanin ja muiden kasvihuonekaasujen lisääntymisestä on kasvihuoneilmaston voimistuminen. Siitä, miten ilmakehän koostumuksen muuttuminen vaikuttaa ilmastoon, saadaan tietoa ilmastojärjestelmän käyttäytymistä jäljittelevien maailmanlaajuisten ilmastomallien avulla. Ilmastomallilaskelmien pohjana käytetään vaihtoehtoisia oletuksia kasvihuonekaasujen päästöjen, pitoisuuksien tai niiden aiheuttamien säteilypakot- teiden tulevasta kehityksestä. [10, 11]

ISTO-tutkimusohjelman aikana yleisesti käytössä olleet hiilidioksidin pitoisuuskkenaariot sekä niitä vastaavat arviot Suomen ja koko maapallon keskilämpötilan muuttumisesta on esitetty taulukossa 2.1. Samoin on näy- tetty arviot Suomen vuotuisen sademäärän muutoksista prosentteina. Lämpenemiselle on annettu ns. parhaat arviot eli noin 20 ilmastomallin tulosten keskiarvot. Maapallon keskimääräistä lämpenemistä koskevat arviot perustuvat IPCC:n [12] esittämiin lukuihin, Suomen skenaariot ISTO-tutkimusohjelmassa saatuihin tuloksiin [10]. Maapallon keskilämpötilan kohoaminen kahdella asteella tämän vuosisadan aikana jo toteutuneen 0,7 °C [2] lisäksi vastaisi vuosisatasolla Suomen lämpenemistä noin 3,5 asteella; talvella lämpötila nousisi viisi ja kesälläkin yli kaksi astetta. Samalla sademäärä lisääntyisi Suomessa 10–15 %.

Kasvihuoneilmaston voimistumisen myötä ilmasto muuttuu väistämättä, vaikkakin ilmaston luonnollinen, vuosien ja vuosikymmenien välinen vaihtelu tulee aika-ajoin kiihdyttämään, ja välillä taas jarruttamaan muutosta.

Taulukko 2.1. Kolmen eri SRES-skenaarion (A1B-, A2- ja B1) [11] mukaiset ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet kolmena 30-vuotisjaksona ja näitä vastaavat parhaat arviot koko maapallon sekä Suomen keskilämpötilan ja sademäärän kohoamisesta verrattuna perusjakson 1971–2000 tilanteeseen. Kaikki lukuarvot ovat kyseisen ajanjakson keskiarvoja.

	2010-2039			2040-2069			2070-2099		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
Pitoisuus (ppm)	421	434	431	491	542	547	532	655	721
Maapallon keskilämpötilan muutos (°C)	0,8	0,9	0,8	1,4	1,8	1,8	1,8	2,6	3,0
Suomen vuotuisen keskilämpötilan muutos (°C)	1,5	1,6	1,5	2,5	3,2	3,2	3,2	4,4	5,0
Suomen vuotuisen sademäärän muutos (%)	6	5	5	9	12	11	12	17	19

## Lämpötilat kohoavat

Ilmasto lämpenee jo lähivuosisikymmeninä varsin selvästi verrattuna lämpötilojen luonnolliseen vuosikymmen-ten väliseen vaihteluun. Talvet lämpenevät kesä enemmän, mutta koska talvilämpötilat vaihtelevat erityisen paljon luontaisestikin, myös lämpenemissennusteen epävarmuus on suurin talvella. Talvisin lämpeneminen on nopeampaa maan pohjoisosissa kuin etelässä, kun taas kesäisin maan eri osien välillä ei ole suurta eroa. [10]

Vuoden keskilämpötilan ennustetaan olevan tämän vuosisadan loppuvuosikymmeninä 2–6 astetta korkeampi kuin vertailujakson 1971–2000 aikana. Talvella lämpötila nousee 3–9, kesällä, 1–5 astetta. Näissä ennusteissa kaikki kolme taulukon 1 kasvihuonekaasuskenaariota on oletettu yhtä todennäköisiksi, ja lisäksi on otettu huomioon ilmastomallien erilaisuudesta johtuva epävarmuus. Talvisin lämpeneminen on nopeampaa maan pohjoisosissa kuin etelässä, kun taas kesäisin maan eri osien välillä ei ole suurta eroa. Mikäli lämpeneminen osuu esitetyn epävarmuushaarukan keskivaiheille, vuosisadan lopulla Keski-Lapin lämpöolot vastaisivat suurin piirtein nykyistä Etelä-Suomea. [10]

Termisen eli lämpötilojen mukaan määritellyn talven lyhentyessä terminen kesä ja terminen kasvukausi vastaavasti pitenevät. Lounaassa kasvukausi pitenee muuta maata enemmän, ja siellä myös terminen syksy venähtää huomattavasti [13].

Lämpötilan jakauma siirtyy tulevaisuudessa kokonaisuudessaan kohti korkeampia arvoja. Vuorokauden keskilämpötilojen vaihtelevuus pysyy kesällä suunnilleen ennallaan, mutta talvella se supistuu. Tämä on seurausta siitä, että kovat pakkaset lauhtuvat enemmän kuin leudot lämpötilat [14, 15]. Myös vuorokauden aikana tapahtuvien lämpötilan muutosten arvioidaan pienenevän talvella [16]. Kireiden pakkaspäivien määrä siis vähenee, kun taas vuorokaudet, joiden aikana sää vaihtelee pakkasen ja suojan välillä, lisääntyvät aluksi koko maassa, pohjoisessa ja idässä myöhemminkin. Talvien lyheneminen ja lämpeneminen johtaa kuitenkin siihen, että vuosisadan loppupuolelle saavuttaessa tällaisten nollalämpötilan ohituspäivien vuotuinen määrä on suurimmassa osassa maata nykyistä pienempi [10, 16–17].

Kesän korkeimpien lämpötilojen maantieteellinen jakauma on Suomessa varsin tasainen [10, 18]. Keskimäärin 20 vuoden välein toistuva helleluku on tyypillisesti 31–32 astetta. Suunnilleen näin usein koetaan pohjoisessakin vähintään noin viikon hellejakso. Tulevaisuudessa kuumat päivät yleistyvät ja kuumat jaksot pitenevät. Esimerkiksi ”hyvin kuumia” päiviä (vuorokauden keskilämpötila yli 24 °C) esiintyi v. 1971–2000 vain muutamana kesänä, kuluva vuosisadan lopulla lämpenemisen keskiskenaarionkin (A1B) toteutuessa jo useammin kuin joka toinen vuosi. [19]

Vaikka lämpötilat kohoavat, ilmaston luontainen vaihtelu vuodesta toiseen jatkuu. Niinpä myös tulevaisuudessa voi toisinaan olla nykyimppuunkin mukaan kylmää. Ilmastomallien tulosten mukaan seuraavan neljän vuosikymmenen aikana on Suomessa noin neljännes yksittäisistä kuukausista kylmempää kuin kyseisen kalenterikuukauden lämpötilan keskiarvo v. 1901–2000. Muutama prosentti kuukausista on jopa harvinaisen kylmiä, eli ne kuuluvat samaan matalien lämpötilojen luokkaan kuin 10 % kauden 1901–2000 kuukausista [20].

## Sademäärät lisääntyvät

Ilmaston lämmitessä myös sademäärät lisääntyvät Suomessa [6, 10]. Suhteellisesti muutos on suurempi talvella kuin kesällä, samoin pohjoisessa hieman voimakkaampi kuin etelässä. Muutokset ovat kuitenkin melko hitaita ja voivat vielä lähivuosisikymmeninä hyvin hukkua ilmaston luonnollisen vaihtelun sekaan. Vaikka sademäärät kasvavat suhteellisesti ottaen eniten talvella, kesäiset sateet ovat jatkossakin talviaikaisia runsaampia.

Talvella sadepäivät yleistyvät ja sademäärät (kaikki olomuodot huomioiden) runsastuvat. Maan etelä- ja keskiosissa runsassateisten (vuorokauden sademäärä yli 10 mm) päivien lukumäärä kasvaa mallien mukaan

talvella jopa kaksin- tai kolminkertaiseksi ja Lapissa vielä tätäkin enemmän [21]. Samalla talvien pisimmät sateettomat jaksot lyhenevät muutoksen ollessa kuitenkin melko pieni, tämän vuosisadan aikana noin 10 %. Rankkasateet voimistuvat myös muina vuodenaikoina. Kesällä rankkasateet voimistuvat suhteessa enemmän kuin mitä koko kesän sademäärä lisääntyy [22]. Toisin kuin talvella, sadepäivien määrässä ja poutajaksojen pituudessa ei näyttäisi kesällä olevan odotettavissa merkittävää muutosta. Maan eteläosassa sadepäivät saattavat kesällä jopa hieman vähentyä, kun taas pohjoisessa ne ovat pikemminkin lisääntymässä, mutta nämä muutokset eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Myös keväällä ja syksyllä Suomi näyttäisi olevan raja-alueella sen suhteen, pitenevätkö vai lyhenevätkö poutajakset [10, 21].

Toisaalta mallien mukaan sademäärän vuosienvälinen vaihtelu saattaa jossain määrin kasvaa. Tämän seurauksena vähäsateisia kesiä saattaisi esiintyä tulevaisuudessa nykyistä useammin. Lämpimässä ilmastossa myös veden haihtuminen lisääntyy, mikä vaikuttaa vesivaroihin ja lisää mm. metsäpalojen riskiä. Merkittävin sadeilmastossa Suomen alueella kesäisin odotettavissa oleva muutos on kuitenkin rankimpien sateiden voimistuminen [21].

Sademäärän ja lämpötilan yhtäaikaisilla muutoksilla on moninaisia vaikutuksia. Näitä voidaan arvioida esimerkiksi erilaisten indeksien avulla [23–24] sekä ns. vastepinta (response surface) –menetelmällä, kuten on tehty palsasoiden hupenemista ennakoitaessa [25, 26].

## **Lumi vähenee**

Lumen keskimääräinen vesiarvo pienenee läpi talven koko Suomen alueella. Suhteellisesti suurinta lumen hupeneminen on etelässä. Pohjois-Suomessa muutos on pienempi, ja voi vielä lähivuosikymmeninä hukkua satunnaisen ilmastovaihtelun sekaan. Lumena tulevan sateen määrä vähenee syksyllä ja keväällä, Etelä-Suomessa keskitalvellakin. Lapissa satavan lumen määrä sen sijaan lisääntynee keskitalvella. Samalla kuitenkin lumen talviaikainen sulaminen yleistyy [27-28]. Lumen määrän lisäksi lumen rakenne muuttuu, kun sulamis- ja jäätymissykliden vuoksi pakkaslumi korvautuu osittain jäisellä lumella [29].

Välillä satavan ja sitten taas sulavan lumen takia lumipeitteisten päivien määrä pienenee suhteellisesti vähemmän kuin lumen vesiarvo. Lumi ei siis katoa kokonaan keskimääräisinkään talvina, mutta lumipeite pysyy maassa lyhyemmän ajan kuin ennen ja lunta on vähemmän. [10, 17, 27-28]

Talvisen pysyvän lumipeitteen muodostumisen ehtona voidaan pitää sitä, että vuoden kylmimmän kuukauden keskilämpötila on alle -3 °C. Tällainen kylmätalvisen ja lumisen ilmaston vyöhyke kattaa nykyisin koko Manner-Suomen, mutta lämpenemisen myötä vyöhykkeen raja vetäytyy kohti koillista [24] jättäen Lounais-Suomen ilman pysyvää lumipeitettä useimpina talvina jo vuosisadan puolivälissä.

Nykyisen mittapuun mukaan runsaslumiset talvet vähenevät siis ajan myötä. Ne eivät kuitenkaan katoa aivan kokonaan. Malliarvioiden mukaan vuoden suurin lumen vesiarvo saattaa vielä tämän vuosisadan puolivälissä ylittää kauden 1971–2000 keskimääräisen maksimi-arvon 1-2 kertaa vuosikymmenessä ja vuosisadan lopullakin yhden tai muutaman kerran 30 vuodessa, etelässä harvemmin kuin pohjoisessa. [28]

## **Ilmaston muutokset voimakkaimpia talvipuolella vuotta**

Lämpötilan nousun, sademäärän kasvun ja lumen vähenemisen lisäksi myös usean muun säätä ja ilmastoa kuvaavan suureen muutokset painottuvat vuoden talvipuoliskolle. Suomessa talvet ovat jo nykyisellään varsin kosteita, pilvisiä ja auringottomia. Ilmaston lämmetessä ilman suhteellinen kosteus nousee ennen vuosisadan loppua vielä muutamalla prosenttiyksiköllä nykyisestä [15]. Samalla pitenee aika, jona suhteellinen kosteus on yli 80 % ja lämpötila nollan yläpuolella [16]. Myös pilvisyys lisääntyy, ja pinnalle saatavan auringonsä-

teilyn määrä voi pudota talvisin jopa yli 15 % sadassa vuodessa [15]. Kesällä ei suhteellisessa kosteudessa, pilvisytydessä eikä auringonsäteilyn määrässä ole odotettavissa suuria muutoksia. Keväällä auringonsäteilyn määrä hieman pienentyy; syksyä koskevat tulokset ovat varsin epävarmoja.

Ilmaston lämmitessä routa hupenee. Mikäli lämpötila nousee mallien keskimäärin ennustamalla nopeudella, lumettomilla alueilla routakerros ohenee sadan vuoden aikana maan etelä- ja keskiosissa kolmannekseen ja pohjoisessa kahteen kolmannekseen. Lounaiset saaristoalueet olisivat tämän vuosisadan loppuvuosikymmeninä tavanomaisena talvena valtaosin roudattomia. Toki maan pintakerros voi pakkasjakson sattuessa jäätyä sielläkin vähäksi aikaa, mutta pian suojaääät taas sulattavat roudan. Tulokset kuvaavat keskimääräisiä talvia; todellisuudessa roudan paksuus toki vaihtelee vuodesta toiseen. [30]

Tuuliolot eivät muutu suuresti. Tuulisena vuodenaikana (syys-huhtikuussa) keskimääräinen tuuli voimistuu vuosisadan loppuun mennessä eteläisellä Itämerellä 4-6 % ja Etelä- sekä osin Keski-Suomessa joitakin prosentteja. Vaikka muutos ei ole iso, se on kuitenkin mallitulosten välinen hajonta huomioon ottaen tilastollisesti merkitsevä. Samalla etelä- ja länsituulet yleistyvät hieman. Kesällä tuulet puhaltavat tulevaisuudessa suunnilleen yhtä kovaa ja samoilta suunnilta kuin nykyisinkin. [31]

Pienilläkin tuulen muutoksilla voi kuitenkin olla käytännön merkitystä, kun otetaan huomioon muut ympäristöolojen muutokset. Esimerkiksi tuulien aiheuttamien vahinkojen arvioidaan lisääntyvän maan pysyessä talvisin entistä pitempään roudattomana [32] (katso myös luku 3.1.2). Toisena esimerkkinä mainittakoon rakennusten ulkopintoja rasittava viistosade, jonka esiintymiseen vaikuttavat etenkin vetenä tulevan sateen määrä, mutta myös tuulen nopeus ja suunta. Viistosateiden arvioidaan lisääntyvän talvella huomattavasti [16].

## **Poikkeuksellisten sääolojen toistuvuuden arviointi on haastavaa**

Mitä harvinaisemmasta sääilmiöstä tai ilmastollisesta poikkeamasta on kyse, sitä haastavampaa on tarkasti arvioida sen esiintymisen todennäköisyyttä. Säähavaintoajaksarjat ovat suhteellisen lyhyitä, ja lisäksi käynnissä oleva ilmastonmuutos vaikeuttaa ääri-ilmiöiden toistuvuusajaksien määrittämistä [4, 10]. Toistuvuusajaksien ilmoittaa sen ajanjakson, jonka kuluessa ilmiön odotetaan esiintyvän keskimäärin yhden kerran. Toistuvuus-taso puolestaan kertoo kyseisen suureen arvon, joka ylittyy (tai negatiivisten arvojen tapauksessa alittuu) keskimäärin kerran tietystä ajasta.

ISTO-ohjelman tutkimuksissa on käytetty poikkeuksellisten sää- ja ilmasto-olojen toistuvuuksia arvioitaessa toisistaan jossain määrin poikkeavia menetelmiä [10, 16]. Päätulokset eli esiintymisen todennäköisyyden suuruusluokka ja trendi, joko pieneneminen tai kasvu, ovat kuitenkin olleet eri tutkimuksissa varsin yhdensuuntaisia.

Vuonna 2010 heinäkuun keskilämpötilan ennätykset rikkoutuivat useilla paikkakunnilla, ja 29.7. ylittyi vuonna 1914 mitattu Suomen aiempi lämpöennätys (35,9 °C) kahdella sääasemalla, kun Joensuun lentoasemalla Liperissä mitattiin Suomen uusi lämpöennätys 37,2 °C ja Joensuun Linnunlahdessaakin lämpötila kohosi 36,8 °C:een. Eri ääriarvojakaumien avulla laskettu vuotuinen todennäköisyys sille, että vuoden 2010 lämpöennätys ylittyisi jossakin päin Suomea, on tällä hetkellä vallitsevassa ilmastossa erittäin pieni. Jos ilmastonmuutosta ei oteta huomioon toistuvuusajaksia arvioitaessa, tulokseksi saadaan useita satoja vuosia. [18]

Ilmastonmuutos kuitenkin nopeasti moninkertaistaa huippukorkeiden kuukausi- ja vuodenaikaiskeskilämpötilojen esiintymisen todennäköisyyden [33–34]. On arvioitu, että vuoden 2010 heinäkuun keskilämpötila ylitettäisiin Helsingissä tämän vuosisadan puolivälin arvioidussa muuttuneessa ilmastossa jopa kerran 10–15 vuodessa ja että ainakin yksi vähintään yhtä lämmin heinäkuu sattuisi vuoteen 2050 mennessä 80 %:n todennäköisyydellä [35].

Ilmastonmuutoksen myötä hyvin kylmien lämpötilojen todennäköisyys vastaavasti pienenee. Samalla kasvaa vähitellen todennäköisyys, että sade-ennätykset rikkoontuvat aiempaa lyhyemmin väliajoin. Sattuma vaikuttaa kuitenkin ääri-ilmiöiden esiintymiseen edelleenkin hyvin paljon.

Taulukko 2.2. Suuntaa antava esitys ilmastosuureiden odotettavissa olevista muutoksista Suomen etelä- ja pohjoisosassa eri vuodenaikoina (XII–II: joului–helmikuu, III–V: maalisk–toukokuu, VI–VIII: kesä–elokuu, IX–XI: syys–marraskuu) vuosisadan loppua lähestyttäessä. [10] päivitettyä.

Muuttuja	Alue	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	Vuosi	Huomautuksia
Keskilämpötila	Pohjoinen	+	+	+	+	+	Lämpötilan nousu pienintä kesällä.
	Etelä	+	+	+	+	+	
Keskimääräinen sademäärä	Pohjoinen	+	+	+	+	+	
	Etelä	+	+	/	+	+	
Termisen vuodenajan pituus	Pohjoinen	-	/	+	/		
	Etelä	-	+	+	+		
Vuorokauden ylin lämpötila	Pohjoinen	+	+	+	+	+	Lämpötilan nousu pienintä kesällä.
	Etelä	+	+	+	+	+	
Vuorokauden alin lämpötila	Pohjoinen	+	+	+	+	+	Lämpötilan nousu pienintä kesällä.
	Etelä	+	+	+	+	+	
Pakkaspäivien lukumäärä	Pohjoinen	-	-	-	-	-	
	Etelä	-	-	-	-	-	
Nollapistepäivien lukumäärä	Pohjoinen	+	-	-	-	/	Aluksi talven nollapistepäivät yleistyvät myös etelässä.
	Etelä	/	-	-	-	-	
Lumen vesiarvo	Pohjoinen	-	-		-	-	Väheneminen alkaa etelästä, samoin syksystä ja keväästä.
	Etelä	-	-		-	-	
Lumipeitepäivien lukumäärä	Pohjoinen	-	-		-	-	Väheneminen alkaa etelästä, samoin syksystä ja keväästä.
	Etelä	-	-		-	-	
Sadepäivien määrä	Pohjoinen	+	+	()	+	+	
	Etelä	+	()	-	()	+	
Rankkasateiden voimakkuus	Pohjoinen	+	+	+	+	+	
	Etelä	+	+	+	+	+	
Sateettomien kausien pituus	Pohjoinen	/	-	()	-	-	
	Etelä	-	()	()	()	()	
Pilvisuus	Pohjoinen	+	/	(-)	/	+	
	Etelä	+	/	(-)	/	+	
Roudan määrä	Pohjoinen	-	-		-	-	Laskelmat tehty lumettomille alueille (tiet, lentokentät, jne.)
	Etelä	-	-		-	-	

- + = Lisääntyy/kasvaa
- + = Lisääntyy/kasvaa huomattavasti
- = Vähenee
- = Vähenee huomattavasti
- / = Säilyy suunnilleen ennallaan
- () = Muutos hyvin epävarma
- Tyhjä = Ei osata sanoa tai merkityksetön

## Viitteet

1. Tietäväinen, H, Tuomenvirta, H, Venäläinen, A., 2010: Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *Int. J. Climatol.*, 30, 2247–2256.
2. Blunden, J., D. S. Arndt, and M. O. Baringer, Eds., 2011. *State of the Climate in 2010*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, S1–S266.
3. Venäläinen, A., Saku, S., Kilpeläinen, T., Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Vajda, A., Ruosteenoja, K. and Räisänen, J., 2007. Sään ääri-ilmiöistä Suomessa (Aspects about climate extremes in Finland). Ilmatieteen laitos. Raportteja 2007: 4, 81 s.
4. Venäläinen, A., K. Jylhä, T. Kilpeläinen, S. Saku, H. Tuomenvirta, A. Vajda, K. Ruosteenoja, 2009. Recurrence of heavy precipitation, dry spells and deep snow cover in Finland based on observations. *Boreal Env. Res.*, 14, 166–172.
5. Aaltonen J., Hohti H., Jylhä K., Karvonen T., Kilpeläinen T., Koistinen J., Kotro J., Kuitunen T., Ollila M., Parvio A., Pulkkinen S., Silander J., Tiihonen T., Tuomenvirta H. ja Vajda A., 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen ympäristö 31/2008, Luonnonvarat, SY31/2008. Suomen ympäristökeskus, 123 s.
6. Ylhäisi, J. S., Tietäväinen, H., Peltonen-Sainio, P., Venäläinen, A., Eklund, J., Räisänen, J., and Jylhä, K., 2010. Growing season precipitation in Finland under recent and projected climate, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1563-1574, doi:10.5194/nhess-10-1563-2010.
7. Hohenthal, J., 2009. Meteorologisen kuivuuden esiintyminen Pohjois-Euroopassa. Pro gradu- tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen laitos, 86 s, 41 liites.
8. Suvilampi, E., 2009. Voimakkaiden geostrofisten tuulten alueellisuus ja muutokset Suomes-sa vuosina 1884–2100. Pro Gradu- tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen laitos, 68 s+liitt.
9. Conway, T., Tans, P., 2011. Globally averaged marine surface annual mean data. NOAA/ESRL The Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory. [ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2\\_annmean\\_gl.txt](ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_annmean_gl.txt) (22.12.2011).
10. Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. ja Seitola, T., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2009:4, 102 s.
11. IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Da, K. Maskell, and C. A. Johnson, Eds., Cambridge University Press, 881 pp.
12. IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
13. Ruosteenoja, K., Räisänen, J. and Pirinen, P., 2010: Projected changes in thermal seasons and the growing season in Finland. *International Journal of Climatology*, 31, 1473–1487.
14. Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L. P., Jones, C., Meier, H. E. M., Samuelsson, P. and Willén, U., 2004. European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, 22, 13–31.
15. Jylhä K, Kalamees T, Tietäväinen H, Ruosteenoja K, Jokisalo J, Hyvönen R, Ilomets S, Saku S, Hutila A, 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi TRY2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Ilmatieteen laitos, Raportteja, 2011:6, 110 s.
16. Makkonen, L. & Tikanmäki, M. 2009. Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa II. EXTREMES II-hankkeen lopputaportti. VTT Tutkimusraportti VTT-R-10419-08.

17. Jylhä K., Fronzek S., Tuomenvirta H., Carter T.R. and Ruosteenoja K., 2008. Changes in frost, snow and Baltic Sea ice by the end of the twenty-first century based on climate model projections for Europe. *Climatic Change*, 86, 441–462.
18. Saku S, Solantie R, Jylhä K, Venäläinen A, Valta H, 2011. Ääriämpötilojen alueellinen vaihtelu Suomessa. Ilmatieteen laitos, Raportteja, 2011:1. 92 s.
19. Ruosteenoja, K., 2009. Kuumien päivien yleistymisen ilmaston lämmitessä. ACCLIM-hankkeen verkkosivu <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuumien-ja-kylmien>
20. Räisänen, J. and J.S. Ylhäisi, 2011. Cold months in a warming climate. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L22704, doi:10.1029/2011GL049758.
21. Lehtonen, I., 2011. Äärisademäärien muutokset Euroopassa maailmanlaajuisten ilmastomallien perusteella. Pro gradu- tutkielma. Helsingin yliopisto, fysiikan laitos, 70 s. + 16 s. liitt.
22. Perrels, A., N. Veijalainen, K. Jylhä, J. Aaltonen, R. Molarius, M. Porthin, J. Silander, T. Rosqvist ja T. Tuovinen, 2010. The implications of climate change for extreme weather events and their socio-economic consequences in Finland. *Valtion taloudellinen tutkimuskeskus*, 133 s.
23. Laapas, M., Jylhä, K. & Tuomenvirta, H. 2012: Climate change and future overwintering conditions of horticultural woody-plants in Finland. *Boreal Env. Res.* 17: 31–45.
24. Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K., Niemi-Hugaerts, H., Keisu, K. and Karhu, J.A., 2010. Observed and projected future shifts of climatic zones in Europe, and their use to visualize climate change information. *Weather, Climate, and Society*, 2: 148–167.
25. Fronzek, S., Carter, T.R., Räisänen, J., Ruokolainen, L. and Luoto, M., 2010. Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for sub-arctic palsa mires in Fennoscandia. *Climatic Change*, 99, 515–534.
26. Fronzek, S., T.R. Carter and M. Luoto (2011). Evaluating sources of uncertainty in modelling the impact of probabilistic climate change on sub-arctic palsa mires. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 2981–2995, doi:10.5194/nhess-11-2981-2011
27. Räisänen, J., 2008. Warmer climate: less or more snow? *Climate Dynamics*, 30, 2-3, 307-319.
28. Räisänen, J. and J. Eklund, 2011. 21st century changes in snow climate in Northern Europe as simulated by regional climate models in the ENSEMBLES project: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models. *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-011-1076-3.
29. Rasmus S, Räisänen J, Lehning M. 2004. Estimating snow conditions in Finland in the late 21st century using the SNOWPACK model with regional climate scenario data as input. *Annal Glaciol.*, 38:238–244.
30. Gregow H, Ruosteenoja K, Juga I, Näsman S, Mäkelä M, Laapas M, Jylhä K, 2011: Lumettoman maan routaolojen mallintaminen ja ennustettavuus muuttuvassa ilmastossa. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2011:5, 45 s.
31. Gregow, H., Ruosteenoja, K., Pimenoff, N. and Jylhä, K. 2011. Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.2398.
32. Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venäläinen, A., 2011. Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica* 45(1), p. 35–54.
33. Räisänen, J. ja L. Ruokolainen, 2008. Ongoing global warming and local warm extremes: a case study of winter 2006–2007 in Helsinki, Finland. *Geophysica*, 44, 45–65.
34. Ruokolainen, L. ja J. Räisänen, 2009. How soon will climate records of the 20th century be broken according to climate model simulations. *Tellus* 61A, 476–490.
35. Räisänen, J., 2010. Ilmastonmuutos ja heinäkuun helteet. Ilmatieteen laitos, Ilmastokatsaus 8/2010, s. 4-6.



## 2.2 Itämeri

Jari Haapala ja Milla Johansson

*Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät myös Itämerellä. Talvien leudontuminen vaikuttaa Itämeren jääpeitteen laajuuteen ja jään paksuuteen. Yhtenäisten merijääkenttien väheneminen lisää sään vaihtelevuutta merellä ja rannikkoalueilla. Maailmanlaajuinen merenpinnan nousu vaikuttaa Itämerelläkin. Sademäärä ja jokivesien valunta Itämereen kasvavat, tuulisuus ja merenkäynti voimistuvat. Muuttuvilla sääoloilla on myös biologisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia. Itämeri on ollut aina muutosten meri ja niin myös tulevaisuudessa. Itämeren peruspiirteiden - veden lämpötilan, suolaisuuden, jääpeitteen ja eliöstön - suuri vaihtelevuus kymmenien ja satojen vuosien aikana johtuu pääasiassa Itämeren pienestä koosta ja sijainnista Pohjois-Atlantin kainalossa.*

### **Havaitut muutokset ilmakehässä ja Itämeren fysikaalisissa olosuhteissa**

Alueellista ilmastonmuutosta voidaan tutkia Itämeren alueella hyvin tarkasti, sillä säännöllinen meritieteellinen havaintotoiminta on saanut alkunsa juuri Itämereltä. Se on maailman parhaiten seurattu merialue ja pitkäaikaiset mittausarjat ovat ainutlaatuisia maailmassa.

Itämeren tutkijat ovat tehneet ilmastonmuutoksen arviointiraportin Itämerelle, BALTEX Assessment of Climate Change (BACC). Sen tekemiseen osallistui noin sata merentutkijaa, meteorologia ja hydrologia. BACC-raportin [1] päätulos on, että ilman lämpötila on kohonnut Itämeren alueella 0.07 °C vuosikymmenessä. Samoin ilman minimi- ja maksimilämpötilat ovat kohonneet, talvikauden sadanta on lisääntynyt, merijään vuosittainen laajin ulottuvuus on pienentynyt ja jääpeitteen ajan pituus on lyhentynyt. Nämä havaitut muutokset eivät vielä ylitä luonnollisen vaihtelevuuden rajoja, mutta ne ovat samansuuntaisia kuin alueellisilla ilmastomalleilla tehdyt arviot muutoksista.

### **Tulevaisuuden Itämeri**

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa etenkin talvikauden olosuhteisiin. Suurin seuraus on merijään peittävyden ja paksuuden pienentyminen. Talvikauden sadannan lisääntyminen vaikuttaa myös merkittävästi Itämereen. Hiilidioksidipitoisuuden kasvu laskee hitaasti meriveden pH-arvoa, millä on vaikutusta mm. eliöstön kalkkisten tukirakenteiden muodostukseen.

BACC-raportin mukaan ilmasto lämpenee Itämeren alueella 3–5 °C seuraavan sadan vuoden aikana. Lämpenemisen arvioidaan olevan suurinta talvikautena Perämeren ja Selkämeren alueella, jossa se saattaa olla 4–6 °C. Jos oletetaan, että lämpeneminen etenee lineaarisesti, niin silloin vuonna 2030 ilmasto olisi 0.5–1 °C nykyistä lämpimämpi. Näissä olosuhteissa jääolot Itämerellä olisivat hieman nykyistä leudommat: jään laajin ulottuvuus olisi 30 000–50 000 neliökilometriä nykyistä pienempi ja jäätalven pituus olisi 10–20 vuorokautta lyhyempi. Ankarien jäätalvien todennäköisyys tulee pieneneään. Muutoksia tapahtuu jo lähivuosikymmeninä, mutta viimeistään vuoden 2030 jälkeen ankarat jäätalvet harvinaistuvat, ja vuoden 2040 jälkeen niitä ei juuri enää esiinny. Vastaavasti leudot ja erittäin leudot jäätalvet yleistyvät [2]. Leudoimpina talvina jäätä esiintyisi

vain Perämerellä, Saaristomerellä ja Itäisellä Suomenlahdella, kuten jäätalvena 2007/2008. Meriveden pintalämpötilan arvioidaan kohoavan 2–4 °C vuosisadan loppuun mennessä.

Sadannan muutoksien arviointi on epävarmempaa kuin ilman lämpötilan muutoksen arviointi. Sadannan arvioidaan Itämeren alueella hieman lisääntyvän talviaikana ja vähentyvän kesäkautena etenkin eteläisellä Itämerellä. Muutoksen arvioidaan olevan suuruudeltaan +25 – +75 prosenttia talvikautena ja -5 – +35 prosenttia kesäkautena tämän vuosisadan aikana.

Sadannan muutoksella voi olla suuri merkitys koko Itämeren ekosysteemin kannalta. Ravinnehuhtoumat kasvavat ja talviset tulvat lisääntyvät. Ne voivat vähentää Itämereen tulevien suurten suolapulssien esiintymistiheyttä. Tämä puolestaan huonontaisi pohjien happioloja ja sitä myötä heikentäisi pohjan eliöyhteisöjä.

## **Merenpinnan korkeus Suomen rannikolla**

Merenpinta nousee maailmanlaajuisesti, johtuen mm. meriveden lämpölaajenemisesta ja mannerjäätiköiden sulamisesta. Merenpinnan korkeuteen Suomen rannikolla vaikuttaa lisäksi jääkauden jälkeinen maankohoaminen. Vallitsevien tuuliolojen muutokset näkyvät myös Itämeren vedenkorkeusoloissa [3].

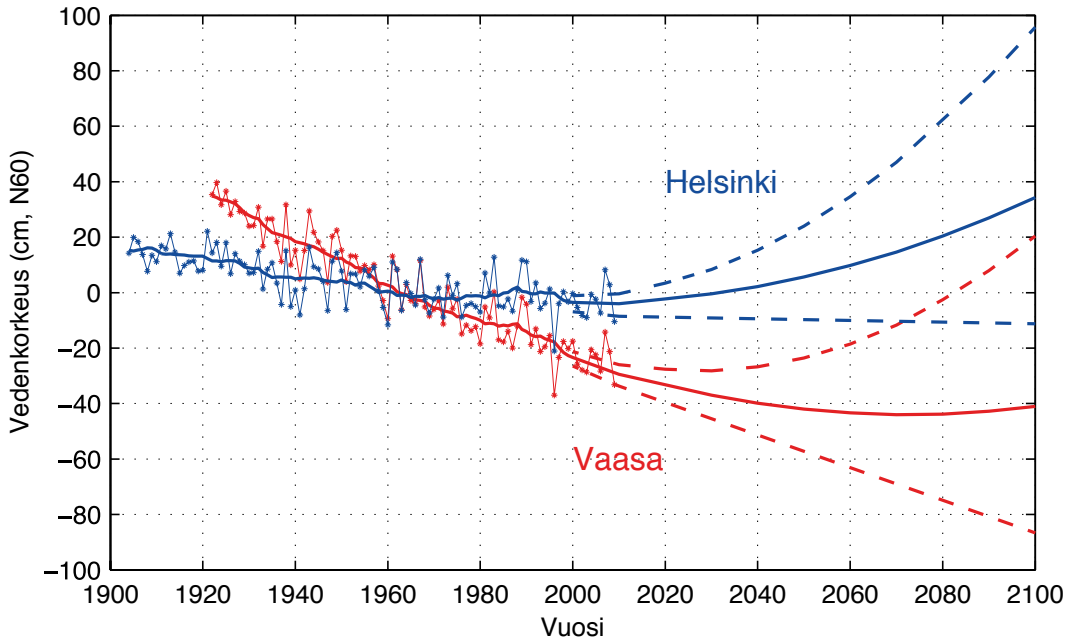
Viime vuosisadalla maankohoaminen oli merenpinnan nousua voimakkaampaa kaikkialla Suomen rannikolla, ja vedenkorkeus laski maan suhteen. Tulevaisuudessa merenpinnan nousun ennustetaan kiihtyvän. Vuoteen 2100 mennessä odotettavissa olevan valtamerien pinnan nousun ennusteet vaihtelevat välillä 20–200 cm [4,5]. Epävarmuutta aiheuttaa erityisesti se, ettei tiedetä miten Grönlannin ja Etelämantereen suuret mannerjäätiköt tulevat käyttäytymään lämpenevässä ilmastossa.

Itämeren pinnan on arvioitu nousevan jonkin verran vähemmän kuin valtamerien keskimäärin, koska nousua aiheuttavien tekijöiden vaikutus on erilaista eri merialueilla. Esimerkiksi mannerjäätiköiden sulaminen muuttaa maapallon painovoimakenttää siten, että sulamisvedet pakenevat kauemmas sulavasta jäätiköstä [6]. Siksi Grönlannin sulamisvedet päätyvät pois Itämeren lähialueilta, kun taas Länsi-Antarktiksien sulaminen vaikuttaa täällä selvemmin.

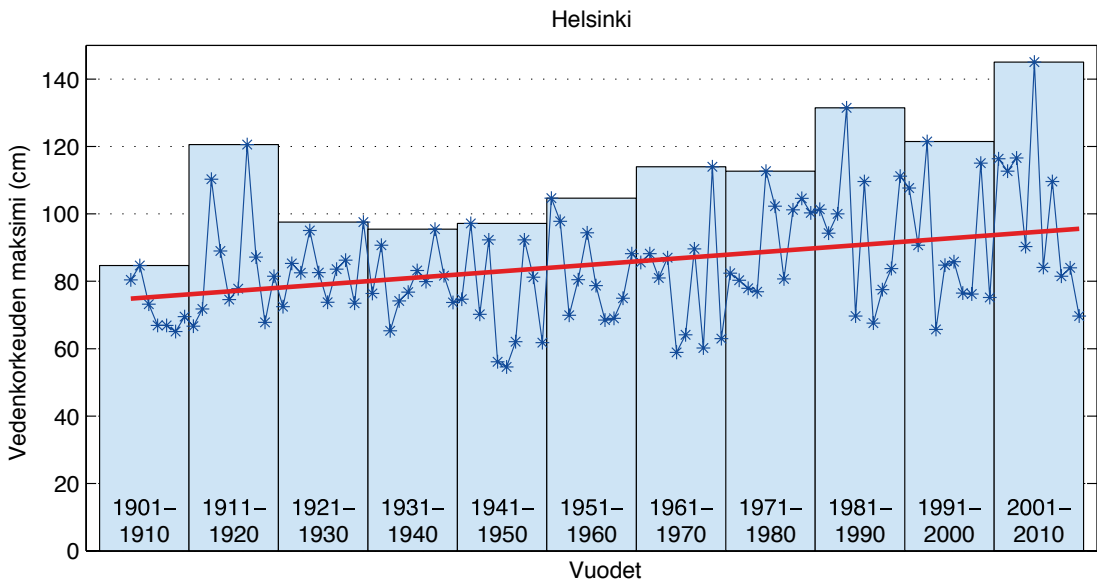
Merenpinnan nousun kiihtyminen näkyy myös Itämerellä. Suomenlahden rannikolla ollaan jo tilanteessa, jossa merenpinnan nousu riittää tasapainottamaan maankohoamisen (kuva 2.1). Esimerkiksi Helsingissä merenpinnan ennustetaan nousevan maan suhteen n. 40 cm vuoteen 2100 mennessä. Pohjanlahdella voimakkaampi maankohoaminen riittää ainakin vuosisadan alkupuolella tasapainottamaan merenpinnan nousun [7,8,9]. Koska epävarmuuksia on vielä paljon, nykyiset skenaariot perustuvat osin subjektiivisiin asiantuntija-arvioihin, joissa on pyritty nykytiedon pohjalta parhaaseen arvioon. Skenaariot voivat muuttua oleellisesti tutkimustiedon lisääntyessä.

Itämeren vedenpinnan lyhytaikaisia vaihteluita aiheuttavat pääasiassa säätekijät – tuuli ja ilmanpaineen vaihtelut. Poikkeukselliset ääritilanteet ovat aina yhdistelmä useammasta tekijästä. Itämeren kokonaisvesimäärän on oltava korkealla, minkä päälle tarvitaan matalapaine sekä sopivan suuntainen tuuli nostamaan vettä rannikolla, jotta saavutettaisiin poikkeuksellisen korkea tulvatilanne.

Vedenkorkeuden maksimit ovat kasvaneet 1900-luvun alusta nykypäivään (kuva 2.2). Esimerkiksi Suomenlahdella kasvu on ollut 20–30 cm sadassa vuodessa [10]. Ääritilanteet ja niissä tapahtuvat muutokset ovat tärkeitä rannikon tulvariskien kannalta. Vielä ei tiedetä, jatkuuko korkeiden ääriarvojen kasvu tulevaisuudessa. Tuuli- ja ilmanpaineolojen muutokset näkyvät sekä Itämeren kokonaisvesimäärässä että myrskyjen aiheuttamissa ääritilanteissa. Vedenkorkeuden vaihteluita vaimentavan jääpeitteen väheneminen saattaa näkyä talviaikaisten ääriarvojen kasvuna.



Kuva 2.1. Keskimääräisen vedenkorkeuden muutokset Helsingissä ja Vaasassa. Havaitut vuosikeskiarvot (pallot) ovat laskeneet 1900-luvun alusta nykypäivään. Keskiskenaario (yhtenäinen viiva) ennustaa Helsingin edustalla n. 40 cm nousua vuoteen 2100 mennessä, kun taas Vaasan edustalla keskiskenaario ennustaa n. 10 cm laskua. Laaja epävarmuusväli (katkoviivoilla) aiheutuu erityisesti epävarmuudesta mannerjäätiköiden tulevassa käyttäytymisessä.



Kuva 2.2. Helsingissä mitatut vedenkorkeuden vuosimaksimit (4 tunnin välisistä havainnoista) vuosikeskiarvon suhteen vuosina 1904–2010, lineaarinen muutos (punainen) sekä 10 vuoden maksimit (pylväät).

## Viitteet

1. BACC Author Team, 2008. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg: 473pp.
2. Luomaranta, A., Haapala, J., Gregow, H., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. ja Laaksonen, A., 2010. Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. Raportteja 2010: 4, 23 s. Ilmatieteen laitos.
3. Johansson, M.M., Kahma, K.K., Boman, H. & Launiainen, J., 2004. Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environment Research* 9: 153-166.
4. IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
5. Pfeffer, W.T., Harper, J.T. & O'Neel, S., 2008. Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea Level Rise. *Science* 321 (5894), 1340–1343.
6. Mitrovica, J.X., Tamisiea, M.E., Davis, J.L. & Milne, G.A., 2001. Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change. *Nature* 409 (6823), 1026–1029.
7. Johansson, M., 2010. Ilmastonmuutos ja merenpinta – Lämpeneminen nostaa valtamerien pintaa. *Ilmansuojelu* 1/2010.
8. Venäläinen, A., Johansson, M., Kersalo, J., Gregow, H., Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Neitiniemi-Upola, L., Tietäväinen, H., Pimenoff, N., 2010. Pääkaupunkiseudun ilmastotietoja ja –skenaarioita. Teoksessa: Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu. Sopeutumisstrategian taustaselvityksiä. HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut, HSY:n julkaisuja 3/2010, s 12-35. ISBN (nid.) 978-952-6604-04-6, ISBN (pdf) 978-952-6604-05-3
9. Johansson, M., Kahma, K., Pellikka, H., 2011. Sea level scenarios and extreme events on the Finnish coast. In: SAFIR2010, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2007-2010, Final Report. Puska, E.-K., Suolanen, V. (Eds.) VTT Tiedotteita – Research Notes: 2571 2011. VTT, Espoo. 578 p. Pages 570-578.
10. Johansson, M., Boman, H., Kahma, K. K., Launiainen, J., 2001. Trends in sea level variability in the Baltic Sea. *Boreal Environment Research* 6, 159-179.

## 3 Ilmastomuutoksen vaikutukset ja sopeutuminen eri toimialoilla

### 3.1 Elinkeinoelämä

#### 3.1.1 Ilmastomuutokseen sopeutuminen maa- ja elintarviketaloudessa

Kaija Hakala, Sari Himanen, Terho Hyvönen, Helena Kahiluoto, Arja Laitila, Riitta Molarius, Pirjo Peltonen-Sainio, Karoliina Pilli-Sihvola ja Kari Saikkonen

*Ilmastomuutos saattaa parantaa Suomen maatalouden tuotantokykyä lähitulevaisuudessa pidentyvän kasvukauden ja suuremman lämpösumman kautta. Ilmastomuutoksen myötä säätilan vaihtelut, ääri-ilmiöt ja suurempi tauti- ja tuholaispaine saattavat kuitenkin aiheuttaa ennalta arvaamattomia haittoja maataloudelle. Myönteisistä muutoksista voidaan parhaiten hyötyä ja haasteista selviytyä varautumalla muutoksiin joustavasti. Viljelymenetelmiä ja -järjestelmiä on kehitettävä jatkuvasti, on rakennettava hälytysjärjestelmiä mm. tuholaiden massaesiintymisten tai tautiepidemioiden varalle ja huolehdittava siitä, että kasvinjalostus tuottaa jatkuvasti uusia lajikkeita uusiin oloihin. Kasvintuotannossa etenkin talvella lisääntyvä kosteus lisää vesitalouden hallintatarvetta. Kohonneet lämpötilat voivat johtaa kasvien liian nopeaan kehitysrytmiin, joka saattaa johtaa alentuneisiin satoihin. Kotieläintaloudessa vaarana ovat yleistyvät eläintaudit ja rehuissa esiintyvät homesienimyrkyt eli mykotoksiinit.*

*Elintarviketaloudessa lämpimämpi ja kosteampi ilmasto saattaa lisätä ruoan varastointiongelmia ja uhata ruoan hygieenisyyttä ja laatua. Etenkin vieraslajien ja uusien haittamikrobien yleistymistä ja leviämistä Suomeen on seurattava ja arvioitava, miten niiden aiheuttamat haitat tulevaisuuden ilmastossa voivat muuttua ja miten muutoksiin voidaan varautua.*

*Maatalouden ympäristönsuojelussa on varauduttava lisätoimiin, kun kasvitautien ja -tuholaiden torjunta ja lisääntyvät sateet uhkaavat lisätä torjunta-aineiden ja ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Varautumisessa on tärkeää paitsi tietyn uhkan tunteminen, myös joustavuus sopeutumisessa sekä tunnettuihin että tuntemattomiin tekijöihin. Joustavuutta voidaan parantaa monipuolisella tuotannolla, jossa yksittäisen maatilan käytössä on esim. useita viljelykasvilajikkeita ja viljelykasveja yksipuolisen peltoviljelyn sijaan.*

#### **Sadot paranevat ja viljely laajenee ja monipuolistuu**

Ilmastomuutoksen myönteisiä vaikutuksia ovat nykyisten päätuotantokasvien viljelyn laajeneminen Suomessa pohjoisemmille alueille, kasvinviljelyn tuotantopotentiaalin kasvu satoisampien lajikkeiden, etenkin talvehtivien muotojen myötä sekä mahdollisuus monipuolisemman kasvivalikoiman käyttöönottoon yhä laajemmilla alueilla

[1,2,3,4]. Satopotentiaali voi kohota vuosisadan loppuun mennessä jopa yli tämänhetkisten Tanskan satojen, jopa 8–10 tonniin/ha kevätkylvöisillä viljoilla ja yli 9 tonniin/ha syyskylvöisillä, riippuen kuitenkin alueesta ja muista säätekijöistä kasvukautena. Paitsi tuotannon tehostumista yleensä, myös Suomen valkuaisomavaraisuus voi lisääntyä huomattavasti, kun esim. herneen, härkäpavun ja rapsin viljely laajenee pohjoisemmaksi ja sadot suurenevät esim. herneellä jopa yli 8 tonniin/ha. Etelä-Suomessa siirryttäen vuosisadan lopulla yhä enemmän syyskylvöisiin kasveihin, kun talvehtimisolot helpottuvat [2]. Talvehtivien kasvien laajempi viljely voi paitsi lisätä satoja, myös vähentää kevätkuivuuden haittoja ja maatalouden ravinnepäästöjä.

Etelä-Suomen Lepsämäjoen valuma-alueelle tehdyissä mallinuksissa todettiin, että pellon käyttö voi tulevaisuudessa vaihdella viljelyvaihtoehtojen lisääntyessä ratkaisevasti, riippuen lähinnä siitä mitä tuotantosuuntia tuotantokyvyn kehitys, markkinat ja politiikka vahvimmin tukevat. Tarkasteltavia pellonkäytön vaihtoehtoja olivat valkuaisomavaraisuuden, talviaikaisen kasvipeitteisyyden tai monimuotoisuuden merkittävä lisääminen tai vaihtoehtoisesti yksipuolistuva (viljan) tuotanto. Pellonkäyttöratkaisuilla todettiin olevan merkittävä vaikutus, ei vain viljelyn ympäristön monimuotoisuuteen vaan myös ravinteiden huuhtoumariskeihin [5].

Myös puutarhataloudessa on odotettavissa, että vihannesten ja hedelmien, esim. omenan viljely laajenee yhä pohjoisemmaksi ja satojen määrä ja laatu paranevat [6] sekä uusien hedelmälajien, kuten päärynän ja luumun viljelyn yleistyy Etelä-Suomesta alkaen.

Laajeneva viljely ja suuremmat sadot vaativat tulevaisuudessa myös enemmän ravinteita, jolloin ravinne- ja vesitalouden hallinta tulevat vaatimaan sopeutumistoimia [7,8]. Näissä toimissa viljelijä tarvitsee tutkijoiden ja hallinnon apua. Jos maataloustuotteiden, kuten viljojen, hinnat jatkavat nousuaan tulevaisuudessa 2000-luvun puolivälissä alkaneen kehityksen mukaisesti, maatalouden sopeuttaminen ilmastonmuutokseen tulee yhä tärkeämmäksi paitsi ympäristön, myös talouden ja kansantuotteen kannalta [9].

## **Kasvitaudit, tuholaiset ja rikkakasvit verottavat nettotuotosta**

Ilmaston lämpenemisestä aiheutuvat kasvinsuojeluriskit ovat jo alkaneet lisääntyä Itämeren ympärysmäissa [10,11]. Tähän ovat olleet vaikuttamassa kasvukausien pidentyminen, kohonnut lämpösäätö ja talvien leudontuminen. Myös viljelytekniikan muutokset (esim. kevytmuokkaus ja suorakylvö) ja lisääntynyt viljelykasvien ja materiaalien tuonti ulkomailta ovat vaikuttaneet kasvinsuojelutarpeen lisääntymiseen. Ilmastonmuutoksen mukanaan tuomat pitenevät kasvukaudet, lämpimät syksyt ja leudot talvet sekä runsastuvat syys- ja talviseet suosivat nykyisiä tauti- ja tuholaislajejamme ja edistävät muualta tulevien kasvintuhoojien kotiutumista ja yleistymistä Suomessa [11,12].

Kun tärkeimmillä viljelyalueilla kokovuotinen kasvipeitteisyys toteutuu yhä paremmin talvehtivien viljelykasvien yleistessä, kasvustolla elävien ja lisääntyvien tautien ja tuholaisien lisääntymis- ja talvehtimisolot paranevat huomattavasti. Myös uudet syyskylvöiset viljat, kuten syysohra, saattavat tuoda uusia tauti- ja tuholaispaineita Suomeen. Kasvukauden piteneminen ja talvien leudontuminen mahdollistavat uusien virusvektoreiden (kirvat, sukkulamadot) talvehtimisen ja uusien virustautien yleistymisen [11,13]. Myös ruostetautien merkitys kasvaa nopeasti. Myös rikkakasvien menestymismahdollisuudet paranevat, etenkin jos muokkauksessa siirrytään yhä kevyempiin menetelmiin [14].

## **Uusia kasvitauteja ja tuholaisia saattaa tulla Suomeen yhä enemmän**

Tutkimuksissa on tunnistettu useita kasvitautei-, tuholais- ja rikkakasvilajeja, joita tällä hetkellä tavataan Suomessa satunnaisesti, mutta jotka voivat pystyä perustamaan pysyvän kannan lähitulevaisuudessa ilmaston muuttuessa niille suotuisaksi. Tutkimuksessa tuotettiin malli, jonka avulla pystytään ennustamaan, milloin ilmasto-olot ovat muuttuneet sopiviksi erilaisten uusien kasvintuhoojien tulemiselle Suomeen. Ennustemallia

testattiin jo Suomeen tulleilla kasvintuhoojilla ja malli toimi odotetusti. Ilmaston muuttuessa vähitellen yhä suotuisammaksi, uusien kasvintuhoojien kotoutumisriski kasvaa mallin mukaan ensin puutarhatuotannossa (hedelmätarhat, taimitarhat, puistopuut, kasvihuoneet). Tuholaisista uurrekorvakärsäkäs, koloradonkuoriainen ja erilaiset kirvat ovat todennäköisimpiä lajeja, jotka vaativat tehostettuja torjuntakeinoja ilmaston muuttuessa. Erityisen haastavia tulevat olemaan avomaan- ja kasvihuonetuholaiset, jotka levittävät kasvitauteja tai käyttävät kasvihuoneita ns. astinlautoina ulkoviilijelmille [15].

Rikkakasvien osalta Suomessa satunnaisvieraina tavatuista lajeista kymmenen lajia (hulluruoho, kananhirssi, keltapäivänkakkara, myrkkyrainheinä, peltopuna-alpi, silkkiunikko, sormiheinä, verihirssi, viherrevonhäntä ja villikaura) voivat pystyä vakiintumaan Suomeen ilmastonmuutoksen seurauksena [16,17,18]. Suomeen jo vakiintuneiden lajien levinneisyysalueen koko taas on riippuvainen siitä, kuinka pitkään laji on ollut maassamme. Useiden vakiintuneiden uustulokkaiden (saapuneet Suomeen 1600-luvun jälkeen) voidaan olettaa laajentavan esiintymisaluettaan maatalousympäristöissä tulevaisuudessa. Tutkimusten mukaan Suomen tulevaisuuden ilmasto-olot sopivat useille nykyisin Keski-Euroopassa tavattaville rikkakasvilajeille [16,17,18].

### **Ympäristöongelmat saattavat lisääntyä**

Kun ravinteiden käyttöä lisätään satopotentiaalain noustessa ja kasvinsuojelutarve samalla lisääntyy, on vaarana, että ravinteiden ja kasvinsuojeluaineiden valumat vesistöihin lisääntyvät [19]. Ravinnevalumat saattavat runsastuvien syys- ja talvisateiden myötä lisääntyä jopa 46 %, jos kasvinviljelyä jatketaan nykyisin menetelmin myös tulevaisuuden lämpimämmässä ilmastossa. Ravinteiden huuhtoutumista edistää myös lämmenneessä maassa kiihtyvä ravinteiden irtaantuminen eloperäisestä aineksesta (mineralisaatio) mikrobitoiminnan tehostumisen tuloksena. Kun talvisateet lisääntyvät, mutta lumipeite lämpimämmän ilmaston takia ohenee, keväinen lumipeitteen sulamisesta johtuva pintavalunta vähenee, mutta talviaikainen valunta ja pohjavalunta lisääntyvät. Ilman sopeutumistoimia maaperän tyypeä voi poistua vesistöihin yhä enemmän talvivalunnan mukana. Toisaalta pintavalunnan vähentyminen voi vähentää eroosiota ja siten maahan kiinnittyneen fosforin huuhtoutumista vesistöihin. Valuntojen estämiseksi on viljelyä monipuolistettava ja talvipeitteisyyttä lisättävä. Vesitalouden hallinta tulee yhä tärkeämmäksi kaikkina vuodenaikoina. Vaikka kasvinsuojeluaineiden hajoaminen kasvukauden aikana lämpötilan noustessa nopeutuu, niiden huuhtouma ei välttämättä alene, jos niiden käyttömäärät lisääntyvät. Syysmuotoisten kasvien vallatessa alaa myös torjuntatarve siirtyy yhä enemmän syksyyn, mikä johtaa suurempiin huuhtoutumiin syksyn ja talven aikana, etenkin kun sateet samalla lisääntyvät [11]. Jo nyt on voitu havaita uusien viljelytapojen (suorakylvö, talvipeitteisyys, suojavyöhykkeet) myönteinen vaikutus ravinnevalumien estäjinä.

### **Ilmastonmuutos tuo eläintuotannolle sekä mahdollisuuksia että haasteita**

Tutkimusten tulosten perusteella näyttää siltä, että ilmastonmuutoksella olisi sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia eläintuotannolle. Karjanpidon volyyymiä voitaisiin laajentaa pitempien kesien ja lisääntyvän saateisuuden vuoksi. Toisaalta ilmaston lämpeneminen voi lisätä etenkin vektorivälitteisten eläintautien määrää maassamme. Eläinten terveyttä voidaan edistää varmistamalla kotimaisen rehun saatavuutta ja laatua. Etenkin homeiden tuottamien haittayhdisteiden, mykotoksiinien, esiintyvyyteen tulee kiinnittää huomiota.

### **Elintarvikkeiden tuotantoketjun tehokkuutta on tarkistettava**

Ilmastonmuutoksen takia elintarvikkeiden tuotantoketjun toimivuus saattaa joutua koetukselle. Alkutuotannossa viljojen ja kasvien varastojen lämpötilan ja kosteuden aiheuttamat ongelmat uhkaavat tuotteiden hygieenisyyttä ja laatua. Uudet kasvitaudit ja homemyrkyt uhkaavat alkutuotannon työturvallisuutta.

Elintarvikkeiden tuotantoketjuun voi siirtyä aiemmin tuntemattomia haittamikrobeja, kun niiden siirtymismekanismia ja kuluttajien altistusreittejä ei vielä tarkoin tunneta. Yhtenä esimerkkinä tästä on keväällä 2011 puhjennut vaarallinen EHEC (*Enterohemorrhagic Escherichia coli*) -epidemia, jonka aiheuttajabakteeri oli ennen tuntematonta kantaa ja jonka alkulähdettä ei vielä vuoden loppuun mennessä voitu luotettavasti selvittää. Epidemia on ääriesimerkki elintarviketurvallisuuden haasteista, jotka vaativat ratkaisua ilmastomuutoksen ja muiden globaalimuutosten edetessä. Tavanomaisempia haasteita, joihin jo nyt tarvitaan ratkaisukeinoja ja ehkä vielä enemmän ilmaston muuttuessa lämpimämmäksi, ovat elintarvikkeiden tuotantoprosessien häiriöt esimerkiksi sähkökatkojen vuoksi tai talousveden ja teollisuuden käyttöveden saastuminen, jotka voivat aiheuttaa lopputuotteiden pilaantumisia ja sitä kautta sairastumisia. Sähkökatkot voivat myös aiheuttaa raaka-aineiden ja elintarvikkeiden varastointi-, käsittely- ja kuljetusketjujen lämpötilapoikkeamia, mikä tekee valmiit tuotteet helpommin pilaantuviksi.

### **Kyky sopeutua erilaisiin muutoksiin on tärkeää epävarmuuden lisääntyessä**

Ilmastomuutoksen ennakkointiin sisältyy paljon epävarmuutta [20]. Ilmaston muutoksen mukanaan tuomat muutokset ekologiin prosesseihin tuovat yllätyksiä, hillintätoimien tehokkuutta on vaikea ennakoida ja ilmastomallien välillä on suuria eroja [21]. Samanaikaisesti joudutaan sopeutumaan myös ilmastomuutoksen epäsuoriin vaikutuksiin ja muihin muutoksiin kuten hintojen lisääntyviin heilahteluihin [9]. Siksi yleisen sopeutumiskyvyn kehittäminen monenlaisiin muutoksiin ja elintarvikkeiden kaikkialla tasolla on tärkeää. Sopeutumiskykyä lisäävät yleisesti hyvä tasa-arvo ja korkea sosiaalinen pääoma sekä korkeatasoinen koulutus, teknologia ja infrastruktuuri. Monimuotoisuus on sopeutumiskyvyn parantamisessa kuitenkin avainasemassa, koska se tarjoaa mahdollisuuden vähentää riskejä tavalla johon toimijat voivat itse vaikuttaa. Esimerkiksi kauppa voi monipuolistaa hankintakanaviaan ja viljelijä tilaansa.

### **Keskeisimmät sopeuttamistarpeet ja toimenpiteet ilmastomuutoksen edetessä**

Riittävästä monimuotoisuudesta huolehtiminen maa- ja elintarviketaloutemme eri osissa varmentaa ruuan tuotantoa vaikeasti ennakoitavassa ja yhä enemmän vaihtelua ja äärevyyttä sisältävässä tulevaisuudessa. Esimerkiksi viljelykasvien monimuotoisuudella on merkitystä sopeutumiskyvylle ja tilan taloudelliselle riskienhallinnalle; esim. syysviljat osana tilan tuotantoa näyttävät vähentävän satotappioita erityisesti kuivina vuosina [22]. Myös Suomessa viljellyt lajikkeet reagoivat eri tavoin eri säätekijöihin. Esimerkiksi ohralajikkeistossamme on suurta vaihtelua herkkyydessä erilaisille säätekijöille [23]. Tällainen lajikkeiston vastediversiteetti merkitsee hyviä valmiuksia sopeutumisessa tuleviin ilmaston muutoksiin. Tutkimusten mukaan alueellisen lajikemonimuotoisuuden ja satotason välillä on rehuohralla selkeä positiivinen yhteys ja yhteyden voimakkuus riippuu kasvukaudesta [24]. Muuttuvissa ilmasto-oloissa lajikemonimuotoisuus voikin nousta entistä keskeisempään rooliin satovarmuuden kannalta.

Maatalouden tärkeimmät sopeuttamistoimet ja niiden käyttöönoton aikataulu todennäköisimpään tulevaisuuden ilmastoon valmistauduttaessa on esitetty taulukoissa 3.1 ja 3.2). Tärkeitä toimia peltoviljelyssä ovat maaperän kasvukunnosta huolehtiminen mm. hyvän viljelykierron avulla sekä vesi- ja ravinnetalouden hallinta [25,26]. Kasvinsuojeluriskien hallinta tulee yhä tärkeämmäksi. Riskejä voidaan hallita kestävän torjunnan, hälytysjärjestelmien ja terveen lisäysmateriaalin käytön kautta [27]. Tautien ja tuholaisien vastustuskykyyn tähtäävä strateginen kasvinjalostus ja yleensäkin uusien ja parempien viljelykasvilajikkeiden kehittämiseen tähtäävä jalostus ovat avainasemassa maataloustuotannon sopeuttamisessa tuleviin oloihin.



Taulukko 3.1. Tärkeimmät suomalaisen kasvintuotannon tuotantokyvyn parantamiseen liittyvät ilmastonmuutokseen sopeuttamistarpeet sekä toimenpide-ehdotukset ILMASOPU-hankkeen tulosten perusteella [26].

Rajoittava tekijä	Peltokasvilajit	Sopeuttamistoimi
Lämpötilan nousu, pitkä päivä ja kiih- tynyt kehitysrytmi	Siemensatokasvit	Kasvinjalostus
Veden saatavuus	Kevättylvöiset lajit	Vesitalouden hallintajärjestelmät, kasvinjalostus, syysmuotoiset lajit
Talvenkestävyys	Talvehtivat lajit	Kasvinjalostus, heikon kestävyuden (ulkomaisten) lajikkeiden välttäminen
Kasvintuhojariskit	Kaikki lajit	Terveet lisäysmateriaalit, kestä- vyysjalostus, torjuntamenetelmät, hälytysjärjestelmät
Ääri-ilmiöt	Kaikki lajit	Hälytysjärjestelmät, viljelyvarmat lajikkeet, monimuotoisuus ja pusku- rointikyky
Ravinteiden saanti	Kaikki lajit	Lannoitusmenetelmät, viljelykierto, palkokasvien yleistäminen, jalostus

Taulukko 3.2. ILMASOPU-hankkeessa ennakoitujen ajankohdat eräille keskeisimmille suomalaisen peltokasvituotannon muutoksille, joita ilmastonmuutokseen sopeutuminen edellyttää [26].

Ajankohta	Muutos
2015 →	Kasvintuhojien torjuntatarve kasvaa ja torjuntavaihtoehdot monipuolistuvat: ennakoitiin ja torjunta ovat yhä tärkeämpiä tuotantoepävarmuuden ehkäisemiseksi
2015–2025	Nykytyypiset lajikkeet väistyvät: Lajikkeisto vaihtuu ensin rannikkoseudulla edeten sitten maan keski- ja pohjoisosiin, satotasot nousevat merkittävästi sopeutumisen myötä, EU suhtautuu myönteisesti geenimuuntelun hyödyntämiseen
2015–2025	Viljely monimuotoistuu: erityisesti rapsi on korvannut rypsin ja lisäksi palkokasvien viljely on yleistä valkuais- ja typpiomavaruuden turvaamiseksi
2020–2040	Kasvintuotanto alkaa keskittyä vahvasti suotuisimmille tuotantoalueille: omavaraisuus turvataan ja ylijäämäpellot käytetään bioenergian tuottamiseen, vientituotantoon, vahvasti erikoistuneeseen tuotantoon ja/tai luonnon ja peltomaan hoitoon
2020–2040	Pellon vesitalouden hallintajärjestelmät otetaan käyttöön ensisijaisesti tuotannon vahvoilla keskittymäalueilla: ravinnekierron ”suljetaan”
2055 →	Kevätmuotoiset lajit korvautuvat suuressa määrin syysmuotoisilla
2000-luku	Ääri-ilmiöt aiheuttavat suurta epävarmuutta tuotannolle ja onnistumisten joukkoon ujuttautuu toistuvasti myös epäonnistumisia

Koska talvikauden biologiset prosessit muuttuvat eniten, olisi juuri talvikauden osalta panostettava maankäytön hallittuihin muutoksiin [28]. Viljelyn monimuotoisuus ja esim. vesitalouden hallintaan liittyvät teknologiat ovat avainasemassa pyrittäessä ääri-ilmiöiden ja yleisen tuotantoepävarmuuden puskurointiin. Onnistunut maatalouspolitiikka ja siihen liittyvä järjestäytyneet ja toimiva neuvonta sekä omavalvonta ovat näissä toiminna tärkeitä. Ilman viljelijöiden yhteistyötä ei mitään muutoksia ole helppo toteuttaa. Tämän vuoksi muutokset

käytännössä on suunniteltava siten, että niistä on viljelijöille myös taloudellista hyötyä. Jos esim. fosforilukuja halutaan maassa pienentää, tästä mahdollisesti aiheutuva laskenut satotaso olisi korvattava viljelijälle riittävän hyvin, jotta toimenpiteet onnistuisivat myös käytännön tasolla. Ympäristöön kohdistuvien toimien priorisointi etenkin valuma-alueille voisi tehostaa toimenpiteitä.

Tärkeimpinä asioina puutarhatuotannon sopeutumisessa ilmastonmuutokseen ovat uusien monivuotisten hedelmä-, marja- ja viherrakentamiskasvien ja niiden lajikkeiden testaus ja jalostus, kasvihuone- ja avomaan vihannesten jalostus sekä uudet viljelytekniset sovellukset. Ilmastonmuutos saattaa siirtää Euroopan kasvihuoneviljelyä pohjoisemmaksi. Tästä syystä kasvihuoneviljelyn tutkimuksessa ja tuotekehityksessä on kiinnitettävä erityistä huomiota energiatehokkuuteen ja suljettuihin järjestelmiin, jotta voidaan hyödyntää valaistusolot mahdollisimman hyvin ja toisaalta estää kasvihuoneista tulevia valumia. Myös uusiutuvien ja kierrätettävien kasvualustojen kehittäminen ja puhtaan veden saatavuuden turvaaminen on tärkeää. Korkealuokkaisista kierrätettävistä kasvualustoista ja vedestä saattaa tulla kilpailutekijä Suomelle verrattuna moniin eteläisempiin Euroopan maihin [25].

Pidempi kasvukausi ja kovien pakkasten väheneminen luovat paineita lisääntyneelle kasvin suojelulle. Kasvin tuhoojien, kuten kirvojen, mukanaan kuljettamat virukset tulevat luultavimmin myös yleistymään, kun niitä kuljettavien tuholaisten elinolot paranevat ja niiden määrä lisääntyy. Kemiallisen kasvin suojelelun aiheuttamia kuluja ja ympäristöriskejä voidaan vähentää tehokkailla hälytysjärjestelmillä, tuholaisten ja tautien seurannalla ja siihen liittyvällä täsmätorjunnalla, sopivilla viljelykierroilla ja kestäville kasvilajikkeilla. Vieraslajien kasvin tuotannolle aiheuttamiin riskeihin voidaan varautua parhaiten ennakoimalla niiden leviämistä ja asettumista Suomeen [15]. Ennakointiin tarvitaan tutkimustietoa lajien nykyisestä levinneisyydestä, kulkeutumistavoista ja -reiteistä sekä arvio leviämispaineesta ja lajin asettumisen todennäköisyydestä tulevaisuuden ilmasto- ja kasvintuotanto-olosuhteissa. Tämän tiedon avulla voidaan tehdä päätöksiä voimavarojen suuntaamisesta.

Elintarvikkeiden tuotantoketjun toimivuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota niin tuottajien kuin kuluttajienkin turvallisuuden näkökulmasta [29]. Raaka-aineiden ja alkutuotevarastojen kosteuden ja lämpötilan hallinta vaatii jatkuvaa riskien tunnistamista ja valmiutta varastointiolosuhteiden korjaamiseen. Alkutuotannossa olevien työntekijöiden työturvallisuutta tulee arvioida uudelleen esimerkiksi homemyrkyjen osalta. Kuluttajien turvallisuuteen tulee kiinnittää huomiota selvittämällä tarkemmin erilaisten haittamikrobien ja niiden aineenvaihduntatuotteiden siirtymismekanismeja ja kuluttajien altistusreittejä. Elintarviketeollisuuden riskienarviointi ja omavalvontajärjestelmien merkitys tulee kasvamaan turvallisten elintarvikkeiden tuotannossa. Elintarvikkeiden varastointi-, käsittely- ja kuljetusketjun lämpötilanhallinta on ensiarvoisen tärkeää.

## Taloudellisia arvioita

Pidentyvä kasvukausi, kasvava lämpösumma ja viljelyn monipuolistuminen tarjoavat potentiaalisia taloudellisia hyötyjä, mutta kasvitautilien, tuholaisten ja rikkakasvien haitallinen merkitys taloudellisille vaikutuksille on epävarma ja riippuu mm. sopeutumistoimenpiteistä. Kasvin suojelelutarpeen lisääntyminen lisää viljelijöiden kustannuksia. Yhteiskunnallisia kustannuksia aiheutuu myös ravinnevalumasta, jonka odotetaan lisääntyvän ilman sopeutumistoimia. Maatalouden sopeutumistoimet aiheuttavat luonnollisesti kustannuksia, mutta potentiaaliset hyödyt voivat olla merkittäviä. Sopeutumistoimien optimaalinen hyödyntäminen vaatisi taloudellisen analyysin lisäämistä.

Eläintuotannon olosuhteet tulevat myös muuttumaan, mikä lisää potentiaalisia hyötyjä, mutta aiheuttaa myös haittoja. Myös elintarvikkeiden tuotantoketjun olosuhteiden muuttuminen aiheuttaa kustannuksia pääasiassa yksityiselle sektorille. Olosuhteiden muuttumiseen ja vaikutusten seurantaan on kuitenkin kannattavaa käyttää resursseja, sillä esimerkiksi laajojen ruokamyrkytys-epidemioiden taloudelliset vaikutukset voivat olla merkittäviä [29].

Ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia Suomen maatalouteen on viimeksi tutkittu FINADAPT-tutkimushankkeessa. Tuolloin arvioitiin, että ilmastonmuutoksen tuottamat hyödyt maataloudelle ovat vuoteen 2020 mennessä 60, vuoteen 2050 mennessä 100, ja vuoteen 2080 mennessä 120 miljoonaa euroa [30]. Hyödyt on arvioitu varsin maltillisiksi ottaen huomioon, että uusimpien tutkimustulosten perusteella Suomen maatalous tulee hyötymään satotasojen ja viljelyalan kasvaessa huomattavasti. Taloudellisia hyötyjä laskettaessa on kuitenkin otettava huomioon, että tuotannon kasvusta saatava hyöty pienenee markkinahintojen tai maataloustukien mahdollisesti alentuessa. Viime vuosina maataloustuotteiden hinnat ovat kuitenkin olleet pääosin nousussa, joten vaikutuksen suunta on epävarma. Lisäksi on huomioitava, että tuottavuus saattaa kasvaa myös muissa, jo tällä hetkellä maatalousvaltaisissa tuottajamaissa. Laskelmissa ei myöskään ole otettu ilmastonmuutokseen sopeutumista huomioon.

Eurooppalaisessa PESETA-hankkeessa arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia bruttokansantuotteeseen eri puolilla Eurooppaa. Taloudellisissa laskelmissa oletetaan, että maataloustuotanto tulee kasvamaan vuoteen 2080 mennessä 37–62 % vuosien 1961–1990 keskiarvoon verrattuna riippuen käytetystä päästö- ja ilmasto-skenaariosta. Laskelmissa oletetaan, että viljelijät tuottavat muuttuneeseen ilmastoon sopeutuneita lajikkeita ja siten maksimoivat potentiaalista tuotantoaan. Tulosten mukaan lisääntyneellä tuotannolla on positiivinen, mutta alle 0,1 % vaikutus Suomen bruttokansantuotteeseen [31]. Tämänkaltaiset Euroopan laajuiset arviot taloudellisista vaikutuksista ovat tärkeitä, mutta parhaimmillaankin vain suuntaa-antavia. Paikallisten tuotantolojen tuntemus mahdollistaa sen, että Suomessa tehty tutkimus palvelee paremmin päätöksentekoa.

Luontaisen sään vaihtelun taloudellisia vaikutuksia maatalouteen ei ole arvioitu, mutta äärimmäisistä sääilmiöistä aiheutuvista satovahingoista on aineistoa, joka perustuu viljelijöiden satovahinkokorvaushakemuksiin. Niiden perusteella satovahinkojen määrä vaihtelee Suomessa voimakkaasti vuodesta toiseen. Esimerkiksi vuosien 1995–2009 välillä tuhojen vaihteluväli oli vuoden 2009 1,2 miljoonasta eurosta vuoden 1998 121 miljoonaan euroon. Pahimmat satovahinkojen aiheuttajat Suomessa olivat rankkasateet, kuivuus ja pitkittyneet sateet.

Suomessa ei ole yksityisiä vakuutusmarkkinoita, jotka tarjoaisivat maatalousyrittäjälle suojan satovahinkoja vastaan. Joitain yksittäisiä riskejä, kuten tulipaloja vastaan, voi kuitenkin hankkia vakuutuksen yksityiseltä vakuutusenantajalta. Yksityisten vakuutusmarkkinoiden sijaan Suomessa on valtion tukema satovahinkokorvausjärjestelmä. Maatalousyrittäjät voivat hakea äärimmäisten sääilmiöiden sadoille aiheuttamille vahingoille valtion korvauksia. Satovahinkokorvausta maksetaan vain, jos vahinko ylittää 30 % tilan normisadon arvosta. Omavastuuosuuden ylittävistä osuudesta korvataan valtioneuvoston määräämä osuus [32]. Maatalouden riskienhallintaa ja vakuutus- ja johdannaissopimusten mahdollisuuksia ja tehokkuutta maanviljelijän riskienhallinnassa tutkittiin MTT:n vetämässä RIMAC-hankkeessa vuosina 2009–2011.

Maa- ja elintarviketalous-osiossa ovat mukana seuraavat ISTO-ohjelman hankkeet: ILMASOPU-hankkeessa tutkittiin, miten kasvuolot muuttuvat ja miten myönteisistä muutoksista voidaan parhaiten hyötyä ja miten taas haasteista selviytyä. TUPOLEV-hankkeessa tutkittiin tautien ja tuholaisien, etenkin vieraslajien tähänastista leviämistä Suomeen ja arvioitiin, miten tauti- ja tuholaislajisto ja niiden aiheuttamat haitat tulevaisuuden ilmastossa muuttuvat. ELICLIMATE-projektissa selvitettiin kirjallisuushaun ja asiantuntijoiden haastattelujen avulla ilmastonmuutoksesta maataloudelle ja elintarvikkeiden tuotantoketjulle aiheutuvia riskejä ja mahdollisuuksia. ADACAPA-projektissa arvioitiin, miten Suomen maatalouden joustavuutta olosuhteiden muutokseen voitaisiin kehittää. EU LIFE+ -rahoitteisessa VACCIA-hankkeessa hyödynnettiin ILMASOPU-hankkeen tuottamia viljelyskenaarioita.

## Viitteet

1. Peltonen-Sainio, P., Hakala, K., Jauhiainen, L. & Ruosteenoja, K. 2009. Comparing regional risks in producing turnip rape and oilseed rape - Impacts of climate change and breeding. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 59: 129–138.
2. Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171–190.
3. Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Laurila, I.P. 2009. Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realization. *Field Crops Research* 110: 85–90.
4. Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Känkänen, H. & Hakala, K. 2009. Improving farming systems in northern European conditions. In: Editors Victor O. Sadras, Daniel Calderini. *Crop Physiology : Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Amsterdam: Elsevier. p. 71–97.
5. VACCIA-hankkeen loppuraportti: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J & Forsius, M. (toim). *Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon*. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristö 26/2011. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=132022&lan=fi>
6. Kaukoranta, T., Tahvonen, R. & Ylämäki, A. 2010. Climatic potential and risks for apple growing by 2040. *Agricultural and Food Science* 19: 144–159.
7. Bärlund, I., Tattari, S., Puustinen, M., Koskiahio, J., Yli-Halla, M. & Posch, M. 2009. Soil parameter variability affecting simulated field scale water balance, erosion and phosphorus losses. *Agricultural and Food Science* 18: 402–416.
8. Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiahio, J., Linjama, M., Niinioja, R. & Tattari, S. 2010. VIHMA - A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138: 306–317.
9. Lehtonen, H., Rötter, R., Palosuo, T., Salo, T., Helin, J., Pavlova, Y. & Kahiluoto, H. 2010. Modelling framework for assessing adaptive management options of Finnish agrifood systems to climate change. *Journal of Agricultural Science* 2: 3–16.
10. Hannukkala, A., Kaukoranta, T., Lehtinen, A. & Rahkonen, A. 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933–2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. *Plant pathology* 56: 167–176.
11. Hakala, K., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, M. & Peltonen-Sainio, P. 2011. Pests and diseases in a changing climate: a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science* 20: 3–14.
12. Vänninen, I., Worner, S., Huusela-Veistola, E., Tuovinen, T., Nissinen, A. & Saikkonen, K. 2011. Recorded and potential alien invertebrate pests in Finnish agriculture and horticulture. *Agricultural and Food Science* 20: 96–114.
13. Lemmetty, A., Laamanen, J., Soukanen, M. & Tegel, J. 2011. Emerging virus and viroid pathogen species identified for the first time in horticultural plants in Finland in 1997–2010. *Agricultural and Food Science* 20, 1: 29–41.
14. Salonen, J., Hyvönen, T. & Jalli, H. 2011. Composition of weed flora in spring cereals in Finland – a fourth survey. *Agricultural and Food Science* 20: 245–261.
15. *Agricultural and Food Science* 2011. Special issue on Alien pest species in agriculture and horticulture in Finland. *Agricultural and Food Science* 20, N:o 1.
16. Hyvönen, T. 2011. Impact of temperature and germination time on the success of a C4 weed in a C3 crop: *Amaranthus retroflexus* and spring barley. *Agricultural and Food Science* 20: 183–189.

17. Hyvönen, T., Glemnitz, M., Radics, L. & Hoffmann, J. 2011. Impact of climate and land use type on the distribution of Finnish casual arable weeds in Europe. *Weed Research* 51: 201–208.
18. Hyvönen, T. & Jalli, H. 2011. Alien species in the Finnish weed flora. *Agricultural and Food Science* 20: 86–95.
19. Hyytiäinen, K., Niemi, J.K., Koikkalainen, K., Palosuo, T. & Salo, T. 2011. Adaptive optimization of crop production and nitrogen leaching abatement under yield uncertainty. *Agricultural Systems*. doi: 10.1016/j.agry.2011.06.006
20. Rötter, R., Palosuo, T., Pirttioja, N. K., Dubrovsky, M., Salo, T., Fronzek, S., Aikasalo, R., Trnka, M., Ristolainen, A. & Carter, T. R. 2011. What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4 °C? A model-based assessment. *European Journal of Agronomy* 35: 205–214.
21. Rötter, R.P., Carter, T.R., Olesen, J.E. & Porter, J.R. 2011. Crop-climate models need an overhaul (a commentary). *Nature Climate Change* 1: 175–177.
22. Himanen, S.J., Hakala, K. & Kahiluoto, H. Crop responses to climate and socioeconomic change in northern regions. (Käsikirjoitus lähetetty lehteen.)
23. Hakala, K., Jauhiainen, L., Himanen, S.J., Rötter, R., Salo, T. & Kahiluoto, H. 2011. Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *The Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, in press. doi: 10.1017/S0021859611000694.
24. Himanen, S.J., Ketoja, E., Hakala, K., Rötter, R., Salo, T. & Kahiluoto, H. Higher cultivar diversity is accompanied by higher yield: A 'win-win' solution for the environment and agricultural productivity? (Käsikirjoitus.)
25. ILMASOPU-hankkeen loppuraportti: [http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutumisen/5oGpi1h7O/ILMASOPU\\_loppuraportti.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutumisen/5oGpi1h7O/ILMASOPU_loppuraportti.pdf)
26. Peltonen-Sainio, P., Hakala, K. & Jauhiainen, L. 2010. Ilmastonmuutos vie suomalaisen kasvin-tuotannon kohti uutta aikakautta. Teoksessa: Jyrki Niemi ja Jaana Ahlstedt (toim.). Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2010. MTT Taloustutkimus. Julkaisuja 110, s. 30–31.
27. Markkula, I., Leskinen, M., Pylkkö, P., Koistinen, J., Ooperi, S., Tiilikkala, K., Ojanen, H. & Raiskio, S. 2008. Early warning system for insect migration using weather radars. *Zemdirbyste-Agriculture* 95: 110–115.
28. Peltonen-Sainio, P., Hakala, K. & Jauhiainen, L. 2011. Climate-induced overwintering challenges for wheat and rye in northern agriculture. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science* 61: 75–83.
29. ELICLIMATE-hankkeen loppuraportti: Molarius, R., Keränen, J., Jylhä, K., Sarlin, T. & Laitila A. 2010. Suomen elintarviketuotannon turvallisuuden haasteita muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. VTT Tutkimusraportti : VTT-R-2672-10. 82 s. + liitt. 51 s. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-2672-10.pdf>
30. Perrels, A., Rajala, R. & Honkatukia, J. 2005. Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland. FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs 342, Helsinki, 30 pp.
31. Iglesias, A., Garrote L., Moneo, M. & Quiroga, S. 2009. Agriculture Impact Assessment. Teoksessa Climate Change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project. (toim. Ciscar, J-C.) Publications Office of the European Union. Luxembourg. 115 pp.
32. Maaseutuvirasto. 2011. Hakuohjeet 2011. <http://www.mavi.fi/fi/index/viljelijatueto/opaatjaohjeet/hakuopas.html> [viitattu 9.11.2011]

## Muuta ISTO-projektin puitteissa julkaistua:

Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skelväg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J. & Micale, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34: 96–112.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2009. Are there indications of climate change induced increases in variability of major field crops in the northernmost European conditions? *Agricultural and Food Science* 18: 206–226.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2011. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *The Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 149: 49–62.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J. E., Calanca, P., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaum, K. C., Kozyra, J., Kumar, S., Dalla-Marta, A., Micale, F., Schaap, B., Seguin, B., Skelväg, A. O. & Orlandini, S. 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 483–489.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Venäläinen, A. 2009. Comparing regional risks in producing turnip rape and oilseed rape - Today in light of long-term datasets. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B - Soil and Plant Science* 59: 118–128.

Regina, K., Lehtonen, H., Nousiainen, J. & Esala, M. 2009. Modelled impacts of mitigation measures on greenhouse gas emissions from Finnish agriculture up to 2020. *Agricultural and Food Science* 18, 3–4: 477–493.

Trnka, M., Olesen, J. E., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias, A., Orlandini, S., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Balek, J., Eckersten, H., Cloppet, E., Calanca, P., Gobin, A., Vucetic, V., Nejedlik, P., Kumar, S., Lalic, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, V., Semerádová, D. & Zalud, Z. 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17: 2298–2318.

Ylhäisi, J. S., Tietäväinen, H., Peltonen-Sainio, P., Venäläinen, A., Eklund, J., Räisänen, J. & Jylhä, K. 2010. Growing season precipitation in Finland under recent and projected climate. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10: 1563–1574.

### 3.1.2 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen metsätaloudessa

Heli Peltola, Elina Vapaavuori, Pekka Niemelä, Seppo Kellomäki, Hilppa Gregow, Otso Huitu, Maarit Kallio, Antti Kilpeläinen, Michael Müller, Seppo Neuvonen, Maija Salemaa, Juha Siitonen ja Ari Venäläinen

*Suomen maapinta-alasta on noin kaksi kolmasosaa aktiivisessa metsätalouskäytössä. Tämän vuoksi metsien hoidon ja käytön (metsätalouden) sopeuttaminen muuttuvaan ilmastoon on tärkeää, jotta pystytään turvaamaan kestävä metsien käyttö eri tarkoituksiin, kuten ainespuun ja energiabiomassan tuottaminen ja metsien virkistyskäyttö, sekä luonnon monimuotoisuus talousmetsissä. Metsätalouden aikajänne on pitkä, useita vuosikymmeniä, mikä edellyttää metsänhoidon asteittaista sopeuttamista muuttuvaan ilmastoon. Metsänhoitotoimenpiteillä voidaan ainakin jossain määrin myös vähentää ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia, kuten lisääntyviä tuhoriskejä. Sopeutumistoimien tarve voi kuitenkin olla hyvin erilainen lyhyellä, keskipitkällä jaltai pidemmällä aikavälillä, ja vaihdella paljonkin riippuen myös alueesta. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tulisi tulevaisuudessa voida lisätä myös metsien hiilensidontaa, metsien ja puutuotteiden hiilivarastoja sekä metsäbiomassan hyödyntämistä energian tuotannossa. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi metsien hoitotoimenpiteet tulee sopeuttaa siten, että ne tukevat ilmastopoliittisia tavoitteita.*

#### **Puuston kasvu ja hakkuupotentiaali lisääntyvät**

Ilmastonmuutoksen oletetaan lisäävän Suomessa metsien runkopuun kasvua kivennäismailla keskimäärin 10 % vuoteen 2020 mennessä, 29 % vuoteen 2050 mennessä ja 44 % vuoteen 2100 mennessä verrattuna nykyilmastoon (samalla tarkastelujaksolla), jos metsien hoidossa noudatetaan nykyisiä Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion laatimia metsänhoito-ohjeita [1, Taulukko 3.3]. Puuston kasvun suhteellinen lisäys on selvästi suurempi Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa. Toisaalta kuusen kasvun oletetaan jopa taantuvan Etelä-Suomessa vuoteen 2100 mennessä vettä hyvin läpäisevillä kasvupaikkatyypeillä, joissa kuivuus rajoittaa kuusen kasvua [1].

Varsinkin Etelä-Suomessa koivu valtaa alaa kuuselta, mutta osin myös männyltä, ellei puulajisuhteita ohjata aktiivisesti haluttuun suuntaan metsänhoidossa. Tämä johtuu siitä, että koivu hyötyy pääpuulajeistamme eniten lämpenevästä ilmastosta. Toisaalta myös nykyilmastossa koivu hidastaa kuusen ja männyn taimikoiden kehitystä johtuen sen nopeammasta nuoruusiän kasvusta. Koivun runkotilavuusosuuden oletetaan kaksinkertaistuvan nykyisestä 10 %:sta 20 %:in vuonna 2100 ilmaston lämmitessä. Vastaava muutos männyllä on 50 %:sta 68 %:in vuoteen 2100 mennessä. Kuusen osuuden on arvioitu vähentyvän nykyisestä noin 40 %:sta jopa 12%:iin, ellei taimikoiden ja nuorten kasvatusemetsien hoidossa aktiivisesti pyritä pitämään kuusivaltaiset taimikot havupuuvaltaisina (Taulukko 3.3). Ilmastonmuutos voikin muuttaa merkittävästi metsiemme puulajisuhteita metsänhoidon ohella [1].

Ilmastonmuutos lisää metsien hakkuupotentiaalia Suomessa noin 4 % vuoteen 2020, 52 % vuoteen 2050 ja 82 % vuoteen 2100 mennessä verrattuna nykyilmastoon, jos metsien hoidossa noudatetaan nykyisiä metsänhoito-ohjeita puuston harventamisen ja uudistamisen osalta [1, Taulukko 3.3]. Hakkuupotentiaalin kasvu on suhteellisesti ottaen selvästi suurempi Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa. Toisaalta eri puulajien menestymisellä muuttuvassa ilmastossa on selvä vaikutus eri puulajien ja puutavaralajien tuleviin hakkuumahdollisuuksiin. Ilmaston lämpeneminen parantaa myös metsien luontaisen uudistamisen edellytyksiä varsinkin Pohjois-Suomessa, jossa nykyilmastossa alhainen lämpösomma rajoittaa siementen tuleentumista.

## Metsien hiilensidonta ja hiilivarasto kasvavat

Myös metsien hiilensidonta lisääntyy ja metsäekosysteemin hiilivarasto (hiili puustossa ja maaperässä) kasvaa samalla kun puuston kasvu ja puuvaranto lisääntyvät [1]. Metsien hiilivaraston oletetaan kasvavan Suomessa noin 2 % vuoteen 2020 mennessä, 17 % vuoteen 2050 mennessä ja 27 % vuoteen 2100 mennessä verrattuna nykyilmastoon, jos metsien hoidossa noudatetaan nykyisiä metsänhoito-ohjeita [1, Taulukko 3.3]. Tällöin hiilivaraston suhteellinen lisäys olisi eri tarkastelujaksolla selvästi suurempi Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa.

## Tuulituho- ja metsäpalariskit lisääntyvät ja lumituhoriski vähenee

Metsien tuulituhoriskien oletetaan lisääntyvän tulevaisuudessa Suomessa, vaikka voimakkaiden tuulten (10 min keskituuli > 11 m/s) ei oleteta merkittävästi lisääntyvän [2]. Tämä johtuu osin siitä, että maan roudattomuuden oletetaan lisääntyvän ilmaston lämmitessä, mikä heikentää puiden ankkuroitumista myöhäissyksystä varhaiskevääseen eli tuulisimpaan vuodenaikaan Suomessa [3, 4, Taulukko 3.3]. Toisaalta myös pääosan kovista tuulista oletetaan esiintyvän Etelä- ja Keski-Suomessa tämän vuosisadan lopussa roudattomana aikana [4, 5]. Lisäksi uudistamishakkuiden määrän mahdollinen kasvu tulevaisuudessa lisää myös tuulille alttiiden metsänreunojen määrää [5].

Taimikoiden ja nuorten kasvatusmetsien hoidon laiminlyönti tai viivästyminen voi myös osaltaan lisätä varsinkin metsien tuulituhoriskia, mutta jossain määrin myös lumituhoriskia lähitulevaisuudessa, koska puuston järeyskehitys kärsii. Toisaalta lumituhoriskin (riskipäivien lukumäärä, lumenkertymä > 20 kg m<sup>-2</sup>) oletetaan vähenevän Suomessa 11 % vuoteen 2020 mennessä, 23 % vuoteen 2050 mennessä ja 56 % vuoteen 2100 mennessä, koska suuren osan talvisateista ennustetaan tulevan vetenä tämän vuosisadan lopussa (Taulukko 3.3). Suuria lumenkertymiä voi kuitenkin esiintyä vielä ainakin lähivuosisikymmeninä Etelä-, Itä- ja Pohjois-Suomessa, mikä yhdessä maan roudan vähenemisen kanssa lisää metsien lumituhoriskejä [4, 6].

Varttuneissa kasvatusmetsissä tuulituhoriski on suurin kuusikoissa, mutta tuhoja esiintyy myös männyllä sekä koivulla sen ollessa lehdessä [5]. Taimikoissa ja nuorissa kasvatusmetsissä mänty ja koivu ovat kuusta alttiimpia lumituhoille. Metsien puulajisuhteiden ja ikärakenteen muutos voivat vaikuttaa näiden tuhoriskien esiintymiseen alueellisesti. Ilmaston lämmitessä voi Suomessa myös metsäpaloille otolliset ilmasto-olosuhteet lisääntyä noin 20 % vuoteen 2100 mennessä [7]. Lisäys on suurempi Etelä-Suomessa, jossa haihdunta ylittää kesällä sadannan määrän.

## Sieni-, hyönteis- ja eläintuhoriskit lisääntyvät

Ilmastonmuutos voi merkittävästi heikentää metsiemme terveydentilaa, koska monet nykyisistä tuhonaiheuttajista pystyvät lyhyen elinkiertonsa ansiosta mukautumaan muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin pitkäikäistä puustoa paremmin (Taulukko 3.3). Männyllä ja kuusella tyvilahoa aiheuttavien sienten, kuten juurikäävän, tuhojen oletetaan lisääntyvän pidentyneen kasvukauden myötä ja leviävän jopa Pohjois-Suomeen asti. Kesäisten hellejaksojen yleistyminen lisää mesisienituhoja. Sateiden ja talviaikaisten suojasäiden yleistyminen lisää todennäköisesti myös lukuisten kariste-, laikku- ja versotautien tuhoja, etenkin tiheissä puustoissa puulajista riippumatta.

Kesien lämpenemisen seurauksena tuhohyönteisistä esimerkiksi kirjanpainajalla (*Ips typographus*) voi kehittyä jopa kaksi sukupolvea yhden kasvukauden aikana, mikä lisää merkittävästi kuusen tuhoriskejä [8, 9]. Vuotuisen keskilämpötilan noustessa 3 astetta, toinen sukupolvi voi esiintyä jopa Kajaanin leveysasteelle. Myös mäntypistiäisten ja ytimennävertäjien aiheuttamien tuhojen oletetaan lisääntyvän männyllä kuivien ja lämpimien kesien yleistyessä. Talvien lauhtuminen lisää myös ruskomäntypistiäisen tuhoriskejä [9].

Myyrät ovat yksi merkittävimmistä tuholaisista metsäpuiden taimikoissa. Ilmastonmuutos voi lisätä niiden aiheuttamia tuhoja vaikuttamalla niiden kannanvaihteluun joko suoraan tai epäsuorasti ravintoverkon kautta. Toisaalta,



talvisen suojaavan lumipeitteen häviämisen myötä voi myyrien kannanvaihtelujen sykisyys myös kadota. Tällöin myyrätiheydet ovat nykyistä huomattavasti pienempiä ja tuhoja esiintyy vuosittain jonkin verran. Hirvi on tällä hetkellä merkittävin vahinkojen aiheuttaja männyn ja koivun taimikoissa, ja lienee jatkossakin, ellei sen kantaa vähennetä metsästyksellä. Talvien lauhtuminen, lumipeitteen ohentuminen ja lumipeitteisen ajan lyheneminen voi parantaa hirven lisäksi myös valkohäntä- ja metsäkauriin menestymistä jopa nykyistä pohjoisempaan [9].

## **Uusien taudin- ja tuhonaiheuttajien esiintymisriski lisääntyy**

Uusia taudin- ja tuhonaiheuttajia voi saapua ilmavirtausten mukana (tulokaslajit) sekä myös ulkomaisten taimien, puisten pakkausten ja puutavaran tuonnin myötä (vieraslajit). Ilmastonmuutos voi myös parantaa niiden elinedellytyksiä Suomessa (Taulukko 3.3). Uusia potentiaalisia taudinaiheuttajia ovat männyn patogeeni (*Sphaeropsis sapinea*) ja männyn ruskovyökariste [10].

Uusia potentiaalisia tuhohyönteisiä ovat havununna (*Lymantria monacha*) ja lehtinunna (*Lymantria dispar*), jotka voivat aiheuttaa tuhoja ainakin Etelä-Suomessa vuotuisen keskilämpötilan noustessa 1,4 °C astetta [11]. Myös tähtikudospistiäinen (*Acantholyda posticalis*) voi aiheuttaa joukkoesiintyminä vakavia tuhoja tulevaisuudessa kesäaikaisen kuivuuden yleistyessä [9]. Uudet vieraslajit voivat levitä nopeasti alueille, joissa luontaista vastustuskykyä ei ole kehittynyt. Tulokas- ja vieraslajien käyttäytymistä on hyvin vaikea ennakoida.

## **Luonnon monimuotoisuus talousmetsissä saattaa vähetä**

Ilmastonmuutos voi vaikuttaa metsien monimuotoisuuteen sekä suoraan että välillisesti [12, Taulukko 3.3]. Ilmastonmuutoksen seurauksena voivat esimerkiksi yksittäisten lajien ja kokonaisten kasvillisuusvyöhykkeiden levinneisyysalueet siirtyä pohjoisemmaksi. Toisaalta ilmastonmuutokset välilliset vaikutukset ovat todennäköisesti suurempia kuin suorat vaikutukset. Metsien tulevaan kasvuun ja mahdollisiin muutoksiin metsien rakenteessa (ikä- ja puulajisuhteet) vaikuttaa yhdessä ilmastonmuutos ja metsien hoito (harvennusten voimakkuus ja toistuvuus, kiertoaika). Metsänuudistamisen yhteydessä tehtävä maanmuokkaus (myös energiabiomassan korjuu) muuttaa ympäristöolosuhteita ja vaikuttaa näin eri kasvilajien menestymiseen. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa epäsuorasti myös metsämaan ravinteisuuteen nopeuttamalla typen mineralisaatiota, mikä edistää heinien ja ruohojen kasvua. Erilaisten häiriöiden seurauksena syntyvät uudet isot aukot metsissä mahdollistavat uusien lajien leviämisen uudistamisaloille.

Runsaasti siemeniä tai itiöitä tuottavat eteläiset pioneerilajit lienevät ensimmäisiä Suomeen levittäytyviä lajeja. Jos uudet lajit onnistuvat valtaamaan itselleen kasvutilaa, seurauksena saattaa olla kokonaan uudenlaisten kasviyhteisöjen kehittyminen. Esimerkiksi intensiivisen maanmuokkauksen ja/tai energiapuun korjuun seurauksena voi siemenpankin ja muualta tulleiden lajien osuus uuden kasvillisuuden synnyssä kasvaa. Intensiivinen hakkuutähteiden korjuu voi köyhdyttää maata ja vähentää typensuosijalajien kasvua. Usein hyötyjinä ovat karumpia kasvupaikkoja suosivat lajit. Tämä voi vaikuttaa sekä eri kasvinsyöjähyönteisten että hyönteissyöjälintujen menestymiseen.

Puunkorjuun intensiteetin ja energiabiomassan käytön lisääntyminen ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi voi vähentää järeän lahoppuun määrää metsissä, millä on haitallinen vaikutus monien uhanalaisen, lahoppuusta riippuvaisen lajiston kannalta [13]. Toisaalta myös pieniläpimittaisen puun ja kantojen sekä hakkuutähteiden korjuun lisääminen hakkuissa voi vaikuttaa haitallisesti niillä viihtyviin lajeihin. Nämä toimenpiteet voivat vähentää merkittävästi lahoppuun ja siitä riippuvaisten lajien elinympäristöjen määrää. Lisäksi kantojen ja hakkuutähteiden poisto voi vaikuttaa maaperäeliöstön koostumukseen ja toimintaan, maan lämpötilan ja kosteusolojen muuttuessa humuskerroksessa niille epäedulliseksi. Maaperän ominaisuuksien muuttuessa sienijuurten määrä voi vähetä, mikä voi vaikuttaa puiden ravinnonottoon ja kasvuun.

Taulukko 3.3. Ilmastomuutoksen odotettavissa olevat vaikutukset metsiin ja metsätalouteen sekä mahdolliset sopeutumistoimet, lyhyellä (2010-2039), keskipitkällä (2040-2069) ja pitkällä (2070-2099) aikajänteellä. Selitteet: lisääntyy vähän ↑, melko paljon ↑↑, huomattavasti ↑↑↑, ja vähenee vähän ↓, melko paljon ↓↓, huomattavasti ↓↓↓.

Edut:	2010-2039	2040-2069	2070-2099
Puuston kasvu	↑	↑↑	↑↑↑
Metsien hiilensidonta	↑	↑↑	↑↑
Hakkuupotentiaali	↑	↑↑	↑↑
Haitat:			
Kuusen kasvu	↓	↓↓	↓↓↓
Maan roudaton ajanjakso	↑	↑↑	↑↑↑
Metsien tuulituhoriski	↑	↑↑	↑↑↑
Metsien lumituhoriski	↑↓	↓↓	↓↓↓
Metsien metsäpalariski	↑	↑	↑↑
Kuusen kuivuustuhot (Etelä-Suomi)	↑	↑↑	↑↑↑
Hyönteistuhoriskit	↑	↑↑	↑↑↑
Sienitaudit	↑	↑↑	↑↑↑
Uudet tauti- ja tuholaislajit	↑	↑↑	↑↑↑
Metsien monimuotoisuus	↓	↓↓	↓↓↓
Puunkorjuulle soveltuvat olosuhteet	↓	↓↓	↓↓↓
Sopeutumistoimen tarpeellisuus:			
Huolellinen puulaji- ja alkuperävalinta kasvupaikkatyypin (maalajin) mukaan	↑	↑↑	↑↑↑
Metsien hiilensidonnän lisääminen	↑	↑↑	↑↑↑
Tuhoriskien huomioiminen metsänhoidossa	↑	↑↑	↑↑↑
Metsähygieniasta huolehtiminen	↑	↑↑	↑↑↑
Metsien monimuotoisuuden turvaaminen	↑	↑↑	↑↑↑
Metsäbiomassan hyödyntämisen lisääminen energiatuotannossa ja puutuotteissa	↑	↑↑	↑↑↑
Puunkorjuun kehittäminen	↑	↑↑	↑↑↑

Taulukossa 3.3. esitettyjen tietojen pohjana ovat mallilaskelmat on tehty pääosin FINADAPT A2 ilmastoskenaarioiden ajanjaksoille 1990–2020; 2021–2050 ja 2070–2099, jonka mukaan ilmahan CO<sub>2</sub> pitoisuus nousee 840 ppm:än ja vuoden keskilämpötila nousee Suomessa 5 °C vuoteen 2100 mennessä. Lämpötila nousee vähemmän kesällä kuin talvella. Myös vuotuinen sadanta lisääntyy enemmän talvella (vähintään 20 %) kuin kesällä vuoteen 2100 mennessä (keskimäärin 14 %). Vastaavasti vuoden keskilämpötila nousee noin 2 °C Suomessa vuoteen 2050 mennessä, vuotuisen sadannan lisääntyessä samanaikaisesti noin 6 %. Uusimman ACCLIM-skenaarioiden [14] mukaan vuotuinen keskilämpötila ja sadanta nousevat lähes samalla tavalla Suomessa vuoteen 2100 mennessä kuin FINADAPT- skenaariossa, mutta talvella sateisuus lisääntyy vähemmän kuin FINADAPT A2-skenaariossa ja vastaavasti jonkin verran enemmän kesällä. ACCLIM-ilmastoskenaariot on tehty taulukossa esitetyille jaksoille.

## Metsien hoidon tarve lisääntyy

Ilmastonmuutos lisää metsien hoidon tarvetta, jotta puustot säilyvät elinvoimaisina ja vastustuskykyisinä eri tuhoja vastaan (Taulukko 3.3). Metsänuudistamisessa on huomioitava nykyistä paremmin eri puulajien ja taimialkuperien ilmasto-, kasvupaikka- ja maalajivaatimukset (oikea puulaji/alkuperävalinta ja uudistamistapa). Ilmastoon sopeutuneen jalostetun materiaalin käytön avulla on mahdollista reagoida nopeammin ilmastonmuutokseen kuin metsiköistä kerättyä siementä käyttäen [15].

Kuusen istutusta liian vähäravinteisille ja kuiville kasvupaikoille tulisi välttää. Kuusella tulisi käyttää myös paremmin kuivuutta sietäviä alkuperiä varsinkin hyvin vettä läpäisevillä aloilla. Toisaalta myös luontaisen uudistamisen käyttö männyllä sille soveltuvilla kasvupaikkatyypeillä, kuivahkoilla ja sitä karummilla kankailla, parantaa puuston kasvuedellytyksiä tulevaisuudessa, koska luontainen taimiaines edustaa laajaa geneettistä vaihtelua ja luontaisen uudistamisen edellytykset paranevat ilmaston lämmetessä. Riippumatta uudistamistavasta, riittävä maanmuokkaus takaa nopeamman taimien alkukehityksen. Taimikonhoidon tarve korostuu havupuutaimikoissa, koska lehtipuiden lisäksi myös muu kasvillisuus hyötyy ilmaston lämpenemisestä. Hoidettu taimikko on myös kestävämpi erilaisille tuhoille. Puuston lisääntyvä kasvu edellyttää myös, että puuston harvennuksia tehdään nykyistä useammin ja/tai voimakkaampina, jotta saadaan lisääntyvä kasvu talteen. Tämä mahdollistaa myös nykyistä lyhyemmän kiertoajan käytön.

Tehostamalla metsien hiilensidontaa ja lisäämällä hiilivarastoja metsissä ja puutuotteissa voitaneen myös hillitä ilmastonmuutosta (Taulukko 3.3). Kaiken kaikkiaan ilmastonmuutokseen sopeutumistoimien tarve voi olla hyvin erilainen lyhyellä, keskipitkällä ja/tai pidemmällä aikavälillä ja vaihdella paljonkin riippuen myös alueesta.

## Tarve huomioida lisääntyvät tuhoriskit metsien hoidossa korostuu tulevaisuudessa

Hakkuiden mahdollinen lisääntyminen ilmaston lämmetessä lisää erilaisia tuhoriskejä, joiden huomioiminen on tärkeää metsänhoidossa, metsäsuunnittelussa ja puunkorjuussa (Taulukko 3.3). Esimerkiksi juurikäävän torjuntaa tulisi tehostaa. Uusien avohakkuualojen teko varttuneiden puustojen viereen lisää puuston tuuli-tuhoriskejä [5]. Eritoten varttuneet kuusikot, mutta myös juuri harvennetut puustot ovat alttiita tuulituhoille puulajista riippumatta. Kovien tuulien ja suurten lumenkertymien toistuvuusriskin, vallitsevan tuulensuunnan sekä maan roudattomuuden huomioiminen metsäsuunnittelussa edistävät tuhoriskien hallintaa [16, 17].

Taimikonhoidon ja harvennusten tekeminen ajallaan parantaa puuston tuuli- että lumituhonkestävyyttä. Liikatiheydestä kärsineet nuoret kasvatusmetsiköt ovat harvennuksen jälkeen alttiita lumituhoille. Liian suuri varhaiskasvatustiheys, taimikonhoidon laiminlyönti ja nuorten kasvatusmetsien ensiharvennusrästit voivat lisätä metsien tuuli- ja lumituhoriskejä tulevaisuudessa.

Hyvä metsähygieniä ja puunkorjuuvaurioiden ehkäiseminen vähentävät osaltaan mm. kirjanpainajien, ytimennävertäjien ja juurikäävän aiheuttamia tuhoriskejä (Taulukko 3.3). Lahopuun väheneminen on keskeisin yksittäinen talousmetsien monimuotoisuutta vähentävä tekijä. Puunkorjuun haittavaikutukset luonnon monimuotoisuuteen tulee minimoida jättämällä riittävä määrä järeää ja pieniläpimittaista lahoppua sekä hakkuutähteitä uudistamisaloille.

Puulajistoltaan monipuolinen metsä ei ole myöskään yhtä altis yksittäisille tuhoniheuttajille kuin laajat yhden puulajin metsäalueet. Tällä hetkellä uudistettavan puulajin valintaa ohjaa kasvupaikkatekijöiden lisäksi alueiden hirvieläinkanta. Esimerkiksi kuusta uudistetaan osittain liian vähäravinteisilla ja vettä heikosti pidätyvillä kasvupaikkatyypeillä, jotka soveltuvat paremmin männyyn kasvatukseen. Hirvieläinkantojen suuruutta olisikin säädeltävä riittävästi eri osissa maata, jotta eri puulajeja voidaan uudistaa niille parhaiten soveltuvilla kasvupaikkatyypeille.

## **Metsien terveydentilan seurannan tarve lisääntyy tulevaisuudessa**

Monipuolinen metsien terveydentilan seuranta on tulevaisuudessa myös tärkeää, jotta ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset metsiin voidaan havaita ajoissa ja syy-seuraussuhteet ymmärtää. Ajantasainen riittävä perustieto taudeista, tuholaisista ja puiden kunnosta mahdollistaa nopeatkin korjaustoimet metsänhoidossa, millä voidaan vähentää metsätuhojen haittoja metsätaloudelle. Koska uusien taudinaiheuttajien ja tuholaisien havaitseminen on tuontitaimista erittäin vaikeaa, tulisi vakavasti harkita taimi- ja koristekasvikaupan merkittävää rajoittamista.

## **Metsänomistajuus kannattaa myös tulevaisuudessa, vaikka riskit lisääntyvät**

Tähän mennessä tehtyjen alustavien selvitysten perusteella [1, 18] ei ole mahdollista arvioida luotettavasti ilmastonmuutoksen kokonaistaloudellisia vaikutuksia suomalaiseen metsätalouteen eikä vastaavasti ilmastonmuutokseen sopeutumisesta aiheutuvia kustannuksia. Tehdyissä laskelmissa on myös optimistisesti oletettu että ilmastonmuutoksen ja puuston kasvun lisääntymisen seurauksena lisääntyvä hakkuupotentiaali myös vastaavasti hyödynnetään metsäteollisuudessa [1, 18].

Todellisuudessa hakkuuiden toteutuminen määrättyä sekä metsänomistajien puunmyyntihalukkuuden että metsäteollisuuden puuraaka-aineen ostohalukkuuden tuloksena [18], ja toteuma onkin ollut tähän mennessä selvästi alhaisempi kuin hakkuupotentiaali. Aiemmissa laskelmissa on myös oletettu, että metsäsektorin kustannusrakenne ja yksikköhinnat pysyvät samoina koko 2100-luvun, eikä niissä ole huomioitu mahdollisia ilmastonmuutokseen sopeutumisesta aiheutuvia kustannuksia.

On kuitenkin todennäköistä, että ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntyvät metsien kasvu ja hakkuupotentiaali parantavat myös metsänomistajuuden kannattavuutta Suomessa. Toisaalta siihen vaikuttaa myös puuraaka-aineen kysynnän ja hinnan kehitys [19]. Euroopassa käytetään metsien kasvusta metsäteollisuuden raaka-aineeksi ja energiaksi tällä hetkellä alle 70 % [20]. Jos metsien kasvun parantuminen lisää merkittävästi puun tarjontaa, voi se myös vaikuttaa alentavasti puuraaka-aineen hintaan [21]. Lisäksi ilmaston lämmetessä puunkorjuun edellytykset voivat heikentyä maan routaisuuden vähentyessä, mikä lisää korjuukustannuksia [18] ja voi täten vaikuttaa raaka-aineesta maksettavaan hintaan [18].

Ilmastonmuutoksen hillintään liittyvät tavoitteet edistää puurakentamista ja lisätä uusiutuvien energiamuotojen (esim. metsäbiomassan) käyttöä voivat kuitenkin mahdollistaa sen, että myös metsien lisääntyvälle puun tuotokselle löytyy tulevaisuudessa kysyntää. Myös kokonaan uusien metsiin perustuvien tuotteiden kehittämiseen kohdistuu odotuksia. Tulevaisuudessa metsänomistajille voidaan ehkä jopa maksaa taloudellista tukeakin metsien tehokkaasta hiilensidonnasta tai hiilenvaroituksesta. Kansainvälinen ilmastopolitiikka kotimaisen metsä- ja energiapolitiikan ohella vaikuttaa kuitenkin siihen, miten keskenään osin ristiriitaisetkin tavoitteet metsien ja puutuotteiden käytöstä toisaalta hiilinieluna ja toisaalta substituutteina fossiilisille polttoaineille tai energiantensiivisille tuotteille lopulta voidaan sovittaa yhteen.

Erilaiset tuhoriskit lisäävät myös metsänomistajuuteen liittyviä riskejä. Mikäli tuhojen todennäköisyydet erilaisille metsille ja niiden hoitomuodoille voidaan riittävän tarkasti arvioida riittävän pitkällä aikajänteellä, voidaan ne ainakin jossain määrin ottaa huomioon taloudellisissa laskelmissa. Metsiä voidaan myös vakuuttaa erilaisia tuhoriskejä vastaan. Toisaalta esimerkiksi tuulituhoriskien huomioon ottaminen metsänhoidossa ja metsäsuunnittelussa ei välttämättä heikennä hakkuumahdollisuuksia ja metsänkasvatuksen kannattavuutta [16, 17]. Metsänomistajien sopeutumis- ja riskienhallintatoimet voivat vaikuttaa myös metsien hoitoon ja siten metsästä saataviin tuloihin, metsänomistajien muiden metsänkäytön tavoitteiden lisäksi. Eri sopeutumiskeinojen taloudellista tehokkuutta ja niiden vaikutusta tuhoriskeihin sekä niiden taloudellisiin vaikutuksiin ei ole Suomessa vielä tutkittu.

## Jatkotutkimustarpeita

Metsätaloudessa on panostettava vaihtelevaan ilmastoon sopeutuvan ja viljelyvarman metsänviljelymateriaalin tutkimukseen ja tuottamiseen sekä eri riskitekijöiden biologiseen ja taloudelliseen hallintaan. Ilmastonmuutoksen ekosysteemitason vaikutuksista ja tarvittavista sopeutumistoimista tarvitaan lisätutkimusta. Myös eliöryhmien keskinäinen vuorovaikutus eri ekosysteemeissä tunnetaan huonosti.

Monipuolinen metsien terveydentilan tutkimus ja seuranta ovat ensiarvoisen tärkeitä, jotta ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset metsiin voidaan todeta mahdollisimman varhain ja syy-seuraussuhteet ymmärtää. Ajantasainen riittävä perustieto taudeista, tuholaisista ja puiden kunnosta on edellytys nopeille korjaustoimille metsänhoidossa, jotta metsätuhojen haitat metsätaloudelle ja ympäristölle voidaan minimoida. Lähivuosina on tarve lisätä tutkimusta siitä, miten ilmastonmuutokseen voidaan sopeutua metsätaloudessa niin, että kyetään hyödyntämään mahdollisimman hyvin sen positiiviset vaikutukset ja vähentämään haitallisia vaikutuksia, sekä samalla osallistumaan ilmastonmuutoksen hillitsemiseen.

## Viitteet

1. Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K. T. & Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363(1501):2341-2351.
2. Gregow, H., Ruosteenoja, K., Pimenoff, N. & Jylhä, K. 2011b. Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. *International Journal of Climatology*. Painossa.
3. Kellomäki, S., Maajärvi, M., Strandman, H., Kilpeläinen, A. & Peltola, H. 2010. Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica* 44(2):213-233.
4. Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venäläinen, A. 2011a. Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica* 45(1): 35-54.
5. Peltola, H., Ikonen, V-P., Gregow, H., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Venäläinen, A. & Kellomäki, S. 2010. Impacts of climate change on timber production and regional risks of wind-induced damage to forests in Finland. *Forest Ecology and Management* 260(5):833-845.
6. Kilpeläinen, A., Gregow, H., Strandman, H., Kellomäki, S., Venäläinen, A. & Peltola, H. 2010a. Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland. *Climatic Change* 99(1-2):193-209.
7. Kilpeläinen A., Kellomäki, S., Strandman, H. & Venäläinen, A. 2010b. Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climatic Change* 103:383-398.
8. Pouttu, A. & Annala, E. 2010. Kirjanpainajalla kaksi sukupolvea kesällä 2010. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 521–523.
9. Müller, M., Hantula, J., Henttonen, H., Huitu, O., Kaitera, J., Matala, J., Neuvonen, S., Piri, T., Sievänen, R., Viiri, H. & Vuorinen, M. 2012. Metsien terveys. Käsikirjoitus julkaisuun 'Suomen metsät energia-

- ja hiilitaloudessa'. METLAN BIO- ja MIL-ohjelmien synteesiraportti.
10. Lilja, A., Hantula, J., Rytkönen, A., Müller, M.M. & Pouttu, A. 2009. Vieraslajit, jotka voivat olla uhka tulevaisuudessa. *Taimiuutiset* 2/2009: 19-21.
  11. Vanhanen, H, Veteli TO, Päivinen S, Kellomäki, S. & Niemelä P. 2007. Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth (*Lymantria dispar*) and nun moth (*L. monacha*) - a model study. *Silva Fennica* 41: 621-638.
  12. Vapaavuori, E., Pulkkinen, P., Haapanen, M., Helmisaari, H.-S., Ilvesniemi, H., Korpela, L., Kubin, E., Leppälampi-Kujansuu, J., Mikkola, K., Pasanen, J., Poikolainen, J., Rautio, P., Repo, T., Roitto, M., Roussi, M., Salemaa, M., Tamminen, M., Tamminen, P., Tonteri, T. & Varis, S. 2012. Metsäpuiden ja -kasvien sopeutuminen nyt ja tulevaisuudessa. Käsikirjoitus julkaisuun 'Suomen metsät energia- ja hiilitaloudessa'. METLAN BIO- ja MIL-ohjelmien synteesiraportti.
  13. Siitonen, J. 2012. Metsien monimuotoisuus. Käsikirjoitus julkaisuun 'Suomen metsät energia- ja hiilitaloudessa'. METLAN BIO- ja MIL-ohjelmien synteesiraportti.
  14. Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. The changing climate in Finland: Estimates for adaptation studies. ACCLIM project report 2009. Reports 2009:4. Finnish Meteorological Institute, in Finnish with English abstract and figure and table captions. 102 p.
  15. MMM, 1/2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumistrategia.
  16. Zeng, H., Pukkala, T. & Peltola, H. 2007. The use of heuristic optimization in risk management of wind damage in forest planning. *Forest Ecology and Management* 241:189-199.
  17. Heinonen, T., Pukkala, T., Ikonen, V-P., Peltola, H., Gregow, H. & Venäläinen, A. 2011. Consideration of strong winds, their directional distribution and snow loading in wind risk assessment related to landscape level forest planning. *Forest Ecology and Management* 261(3):710-719.
  18. Perrels, A., Rajala, R. & Honkatukia, J. 2005. Appraising the socio-economic impacts of climate change from Finland. *FinAdapt Working Paper* 12. Finnish Environment Institute Mimeographs 342, Helsinki, 30 pp.
  19. Mäkipää, R., Linkosalo, T., Niinimäki, S., Komarov, A., Bykhovets, S., Tahvonen, O. & Mäkelä, A. 2011. How forest management and climate change affect the carbon sequestration of a Norway spruce stand. *Journal of Forest Planning* 16: 107–120.
  20. Lauri, P. Kallio, A.M.I. & Schneider, U.A. 2011. Price of CO2 emissions and use of wood in Europe, *Forest Policy and Economics*, painossa.
  21. Solberg, B., Moiseyev, A. & Kallio, A.M.I. 2003. Economic impacts of accelerating forest growth in Europe. *Forest Policy and Economics* 5(2): 157–171.

### 3.1.3 Kalasto, kalakannat ja kalastus sekä niiden sopeutuminen ilmaston muuttuessa

Lauri Urho

*Kalakantojen reagointi lämpötilan muutoksiin näkyy kalansaaliissa usein joidenkin vuosien viiveellä lajista riippuen. Kasvunopeuden esimerkiksi kuhalla ja ahvenella arvioidaan kasvavan lämpenemisen ansiosta. Toisaalta kylmää vettä tarvitsevat lajit, joihin useimmat uhanalaiset kalalajit kuuluvat, ovat tiukoilla. Taimenen arvellaan tulevaisuudessa kärsivän korkeista kesälämpötiloista ja vähäisistä virtaamista kutuajoissa. Lämpimät talvet yhdessä rehevöitymisen kanssa ovat ilmeinen syy vähentyneisiin made- ja siikasaaliisiin. Ammattikalastuksen hyödynnettävissä olevien kalavarojen taloudellinen arvo näyttää vähenevän. Itämeressä ympäristömuutokset ratkaisevat kehityssuunnan rannikon kalakannoissa ja jäätilanne vaikuttaa talvikalastukseen. Ilmastonmuutoksen vaikutusten ennustaminen kalakannoissa pitkälle eteenpäin on epävarmaa ja onkin oleellista seurata vaikutuksia kalakannoissa ja saaliissa ilmastonmuutoksen näkökulmasta, sekä vieraslajien levinneisyydessä ja runsaudessa. Ilmaston lämpenemisen myötä vieraslajeja on asettunut rannikkovesiin kiihtyvää tahtia aiheuttaen kilpailua ja syrjäyttäen alkuperäisiä lajeja. Sopeutuminen ilmastonmuutokseen vaatii ajan tasalla olevaa ymmärrystä siitä mitä on tapahtunut ja tapahtumassa. Kalastus on jo osin sopeutunut joihinkin ilmaston aiheuttamiin muutoksiin, mutta vielä on runsaasti haasteita, joista yksi keskeinen on kalojen käyttäytymisessä tapahtuvat muutokset. Kalastustapojen ja -paikkojen muutos on välttämätöntä saalistason palauttamiseksi ja eräiden kalalajien istutuksia tulisi myös kohdistaa uudelleen.*

Lämpimämpiä kausia on ollut aikaisemminkin, mutta viimeisen 20 vuoden aikana lämpeneminen on ollut yllättävän nopeaa. Ilmastonmuutoksen ja siihen liittyvien muuttujien, kuten kesän ja talven lämpötilojen, jääpeitteisyyden, tuulisuuden, suolapitoisuuden, virtaamien ja rehevöitymisen, vaikutuksia kalakantoihin ja saaliisiin on aika ajoin arvioitu ja on havaittu selkeitä yhteyksiä ilmastotekijöihin.

Kalat reagoivat jo melko pieniin ja lyhyempiaikaisiin muutoksiin muun muassa lämpötiloissa muuttamalla käyttäytymistä, ravinnonottoa, vaelluksia ja olinpaikkojaan. Jos muutokset ovat riittävän suuria, niin näistä seuraa muutoksia lisääntymisessä, kasvussa, yhteisöissä, jopa eloonjäännissä ja kuolleisuudessa sekä levinneisyydessä. Kalakantamuutokset tapahtuvat yleensä lisääntymisessä tapahtuvien muutosten kautta, missä keskeisiä ovat kutuvaellukset, kudun ja kuoriutumisen ajoittuminen, mädin ja poikasten eloonjäanti. Saalis-  
muutokset ovat seurausta useista tekijöistä, joista keskeisin on muutokset kalakannoissa.

Viimeisen 30 vuoden aikana usean kalalajin saaliit ovat merkittävästi muuttuneet, ja lämpötilalla on ollut tässä keskeinen merkitys. Tulevia muutossuuntia voi jonkin verran ennustaa, mutta kymmeniä vuosia eteenpäin tehdyt ennusteet ovat erittäin epävarmoja johtuen ekosysteemin sisäisestä herkkyydestä ja taustamuuttujien heikosta ennustettavuudesta.

#### **Mahdollisia muutoksia sisävesien kalakannoissa ja kalastuksessa**

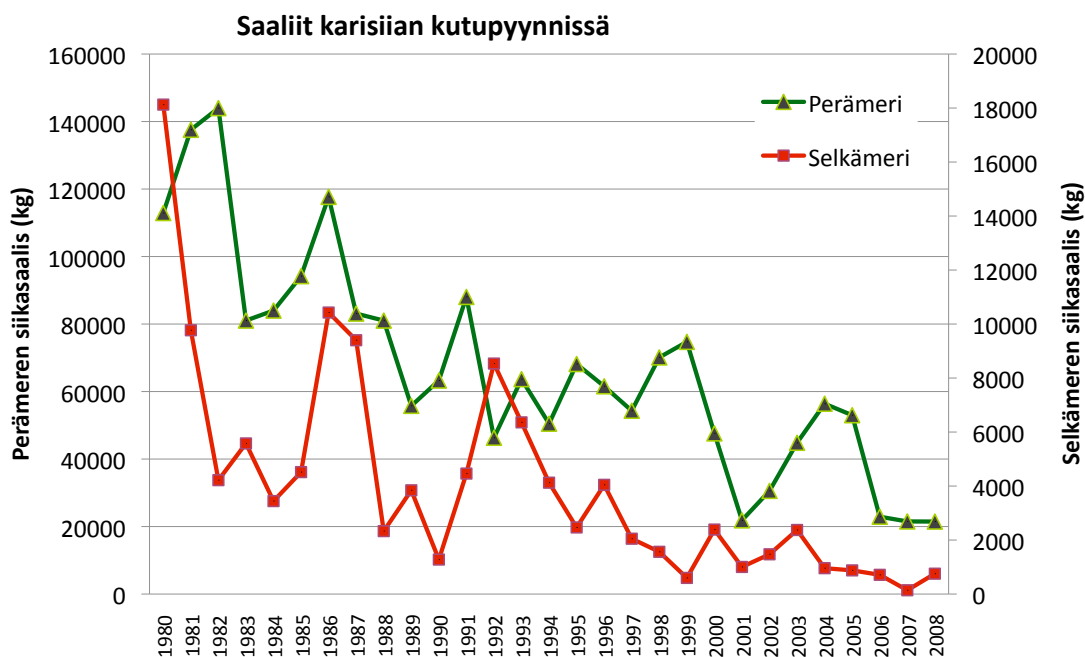
Laboratoriokokeiden ja mallintamisen avulla on päätelty sisävesien tärkeiden kalalajien kuten muikun ja siian kuoriutumisen aikaistuvan parilla viikolla, millä on vaikutuksia poikasten selviytymiseen [1]. Samassa tutki-

muksessa arvioitiin kuhan ja ahvenen kasvunopeuden lisääntyvän lämpenemisen ansiosta siten, että nykyisin kuudessa vuodessa noin kilon painoiseksi tuleva kuha voisi vuosisadan loppupuolella saavuttaa samassa ajassa 1,8 kg painon. Samoin kuhanpoikasten selviytyminen ensimmäisestä talvesta paransi kasvukauden pidentyessä.

Taimenen arvellaan tulevaisuudessa kärsivän korkeista kesälämpötiloista, kun puroissa ja joissa elävän taimenen nuoruusvaiheen lämmönsietoraja ylittyy, kasvu heikkenee ja kuolleisuus lisääntyy [1]. Jo nyt on havaittu taimenten kesäaikaista kuolleisuutta eräissä joissa [2]. Eräinä 2000-luvun vuosina veden vähäinen virtaama on myös hankaloittanut ja osin estänyt taimenten ja muidenkin vaelluskalojen pääsyä kutupaikoille. Lisäntymisalueiden koko on veden vähäisyyden takia myös ollut pieni. Useampana vuonna on siksi havaittu niukasti poikasia.

### Ympäristönmuutokset Itämeressä ratkaisevat vaikutusten kehityssuunnan rannikon kalakannoissa

Viimeisen neljännesvuosisadan kuluessa havaittu talvilämpötilan nousu Itämeressä on yhdessä rehevyyden lisääntymisen ohella ilmeisin syy made- ja siikasaaliiden merkittävään pienenemiseen huolimatta runsaista siikaistutuksista (Kuva 3.1) [3].



Kuva 3.1. Ammattikalastajien karisiian kutupyynnissä saamat siikasaaliit Perämerellä ja Selkämerellä vuosina 1980–2008. Siikasaaliiden vähenemiseen on useita syitä, yksi keskeisimmistä on lämpötilojen kohoaminen.

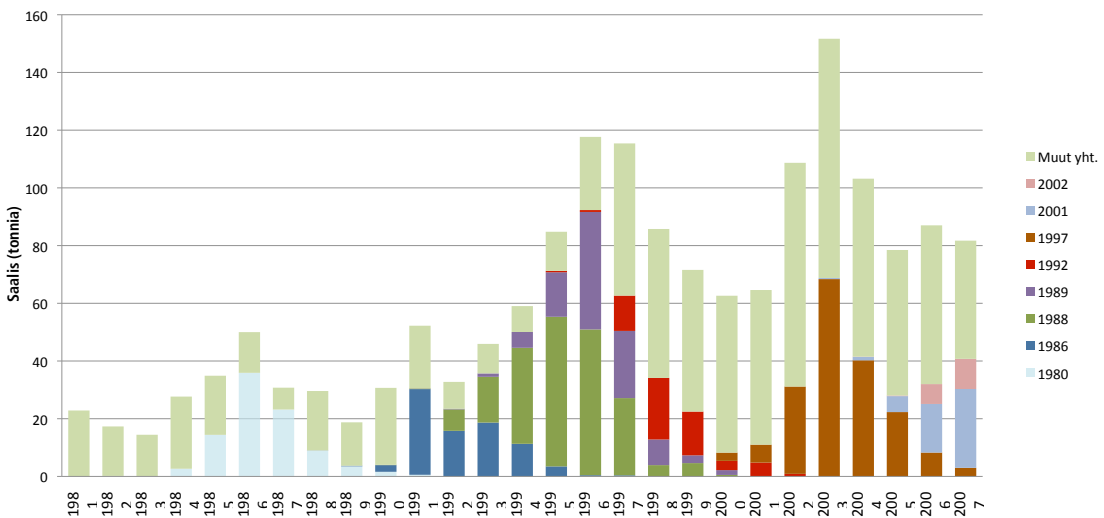


Meressä lämpötilan nousu on ollut selkeintä syystalvella. Niin haudontakokeissa kuin luonnossakin kuoriutuneiden siianpoikasten määrä oli eteläisimmillä alueilla vähäinen [4]. Istutuksilla on vain osin pystytty kompensoimaan siian luontaisen lisääntymisen heikkenemistä Etelä-Suomen rannikkoalueilla. Ilmaston lämpenemisen jatkuminen tulee entisestään vaikeuttamaan useimpien kylmää tai viileää vettä vaativien lohikalajien elinmahdollisuuksia istutuksista huolimatta. Valtaosa näistä lajeista on jo nyt luokiteltu uhanalaisiksi [5]. Kantojen heikkoa tilaa voidaan yrittää elvyttää kalastuksen ohjauksella, kalajen nousumahdollisuuksia parantamalla ja lisääntymisalueita kunnostamalla.

Toisaalta lämpimät talvet näyttäisivät olevan edullisia muun muassa kilohailille [6]. Viime aikoina onkin ollut lukuisia hyviä kilohailivuosisiluokkia, joista on saatu hyvin saalista, noin 15 000–25 000 tonnia vuodessa [3]. Merialueemme runsain saaliskala, silakka, jota kalastetaan noin 90 000 tonnia vuodessa, on ainakin pitkän kutuaikansa avulla sopeutunut ilmastonmuutoksiin. Silakan kutua esiintyy huhtikuulta marraskuulle, mutta pääajankohtien mukaan puhutaan syys- ja kevätkutuisista silakoista. Kevätkutuihin silakka usein tuottaa hyvän vuosiluokan ankaraa talvea seuraavana kesänä, ja syyskutuihin silakka puolestaan on usein tuottanut runsaampia vuosiluokkia leudompina talvien jälkeen [7]. Suomen rannikolla kevätkutuihin silakka on pitkään muodostanut pääosan saaliista. Edellä esitetyn perusteella tulevaisuudessa pitäisi esiintyä myös runsaampia syysilakan vuosiluokkia.

Viime vuosikymmenten lämpötilojen nousu ja jääpeitteisyyden väheneminen on selkeä kehityssuunta, vaikka talvet 2009–2010 ja 2010–2011 ovatkin olleet tästä poikkeavan perinteisiä. Jo nyt havaittu 0,8–0,9 asteen nousu kutualueiden veden kesälämpötiloissa 1980-luvulta seuraaville vuosikymmenille tuotti laskelmien mukaan 10 tonnia suuremman kuhasaaliin, ja samalla myös kuhan kalastusalue laajeni Suomenlahdella ja etenkin Selkämerellä [8,3,9]. Jos kesät pysyvät lämpiminä, niin hyviä kuhasaaliita voi odottaa jatkossakin. Lämpimät kesät tuottavat hyviä kuhavuosisiluokkia ja niistä saadaan parhaimmat saaliit (kuva 3.2).

### Suomenlahden ammattikalastajien kuhasaaliit



Kuva 3.2. Suomenlahden ammattikalastajien kuhasaaliin kehitys ja voimakkaiden vuosiluokkien osuudet siinä vuosina 1981–2007. Vuosisiluokkaa 1997 saatiin jo 3-vuotiaana vuonna 2000 ja vielä kymmenvuotiainkin (ruskeat pylväät).

Vaikka myös hyvät ahvenen vuosiluokat ovat saaneet alkunsa lämpiminä kesinä, niin saaliiden ennustaminen pidemmälle aikajaksolle on epävarmaa, sillä esimerkiksi hyvät kuhavuosisuorat voivat verottaa nyt runsaina esiintyviä nuoria ahvenia [3].

Monet keväällä ja kesällä kutevat särkikalat näyttävät hyötyvän ilmaston lämpenemisestä. Vielä ei ole selvää pystymmekö hyödyntämään runsastuvia särkikalakantoja. Käyntiin lähtenyt särkikalajien ammattikalastus myös merialueella on esimerkki hyödyntämismahdollisuuksista. Särkikalajien lisääntymistä rajoittavat lämpötilan ohella rannikollamme suolapitoisuus ja mahdollisesti jääpeitteen kesto sekä jokien kevätvirtaumat [10].

Meriekosysteemi reagoi osin hyvin nopeasti suolapitoisuuden muutoksiin. Tästä osoituksena ovat Atlantilta Itämereen tulleet harvinaisemmat valtameren kalavierailijat, kun suolapitoisuus on kohonnut [11]. Kampe-lasaaliiden on todettu jonkin ajan kuluttua paranevan, kun suolapitoisuus ja happipitoisuus kasvavat [12]. Kampelan lisääntyminen vaatii tietyn suolapitoisuuden eikä pohjan läheinen happitilanne saa olla heikko. Meillä paljon pienentyneiden kampelasaaliiden [3] tapauksessa voi siis olla toivoa paremmasta ainakin ajoit-tain vielä lähivuosikymmeninä. Eteläisellä Itämerellä lämpimämpinä aikoina yleistyneet lajit voivat ulottaa vaelluksiaan rannikollemme asti, joten jopa atlanttiset lajit kuten miekkakalat, keltit, makrillit tai sardellit ovat hyvin mahdollisia yksittäisinä saaliskaloina meilläkin [3,13]. Kun tarkastellaan muutoksia sadan vuoden ajan-jaksolla, suolaista vettä vaativat lajit vetäytyvät etelämmäksi, jos useiden skenaarioiden mukainen sadannan lisääntyminen ja suolapitoisuuden lasku toteutuvat [14].

Aasiasta ja Mustaltamereltä peräisin olevien vieraslajien asettuminen Itämereen helpottuu ilmaston lämpe-nemisen myötä. Hopearuutana ja mustatäplätokko ovat jo nyt vakiintuneet meillekin ja levittäytyvät pitkin rannikkoa [15,16,3]. Selkärangattomien vieraslajien kirjo on huomattavasti suurempi, ja muutoksia Itämeren ekosysteemissä on odotettavissa kiihtyvään tahtiin [17]. Ravintovarot jakautuvat jatkossa mahdollisesti toisin kuin nykyisin. Muutoksia lajistossa, lajien levinneisyydessä ja runsaudessa tulisi seurata tiiviisti.

Pidemmälle menevät skenaariot vesiekosysteemeissä sisältävät paljon epävarmuutta. Erittäin oleellista olisi seurata vaikutuksia kalakannoissa ja saaliissa ilmastonmuutoksen näkökulmasta. Sopeutuminen ilmaston-muutokseen vaatii ajan tasalla olevaa ymmärrystä siitä mitä on tapahtunut ja tapahtumassa. Sopeutumisenä-kökulma 5–10 vuoden kuluttua voi jo olla täysin erilainen. Varsinkin talvilämpötilojen kohoaminen muuttaisi radikaalisti kalakantoja ja kalastusta skenaarioissa, joissa vuosikeskilämpötila kohoaa 4-6 astetta vuosisadan loppuun mennessä.

## **Muutoksia kalastuksessa**

Suomen merialueen ammattikalastajien määrä on vähentynyt noin puoleen parin viimeisen vuosikymmenen aikana. Pyynti ei kuitenkaan ole laskenut samassa suhteessa. Lisääntynyt hyljekanta on myös vaikeuttanut kalastusta. Kalojen käyttäytymisessä on tapahtunut muutoksia, mikä hankaloittaa erityisesti perinteisillä paikoilla ja aikoina tapahtuvaa ammattikalastusta. Viimeisten vuosikymmenien aikana ammattikalastuksen saaliin ajoittuminen eri kuukausille on jo muuttunut joidenkin lajien tapauksessa [3] ja tulevaisuudessa muu-tospaineita tulee lisää sekä ajallisesti että pyyntipaikkojen suhteen. Näihin uusiin haasteisiin kalastajien on sopeuduttava saadakseen saalista.

## **Sopeutuminen on jo käynnissä**

Sopeutuminen ilmastonmuutokseen vaatii ymmärrystä siitä mitä on tapahtunut ja tapahtumassa. Lohikalajien taantuessa ahven- ja särkikalavaltaisemmiksi muuttuvissa kalayhteisöissä ammattikalastuksen hyödynnettä-vissä olevien kalavarojen taloudellinen arvo vähenee [1,3]. Mikäli harppauskerros painuu lämpiminä kesinä

syvemmälle, muikun ja siian troolauus tulee olemaan vaikeampaa [1]. Kalatalouselinkeino on jo joutunut sopeutumaan kalakantojen ja olosuhteiden muutoksiin, sillä esimerkiksi muikkukannat vaihtelevat hyvin voimakkaasti. Sopeutumiskeinoina ovat olleet pyydettävän kalalajin tai kalastuskohteen vaihtaminen. Myytäväksi kelpaamaton sivusaalis aiheuttaa lisäkuluja ja vähentää kalastuksen kannattavuutta [1].

Jääpeitteisen ajan lyheneminen syksyllä pidentää troolauuskautta, mutta toisaalta perinteisen talvinuottauksen harjoittaminen vaikeutuu. Lauhojen talvien aiheuttamia haittoja ja vaikutuksia kalakantoihin on jo havaittavissa esimerkiksi Säkylän Pyhäjärvellä [1]. Jääpeitteen heikkeneminen ja pitkään jatkuva heikon jään vaihe vaikeuttaa ja saattaa ajoittain estää paitsi ammattikalastusta niin myös vapaa-ajankalastusta. Pääasiassa talvella tapahtuva mateen kalastus on muutamina vuosina ollut Etelä-Suomessa vaikeaa. Heikoilla jäillä liikkuminen lisää riskiä menettää kalustoa ja ihmishenkiä. Jo 3-4 asteen keskilämpötilan nousun seurauksena talvikalastus tulisi muuttumaan varsin paljon.

Muutokset luonnon kalakannoissa tulisi entistä tarkemmin ottaa huomioon suunniteltaessa muutoksia viljelylajeihin ja niiden tuotantomääriin. Kylmänveden lajien viljelyssä kesäinen vedenlaadun turvaaminen voi lisätä haasteita osalle laitoksista. Vesien lämpeneminen vaikuttaa myös kalatautien ja -loisten esiintymiseen. Myös tulokas- ja vieraslajien mukanaan tuomat loiset tai taudit voivat lisääntyä. Tästä esimerkkinä on mustina täplinä luonnon särkikaloissa ilmenevä haikaraimumato, joka havaittiin Suomessa ensimmäisen kerran vuonna 1997 [18].

### **Jatkotutkimustarpeita ja sopeutumistoimia**

Oleellista on seurata tiiviisti nimenomaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia kalakantoihin ja saaliskehitykseen, sekä vieraslajien esiintymisen ja runsauden muutoksia. Vaaravyöhykkeessä ovat erityisesti kylmää vettä tarvitsevat lajit, joista suuri osa on jo nyt uhanalaisia. Niiden heikentynyttä tilannetta tulee erityisesti elvyttää muiden uhkatekijöiden varalta; vähentämällä alamittaisiin kohdistuvaa kalastusta ja parantamalla kutujokien vedenlaatua sekä kalojen mahdollisuuksia nousta kudulle. Kalastuksen ohjaustarve kasvaa. Kalanistutuksia tulisi kohdistaa uudelleen ja saalistason palauttamiseksi on osin välttämätöntä muuttaa kalastustapoja ja -paikkoja eräiden lajien tapauksessa. Tulokaslajien ja levittäytyvien lajien hyödyntämiseen tulee panostaa. Vieraslajien yleistymisen ja runsastumisen vaikutuksia alkuperäiseen lajistoon ja yhteisöihin sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksen merkitystä näihin prosesseihin tulisi selvittää. Vieraslajien torjuntaa ja heikosti hyödynnettyjen kalalajien pyyntiä tulisi käyttää sopeutumisen keinoina. Ammattikalastuksen säilyttämiseksi voidaan tarvita tukitoimia.

Ekosysteemien ja kalayhteisöjen sisäisten vuorovaikutusten tutkimista ja sen painottamista tulisi lisätä ilmastonmuutoksen kannalta oleellisiin seikkoihin, mm. kerrostuneisuuden muuttumisen aiheuttamilla vaikutuksilla sekä järvissä että meressä. Kalojen kutuajan ja poikasten kuoriutumisaajan muutosten vaikutukset kalakantoihin voivat olla huomattavia ja niiden tutkimiseen tulisi panostaa. Ilmastonmuutoksen vaikutusten todentamiseksi tarvitaan ajallisesti ja paikallisesti tarkempia tietoja Itämeressä tapahtuvista muutoksista esimerkiksi lämpötilassa ja suolapitoisuudessa. Kalakantojen ja -saaliiden seuranta tulisi edelleen kehittää [3]. Kalakantojen tilan parantamiseksi tarvittaisiin vielä tarkempia tietoja keskeisimmistä syistä kantojen heikkoon tilaan.

## Viitteet

1. Karjalainen, J., Keskinen, T., Pulkkanen, M. 2011. Kalatalous, s. 51–54. Teoksessa: Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon, VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Suomen ympäristö 26/2011, Ympäristönsuojelu, 74 s., Suomen ympäristökeskus (SYKE).
2. Rajakallio, R. 2010. Helle tappoi Silamusjoen taimenet. Suomen Luonto 8/2010:13.
3. Urho, L. 2011a. Kalasto-, kalakantamuutokset ja vieraskalalajit ilmaston muuttuessa. RKT:n työraportteja 6/2011.110 s.
4. Veneranta, L., Urho, L., Koho, J. & Hudd, R. (julkaisemat). Spawning and hatching temperatures of whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) in the Northern Baltic Sea.
5. Urho, L., Pennanen, J. T. & Koljonen, M. L. 2010a. Kalat. Julk.: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.). Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 336–343
6. MacKenzie, B.R., H. Gislason, C. Möllmann, and F.W. Köster. 2007. Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries. *Global Change Biology* 13: 1348-1367.
7. Sjöblom, V. 1978. The effect of climatic variation on fishing and fish populations. *Fennia* 150:33–37.
8. Pekcan-Hekim, Z., Urho, L., Auvinen, H., Raitaniemi, J., Söderkultalahti, P., Heikinheimo, O. & Lappalainen, J. 2011. Climate warming and pike-perch year-class catches in the Baltic Sea. *AMBIO* 40(5):447–456.
9. Urho, L., Heikinheimo, O. & Pekcan-Hekim, Z. 2011. Lämmin kesä tuo paljon kuhaa. Suomen Kalastuslehti 8:22–23.
10. Härmä, M., A. Lappalainen, and L. Urho. 2008. Reproduction areas of roach (*Rutilus rutilus*) in the northern Baltic Sea: potential effects of climate change. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65: 2678–2688.
11. Więcaszek, B., Sobocka, E., Dudko, S. & Keszka, S. 2011. New and 'visiting' fish species collected off the western coast of Poland (Baltic Sea) in 2007–2008 with a description of their parasite fauna. *OCEANOLOGIA*, 53 (1), 2011: 1–17.
12. Ojaveer, E. & Drevs, T. 2003. Flounder, *Platichthys flesus trachurus* (Duncker), pp. 362-370. In: *Fishes of Estonia*. Ojaveer, E., Pihu, E. & Saat, T. (eds.), Tallinn 2003.
13. Urho, L. 2011b. Kalakannat ja kalastus ilmastonmuutoksen armoilla. *Apaja* 2/2011:20–21.
14. Meier, H.E. & Kauker, F. 2003. Sensitivity of the Baltic Sea salinity to the freshwater supply. *Climate Research* 24:231-242.
15. Urho, L., Pennanen, T.J. ja Deinhardt, M. 2010b. Hopearuutan leviäminen estettävä. Suomen Kalastuslehti 8/2010: 22–24.
16. Urho, L. & Pennanen, J., 2011. Mustatäplätokko valloittaa rannikkovesiämme. Suomen Kalastuslehti 3: 18–20.
17. Urho, L. & Lehtiniemi, M. 2011. Vieraat lajit valtaavat rannikkovesiämme. *Apaja* 2/2011:22–23.
18. Kaukoranta, M., Ahlfors, P. & Koli, L. 1997. Haikaraimumato (*Posthodiplostomum cuticula*) Suomelle uusi kalaloinen. Suomen Kalastuslehti 6/1997:40–41.

### 3.1.4 Ilmastonmuutos ja riistakannat

Pekka Helle

*Riistaeläinlajit, kuten muutkin eliölajit, ovat sopeutuneet ilmaston sanelempiin elinympäristöihin. Ilmaston lämmitessä on perusteltua olettaa, että samalla kun kasvillisuusvyöhykkeet siirtyvät pohjoiseen, ilmaston luomiin elinympäristöihin aikojen saatossa sopeutuneiden lajien levinneisyysalueetkin muuttuvat. Pohjois-Euroopassa tämä merkitsee arktisen ja siperialaisen faunatyypin lajien joutuvan vetäytymään pohjoiseen ja itään, kun taas eteläisten, eurooppalaisten lajien levinneisyysalueet siirtyvät kohti pohjoista. Riistanhoidon ja metsästyksen näkökulmasta varautuminen tuleviin muutoksiin voi perustua eläinkantojen huolelliseen seurantaan ja täsmälliseen saalistilastointiin. Tältä pohjalta metsästyksen määrä voidaan mitoittaa kestäväksi.*

#### Levinneisyysalueet muuttuvat

Euroopan pesivän lintulajiston tulevia levinneisyysalueiden muutoksia sadan vuoden päähän on ennustettu siltä pohjalta, että lajit pysyvät täysin sidoksissa niihin ilmasto- ja kasvillisuusvyöhykkeisiin, joilla ne nykyään esiintyvät [1]. Lajien evolutiivinen sopeutumiskyky ympäristömuutoksiin on hidas, ja tämä oletus näin lyhyellä tarkasteluvälillä on perusteltu. Näiden skenaarioiden mukaan kaikkein pohjoisimmissa oloissa elävien riistaeläinlajien elinmahdollisuudet kaventuvat eniten [2]. Kiiruna tulee muiden tunturipaljakan lajien tapaan olemaan riistalajistostamme suurimmissa vaikeuksissa: sen elinalue tulee kaventumaan suhteellisen pian kokonaan, mikäli metsäkasvillisuus vähitellen valtaa puuttomat tunturialueet. Sama tulee koskemaan myös naalia. Myös muiden riistalintulajien, kuten riekon ja metson levinneisyysalue tulee tuntuvasti supistumaan. Monien viime vuosikymmeninä taantuneiden pohjoisten vesilintujen, kuten jouhisoran, kohtalo on samanlainen.

Kun pohjoisen nykyiset asukkaat vetäytyvät pohjoisemmaksi, eteläiset lajit valtaavat uusia alueita. Tällaisia lajeja ovat metsäkauris, valkohäntäpeura, rusakko ja riistalinnuista esimerkiksi pyy. Samoin supikoira levittäytynee yhä pohjoisemmaksi, ja vasta viime aikoina meille levinneet lajit, kuten villisika, tulevat runsastumaan 'keskieurooppalaistuvassa' Suomessa.

#### Muutokset elinympäristössä ja ilmastossa vaikuttavat

Eläinlajit eivät ole täysin sidottuja niihin olosuhteisiin, joihin ne alun perin ovat sopeutuneet. Hyvä esimerkki on punavarpuinen, joka viime vuosisadalla kaakosta Suomeen levinneenä varpuslintuna oppi hyödyntämään pesimäympäristönään ihmisen luomat laajat avohakkuut ja taimikot. Tämän takia laji runsastui maassamme nopeasti [3]. Riistalajistosta vastaava muutos on ollut sepelkyyhkyn kaupungistuminen: laji pesii monissa Suomen kaupungeissa ja se on määritelty esikaupunkilinnuksi [4]. Tunnettua on muun muassa ketun kaupungistuminen: laji on tuttu jo isoimmissa kaupungeissa ja Euroopan suurkaupungeissa sillä on vankka kanta. Sama pätee meille siirtoistutettuun, alun perin pohjoisamerikkalaiseen, kanadanhanheeseen.

Lajien levinneisyys voi olla suorassa yhteydessä ilmastoon, mikä tulee esille jo arvostetussa, vanhassa suomalaisessa tutkimuksessa [5]. Useiden vesilintulajien poikasten kylmänsietokyvyn ja lajien levinneisyysalueiden laajuuden tiukka yhtenevyys viittaavat siihen, että fysiologialla ja eläinmaantieteellä on vahva yhteys. Tämä on hyvä esimerkki siitä, että lajin sopeutuminen ympäristöönsä voi olla suoraan ilmastollinen – ei välttämättä ilmastonmuutoksen seurauksena tapahtuvan elinympäristömuutoksen kautta.

## **Sopeutumet lumiseen talveen**

Talvien lumipeitteisen ajan lyheneminen tulee olemaan erityisen ongelmallista niille lajeille, joille erinomaisena sopeutumana on ollut valkoisen maastopuvun vaihtaminen syksyllä ja vastaavasti siitä luopuminen keväällä. Lumitalvien aikaan tämä suojaväri on ollut tehokas suoja petoja vastaan erityisesti riekolla ja metsäjäniksellä, mutta myös kärpällä ja lumikolla. Jo koettuina ja varsinkin tulevana vähän lumen talvina tämä piirre voi olla hyvin kohtalokas. Värinvaihtoa ohjaa päivän pituuden muutos pitkän 'kehitystyön' tuloksena, eikä se vahvasti perinnöllisenä ominaisuutena voi muuttua nopeasti. Riekot ja metsäjänikset valkoisessa talvipuvussaan lumetomassa syysmaisemassa helpottavat petojen saalistusta. Riekon vähittäiseen taantumiseen viime vuosikymmeninä on varmasti useita syitä, mutta hyvin todennäköisesti ilmastonmuutoksellakin on osuutensa asiaan. Metsäjäniksen huomattava väheneminen Lounais-Suomessa 20 viime vuoden aikana voi liittyä lumettomiin ja vähälumisiin talviin [6]. Jäniksellä kyse ei ole pelkästään lumettomuudesta, vaan vähälumisissa oloissa jäniksellä ei ole samaa lumikengän tuomaa etua (se ei uppoa syvässä lumessa) kuin paksussa lumessa mm. paetessa kettua tai ilvestä.

Metsäkanalintujen erityinen sopeutuminen kylmään ja lumiseen talveen on yöpyminen hangen sisällä lumi-kiöpissä. Kovina pakkasjaksoina linnut pysyttelevät näissä lämpöoloiltaan edullisissa onkaloissa melkein koko vuorokauden ympäri [7]. Vähän lumen oloissa lintujen on yövyttävä maanpinnan tiheiköissä tai puissa, jolloin ne eivät saa lumen lämpösuoja ja ovat myös petojen helpommin yllätettävissä [8].

## **Vähenevätkö kannanvaihtelut?**

Pohjoismaissa esiintyy selvä etelä-pohjois-suuntainen muutos pienjyrsijöiden runsauden vaihteluissa ja sillä on huomattava välillinen merkitys myös pienriistalle. Alueen eteläosissa, missä on niukasti tai ei lainkaan lunta, myyräkannat ovat suhteellisen vakaat, kun taas pohjoisessa niiden kannat vaihtelevat vuodesta toiseen runsaasti ja usein jaksoittaisesti eli syklisesti [9]. Ilmiön todennäköisin selitys liittyy lumipeitteen paksuuteen ja sitä kautta siihen, onko myyrien talviaikaan mahdollista olla turvassa pienpetojen ja petolintujen saalistukselta. Tällä on yhteys myös metsäkanalintujen ja muun pienriistan runsauden vaihteluihin. Viime aikoina myyrien ja metsäkanalintujen kannanvaihteluiden aikaisemmin suhteellisen säännöllinen syklisyys on joko loppunut tai häiriintynyt. Tämä on mahdollisesti ilmastonmuutoksen aiheuttama, mutta sitä ei ole sitovasti voitu osoittaa. Lumitalven lyheneminen ja lumipeitteen määrän väheneminen tulevaisuudessa voi johtaa samanlaiseen eläinkantojen dynamiikkaan, joka on nyt vallalla mm. Etelä-Ruotsissa. Se merkitsee äärevien kannanvaihteluiden vaimentumista ja vakauden lisääntymistä.

## **Ilmastonmuutoksen loukut**

Yleinen oletus on, että ilmaston muuttuessa kasvillisuusvyöhykkeet muuttuvat ja sitä noudattaen eläinyhteisöt muuttuvat – ja siinä kaikki. Ilmasto ei kuitenkaan muutu jokaisena vuodenaikana yhtä paljon. Lämpötilan nousu Suomessa tulee olemaan voimakkainta talvi- ja kevätkausina. Meillä on toistaiseksi ollut vallalla epäsymmetria, kun kevät ovat varhaistuneet, mutta alkukesä ei. Monien muuttolintulajien kevätmuuton aikaistuminen on hyvin dokumentoitu [10]. Riistalinnuista teeren soitimen on osoitettu Keski-Suomessa selvästi varhaistuneen viimeisten vuosikymmenien aikana [11]. Teerien parittelu ja pesiminen ovat aikaistuneet tuntuvasti, mutta ilmastonmuutoksen epäsymmetrian vuoksi alkukesän olosuhteet eivät ole varhaistuneet. Tästä seuraa se, että teerenpoikaset syntyvät varhain olosuhteissa, jotka eivät ole parhaat mahdolliset niiden ensimmäisinä elinviikkoina, kun selkärangattomien toukat eivät ole kehittyneet syömäkelpoisiksi. Samanlaisista ilmastonmuutoksen epäsymmetrian kielteisistä vaikutuksista on raportoitu muissakin tutkimuksissa [10].

Ilmastonmuutoksen tulevien riistavaikutusten hahmottelussa tärkeää ei ole ainoastaan eri eläinlajien levinneisyysalueiden ja runsauden muutos. Tietyn ajan jälkeen uusiin eläinyhteisöihin muotoutuu tasapaino ja

peto-saalis-suhteet asettuvat myös jollekin uudelle tasolle. Eteläisten lajien saapuminen maahamme tuonee välttämättä uusia loisia ja tauteja. Esimerkiksi supikoira tulee valtaamaan uusia asuinalueita pohjoisessa, ja se voi olla merkittävä raivotaudin ja myyräekinokokin levittäjä. Se voi myös levittää trikiinejä ja kettukapia.

Ilmaston lämpeneminen muuttaa olosuhteita suuntaan, jossa monet hyönteisvälitteiset taudit, kuten jänisrutto ja pogostantauti, sekä loiset viihtyvät paremmin. Etelämpänä Euroopassa on useita eläinperäisiä tauteja, jotka voivat olla varteenotettavia tekijöitä eläinlajien tai pelkästään lämpimämpien ja kosteiden olosuhteiden edetessä pohjoiseen.

## **Varautuminen tulevaan**

Riistanhoidon ja metsästyksen näkökulmasta varautuminen tuleviin muutoksiin voi perustua eläinkantojen huolelliseen seurantaan ja täsmälliseen saalistilastointiin. Tältä pohjalta metsästyksen määrä voidaan mitoittaa kestäväksi. Suomessa riistakantojen seuranta on laadukasta. Valtakunnallisin riistakolmiolaskennoin – joita toteutetaan Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja metsästäjien yhteistyönä – saadaan tietoa metsäkanalintujen ja noin 25 nisäkäslajin kannan suuruudesta [12]. Erilliset seurantaohjelmat ovat lisäksi hirvälle, suurpedoille ja muutamille muille lajeille [13]. Mikäli nämä seurantaohjelmat jatkuvat, varautuminen tulevaisuuden muutoksiin ei ole vaikeaa. Mikäli seurantatuloksissa nähdään huomattavaa vähentymistä (esimerkiksi pohjoiset lajit) tai eteläisesti levinneet lajit kestäisivät voimakkaamman metsästyksen, ratkaisut riistahallinnossa pystytään tekemään joustavasti.

Riistakolmioiden talvilaskenta, joka perustuu nisäkkäiden jättämiin lumijälkiin vakioisilla tutkimuslinjoilla, on kokenut vaikeuksia Etelä-Suomessa monina viime vuosina lumen puutteen vuoksi. Mikäli lumettomet talvet tulevat jatkumaan, vieläpä entistä pohjoisempanakin, tämä nisäkkäiden kannanseurantamenetelmä on mahdoton. Useimmille nisäkäslajeille vaihtoehtoisia seurantamenetelmiä ei ole.

## Viitteet

1. Huntley, B., Green, R.E., Collingham, Y.C. & Willis, S.G. 2007. A climatic atlas of European breeding birds. Lynx Edicions.
2. Virkkala, R., Heikkinen, R.K., Leikola, N. & Luoto, M. 2008. Projected large-scale range reductions of northern-boreal land bird species due to climate change. *Biological conservation* 141: 1343-1353.
3. Stjernberg, T. 1979. Breeding biology and population dynamics of the scarlet rosefinch *Carpodacus erythrinus*. – *Acta Zoologica Fennica* 158: 1–88.
4. Vuorisalo, T. 2006. Sepelkyhky muuttaa kaupunkiin. *Linnut* 3/2006: 32-34.
5. Koskimies, J. & Lahti, S. 1964. Cold-hardiness of the newly hatched young in relation to ecology and distribution in ten species of European ducks. *The Auk* 81: 281-307.
6. Kauhala, K. & Helle, P. 2007. Metsäjäniskanta pienentynyt voimakkaasti. Riista- ja kalatalous. *Selvityksiä* nro 3, 12 s.
7. Marjakangas, A. 2011. Ilmastonmuutos lähiluonnossamme. – *Mediapinta*, 144 s.
8. Lindén, H. 1989. Metson talvi. *Suomen Riista* 35:61-71.
9. Henttonen, H. 1991. Ilmastonmuutos ja pienriistakannat. *Suomen Riista* 37: 79-85.
10. Lehikoinen, A. 2009. Climate forcing on avian life history. – Väitöskirja, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto.
11. Ludwig, G.X., Alatalo, R.V., Helle, P., Lindén, H., Lindström, J. & Siitari, H. 2006. – *Proceedings of the Royal Society B: Biol. Sciences* 273: 2009-2016.
12. Lindén, H., Helle, E., Helle, P. & Wikman, M. 1996. Wildlife triangle scheme in Finland: methods and aims for monitoring wildlife populations. *Finnish Game Research* 49: 4–11.
13. Wikman, M. (toim.) 2010. Riistakannat 2010. Riistaseurantojen tulokset. Riista- ja kalatalous – *Selvityksiä* 21. 46 s.



### 3.1.5 Ilmastonmuutos ja poronhoito

Jouko Kumpula

*Poronhoidon ekologiseen, sosiaaliseen ja ekonomiseen kestävyysvaikutteeseen vaikuttavat elinkeinon itsensä lisäksi monet paikalliset, alueelliset ja globaalit tekijät. Pitkäkestoinen voimakas porolaidunnus ja useiden eri maankäyttömuotojen kumuloituvat vaikutukset ovat heikentäneet, vähentäneet ja pirstoneet porolaitumia. Poroelinkeinoissa on sopeuduttu laidunympäristön heikkenemiseen porojen lisäruokinnan avulla ja muuttamalla hoitomenetelmiä. Laidunten kuluessa vaatimukset poronhoidon sopeuttamisesta ekologisesti kestävämmäksi ovat kuitenkin lisääntyneet. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia poronhoitoon on monilta osin vielä vaikea ennakoita, mutta se näyttäisi tuovan poroelinkeinoille enemmän ongelmia ja haasteita kuin suotuisia muutoksia. Siksi tulevien ympäristömuutosten kohtaamisessa tarvitaan entistä laajempaa ympäristö- ja luonnonvarojen käytön tutkimusta sekä samalla monipuolisia ja tarpeeksi kattavia toimenpiteitä niin yksittäisten elinkeinojen kuin laajemman luonnonvarojen käytön kestävyysparantamiseksi.*

#### **Poro, pohjoinen sopeutuja**

Villien sukulaistensa, peurojen ja karibuiden tavoin, poro on sopeutunut pitkään, kylmään ja lumiseen talveen. Poro selviytyy talvesta luonnonlaitumilla kaivamalla lumen alta ravinnokseen jäkälää, varpuja ja heiniä, mutta voi päästä kevättalven yli myös puilla kasvavien epifyyttijäkälien (erityisesti luppojäkälien) turvin [1,2,3,4]. Kesäkautena porojen ravinnontarve lisääntyy. Kuntoutuminen, kasvu, uusien sarvien kasvattaminen ja karvapeitteen uusiminen sekä vaatimilla vasojen imettäminen ja hoito edellyttävät monipuolisen viherravinnon saantia. Toisaalta kesän kuumuus ja verta imevät hyönteiset ("räkkä") rasittavat poroja ja häiritsevät ravinnonhankintaa [5]. Myös erilaiset loiset voivat vaikuttaa porojen kuntoon ja terveyteen läpi vuoden [6,7].

#### **Poronhoito ja laidunympäristö muuttuvat**

Vaikka poro onkin sopeutunut pohjoiseen luontoon hyvin, on nykyporohoidossa jouduttu vähitellen sopeutumaan moniin muutoksiin laidunympäristössä mm. ottamalla käyttöön uusia hoitokäytäntöjä [8,9]. Talvilaidunten kulumisen pitkäaikaisen voimakkaan laidunnuksen seurauksena sekä samaan aikaan tapahtunut laidunten väheneminen ja pirstoutuminen sekä laidunten käytettävyyden heikkeneminen eri maankäyttömuotojen vaikutuksesta ovat vieneet poronhoitoa entistä riippuvaisemmaksi porojen talvisesta lisäruokinnasta ja muuttaneet elinkeinon toimintatapoja [10,11,12]. Myös poronhoidossa laajasti käyttöön otetun loislääkinnän avulla on voitu pitää yleisimpien loisten esiintyminen porojen terveyden ja tuotantokyvyn kannalta riittävän matalalla tasolla [6].

Tehostuneiden hoitomenetelmien ansiosta poronhoidon tuottavuus on pysynyt korkeana verrattuna aikaisempaan poronhoitoon [13], vaikka vaihtelevat lumi- ja sääolosuhteet sekä loisten satunnaiset massaesiintymät ovat edelleen joinakin vuosina pudottaneet porokarjien tuottavuutta ja lihan tuotantomääriä [14,15,16]. Poromäärien ja poronhoidon tuottavuuden nousu 1980-luvulla koko Skandinaviassa liittyykin todennäköisesti huomattavalta osin tuolloin vallinneeseen poroille suotuisaan sää- ja lumiolosuhteiden jaksoon [17]. Laidunten heikkeneminen poromäärien noustessa ei kuitenkaan myöhemminkään ole merkittävästi vähentänyt poronhoidon tuottavuutta Suomessa, sillä vähentyneet talviravintovarot on voitu kompensoida lisäruokinnalla ja

muilla tehostuneilla hoitomenetelmillä [8]. Poronhoidon kustannukset ovat kuitenkin jatkuvasti nousseet, osittain muuttuneiden hoitomenetelmien myötä, samalla kun elinkeinon kannattavuus on heikentynyt ja imago muuttunut [18].

## Ilmastonmuutoksen vaikutuksia poronhoitoon

Ilmastonmuutoksen ennustetaan vaikuttavan entistä enemmän talvisiin sää- ja lumiolosuhteisiin erityisesti pohjoisilla leveysasteilla, samalla myös tuuliolosuhteissa voi tapahtua muutoksia [19]. Vaikka ilmastonmuutoksen vaikutusten suuntaa ja voimakkuutta poronhoidon kannalta onkin monilta osin vielä vaikea ennustaa, ilmaston lämpeneminen näyttäisi kuitenkin tuovan poronhoidolle enemmän ongelmia ja haasteita tulevaisuudessa kuin suotuisia muutoksia. Lämpimät syksyt hidastavat maan routaantumista, jolloin paksun lumipeitteen sataessa äkisti maahan, riski porolle haitallisten mikrosienten (homeiden) muodostumiseen laitumille kasvaa [20]. Homeinen ravinto aiheuttaa puolestaan porojen terveydelle ongelmia ja heikentää niiden kuntoa. Alkutilven epävakaat ja vaihtelevat sää- ja lumiolosuhteet voivat myös aiheuttaa kasvillisuuden ja maahan sataneen lumen jäätymisen eli poronhoidon kielellä ilmaistuna laitumille muodostuu porojen ravinnonsaannin kannalta ”huono pohja”. Kasvillisuuden päällä ja lumessa olevat kovat jääkerrokset hankaloittavat sen jälkeen porojen ravinnon kaivua läpi talven [14,21,22].

Pohjois-Euroopan vuotuisia säävaihteluita kuvaavien indeksien (North Atlantic Oscillation, NAO ja Arctic Oscillation, AO) heilahtelujen ja samalla niitä seuraavan lumiolosuhteiden vaihtelun onkin havaittu olevan yhteydessä porojen talvikuolleisuuteen ja poromäärien muutoksiin Käsivarren tunturialueella [21,22,23]. Mikäli talvisadannan kasvu lisää tulevaisuudessa lumipeitteen paksuutta tai vastaavasti keski- ja kevättalven leutojen säiden ja vesisateiden tuloksena muodostuu kovia lumi- ja jääkerroksia laitumille, aiheutuu niistä monia ongelmia porojen ravinnonkaivulle ja hyvinvoinnille [14,24]. Jos porojen saatavilla on kuitenkin runsaasti varttuneiden ja vanhojen metsien luppolaitumia ja lumi kantaa hyvin poroja, voivat porot selvitä vaikeimman kevättalven kauden yli syömällä puilla kasvavia luppojäkäläiä [4]. Kevättalven ja kevään lämpötilojen noustessa varhainen pälvien muodostuminen ja aikainen kevään tulo edistävät porojen selviytymistä talvesta ja aikaistavat viherravinnon saantia [25,22].

Ilmastonmuutoksen ennakoitaan vaikuttavan myös kesäajan sääolosuhteisiin, vaikka muutokset eivät ehkä ole yhtä voimakkaita kuin talvella [19]. Lämpimien ja samalla sateisten kesien määrän lisääntyessä voivat poroa piinaavat hyönteiset runsastua. Koska osa hyönteisistä toimii myös väli-isäntinä tai vektoreina joillekin loisille (mm. sukkulamadot ja veriloiset), saattavat loisten aiheuttamat epidemiat poroissa lisääntyä kesien lämmetessä [26, 27,15]. Myös uusien, poroille haitallisten lämpimämpien alueiden hyönteisloisten (mm. hirvikärpänen ja punkki) on havaittu levittäytyvän yhä pohjoisemmaksi [28,29]. Sama ilmiö koskee todennäköisesti myös hyönteisten kasveille aiheuttamien tuhojen esiintymistä. Esimerkiksi hallamittari tuhosi vuosina 2006–2008 Utsjoen Kaldoaivin tunturialueella lähes 400 km<sup>2</sup> tunturikoivikoita, joista osa on toipunut tuhon jälkeen huonosti [30]. Lämpötilojen nousu ja sateisuuden lisääntyminen vaikuttavat laajasti myös kasvillisuuteen. Metsät tihenevät, rehevöityvät ja levittäytyvät vähitellen yhä pohjoisemmaksi, jolloin jäkälävaltainen kasvillisuus taantuu, mutta varpu- ja sammalkasvillisuus runsastuu. Voimakas ultravioletti säteily saattaa heikentää poron kesäravinnon laatua ja samalla lisätä myös ravintokasvien fenolipitoisuuksia [31,32].

## Miten sopeutua muutoksiin?

Poronhoito toimii luonnonympäristössä, jossa sen ekologiseen, sosiaaliseen ja ekonomiseen kestävyyyteen vaikuttavat sen itsensä lisäksi monet paikalliset, alueelliset ja globaalit tekijät. Luonnonvarojen käytön jatkuva tehostuminen pohjoisilla alueilla [33], kaukokulkeutuneet ilmansaasteet ja ilmastonmuutos voivat muuttaa poronhoidon toimintaympäristöä monella tavalla ja vähentää entisestään erityisesti luontaisia tal-

viravintoresurseja (jäkälät ja lupot). Poronhoidon oma kyky sopeutua muutoksiin poromääriä säätelemällä sekä laidunkiertojärjestelmiä ja hoitomenetelmiä kehittämällä vaikuttaa paljon elinkeinon kehityssuuntaan. On kuitenkin aivan ilmeistä, että tulevaisuuden ongelmien ja haasteiden kohtaamisessa tarvitaan entistä laajempaa ympäristö- ja luonnonvarojen käytön tutkimusta sekä samalla monipuolisia ja tarpeeksi kattavia toimenpiteitä niin yksittäisten elinkeinojen kuin laajemman luonnonvarojen käytön kestävyuden parantamiseksi.



Kuva 3.3. Ilmastonmuutoksen sekä laidunten kulumisen ja maankäytön aiheuttamat epäedulliset muutokset saattavat tulevaisuudessa vaikeuttaa porojen ravinnonhankintaa erityisesti talvella aikaisempaa enemmän (Kuva: J. Kumpula).

## Viitteet

1. Helle T. 1984. Foraging behaviour of the semi-domestic reindeer (*Rangifer tarandus* L.) in relation to snow in Finnish Lapland. –Report from Kevo Subarctic Research Station 19: 35 - 47.
2. Kojola, I., Helle, T., Niskanen, M. & Aikio, P. 1995: Effects of lichen biomass on winter diet, body mass and reproduction of semi-domesticated reindeer *Rangifer t. tarandus* in Finland. –Wildlife Biology 1: 33 - 38.
3. Kumpula, J. 2001a: Winter grazing of reindeer in woodland lichen pasture: Effect of lichen availability on the condition of reindeer. -Small Ruminant Research, 39(2): 121-130.
4. Kumpula, J., Colpaert, A., Anttonen, M., 2007. Does forest harvesting and linear infrastructure change the usability value of pastureland for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*)? *Annales Zoologici Fennici* 44: 161-178.
5. Helle, T. & Tarvainen, L. 1984: Effects of insects harassment on weight gain and survival in reindeer calves. –*Rangifer* 4(1): 24-27.
6. Oksanen, A. 1999: Endectocide treatment of the reindeer (Väitöskirja). *Rangifer*, Special Issue No 11. 53 s., osajulkaisua.
7. Hrabok, J. 2006: Nematode parasites of reindeer in Fennoscandia (Väitöskirja). *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, SLU, Doctoral thesis No. 2006:89.* 52 s., 5 osajulkaisua.
8. Kumpula, J. 2001b: Productivity of the semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.) stock and carrying capacity of pastures in Finland during 1960-1990's (Väitöskirja). *Acta Universitatis Ouluensis, Scientiae Rerum Naturalium, A* 375, 44 s. ja 6 osajulkaisua.
9. Helle, T. & Jaakkola, L.M. 2008: Transitions in herd management of semi-domesticated reindeer in northern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 45: 81-101.
10. Kumpula, J., Tanskanen, A., Colpaert, A., Anttonen, M., Törmänen, H., Siitari, J. & Siitari, S. 2009: Poronhoitoalueen pohjoisosan Talvilaitumet vuosina 2005-2009 – Laidunten tilan muutokset 1990-luvun puolivälin jälkeen. –*Riista- Ja kalatalous – Tutkimuksia* 3/2009, 48 s.
11. Mattila, E. & Mikkola, K. 2009: Poronhoitoalueen etelä- ja keskiosien talvilaitumet – Tila palikunnissa 2000-luvun alkuvuosina ja eräiden ravintoasvien esiintymisrunsauden muutokset merkkipiireissä 1970-luvulta lähtien. *Metlan työraportteja* 115, 57 s.
12. Anttonen, M., Kumpula, J. & Colpaert, A., 2011. Range selection by semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in relation to infrastructure and human activity in the boreal environment, northern Finland. *Arctic* 64 (1): 1-14.
13. Helle T. 1980. Laiduntilanteen muutokset ja riskinotto Suomen porotaloudessa (Changes in the state of grazing areas and risk-taking in Finnish reindeer management. In Finnish with English summary). –*Lapin tutkimusseuran vuosikirja XXI*, 13-22.
14. Kumpula, J. & Colpaert, A. 2003: Effects of weather and snow conditions on reproduction and survival of semi-domesticated reindeer (*R.t.tarandus*). –*Polar Research* 22(2): 225-233.
15. Laaksonen, S. 2010: *Setaria* tundra, an emerging parasite of reindeer, and an outbreak it caused in Finland in 2003-2006 (Väitöskirja). –*Evara Research Reports* 1/2010, 80 s., 6 osajulkaisua.
16. Rasmus, S., Kumpula, J. & Siitari, J. 2011: Effect of snow structure on reindeer winter mortality and calf production – combining snow modeling and long-term weather and reindeer information (Käsikirjoitus).
17. Helle, T. & Kojola, I. 2004: Porokantojen vaihtelut Fennoskandiassa - selitykset ja niiden arviointi. – *Suomen Riista* 50: 18-32.
18. MTT 2008: Porotalouden taloudelliset menestystekijät. –*MTT:n selvityksiä* 156 (toimittanut Leena rantamäki-Laitinen), 129 sivua + liitteet.

19. IPCC 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. -Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO and UNEP, 21 s. (Suomenkielinen versio Kimmo Ruosteenoja, Ilmatieteen laitos: Ilmastomuutos v. 2007: Luonnontieteellinen perusta - Yhteenveto päätöksentekijöille. –Ensimmäisen työryhmän osuus Hallitustenvälisen ilmastopaneelin neljännessä arviointiprosessissa, 23 s. (Englanninkielinen yhteenveto: <http://www.ipcc.ch>)
20. Kumpula, J. Parikka, P. & Nieminen, M. 2000: Occurrence of certain microfungi on reindeer pastures in northern Finland during winter 1996-97. -Rangifer, 20 (1): 3-8.
21. Helle T., Kojola I. & Timonen, M. 2001. Lumipeitteen vaikutus Käsivarren porolukuihin: mikä on Pohjois-Atlantin säävaihtelun (NAO) merkitys? –Suomen Riista 47: 75 - 85.
22. Helle, T. & Kojola, I. 2008: Demographics in an alpine reindeer herd: effects of density and winter weather. – Ecography 31: 221 – 230.
23. Helle, T., Horskotte, T., Mikkola, K., Niva, A. & Posio, H. 2008: Lumipeitteen ominaisuudet ja suurilmaston vaihtelu vaikuttavat poroeläinmenestykseen. –Luonnon Tutkija 2/2008: 58-60.
24. Putkonen, J. & Roe, G. 2003: Rain-on-snow events impact soil temperatures and affect ungulate survival. –Geophys. Lett. 20(4): 1188, doi 10.1029/2002GL016326.
25. Kumpula, J & Colpaert, A. 2007: Snow conditions and usability value of pastures for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in pine forest landscape. –Rangifer 27 (1): 25-39.
26. Laaksonen, S., Kuusela, J., Nikander, S., Nylund, M. & Oksanen, A. 2007: Outbreak of parasitic peritonitis in reindeer in Finland. –Veterinary Records 16: 835-841.
27. Laaksonen, S., Puseenius, J., Kumpula, J., Venäläinen, A., Kortet, R., Oksanen, A. & Hoberg, E. 2010: Climate change promotes the emergence of serious disease outbreaks of filarioid nematodes. –Eco-Health 7(1):7-13.
28. Härkönen, L., Härkönen, S., Kaitala, A., Kaunisto, S., Kortet, R., Laaksonen, S. & Ylönen, H. 2010: Predicting range expansion of an ectoparasite - the effect of spring and summer temperatures on deer ked *Lipoptena cervi* (Diptera: Hippoboscidae) performance along a latitudinal gradient. Ecography 33: 906-912.
29. Kynkäänniemi, S.-M., Kortet, R., Härkönen, L., Kaitala, A., Paakkonen, T., Mustonen, A.-M., Nieminen, P., Härkönen, S., Ylönen, H. & Laaksonen, S. 2010: Threat of an invasive parasitic fly, the deer ked (*Lipoptena cervi*), to the reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*): experimental infection and treatment. *Annales Zoologici Fennici* 47: 28-36.
30. Helle, T., Mikkola, K., Niva, A., Santonen, T., Hyvönen, J. & Kumpula, J. 2010: Hallamittarin massasiintymisen Utsjoella – vaikutusten kauko- ja lähikartoitusta. Suullinen esitelmä, Pohjoisen mittarituhon käsittelyä seminaari 16.12.2010, Oulun yliopisto.
31. Turunen, M., Soppela, P., Kinnunen, P., Sutinen, M-L. & Martz, F. 2009: Does climate change influence the availability and quality of reindeer forage plants? –Polar Biology 32: 813-832.
32. Turunen, M., Soppela, P. & Martz, F. 2010: Ilmastomuutos vaikuttaa porolaidunten kasvillisuuden laatuun ja saatavuuteen. Suomen Riista 56: 71-84.
33. UNEP 2001. GLOBIO – Global methodology for mapping human impacts on the biosphere. In: Nellemann, C., Kullerud, L., Vistnes, I., Forbes, B.C., Husby, E., Kofinas, G.P., Kaltenhorn, B.P. et al. (eds.) Nairobi, Kenya, UNEP/DEWA/TR.01.3. [www.globio.info/downloads/218/globioreportlowres.pdf](http://www.globio.info/downloads/218/globioreportlowres.pdf).

### 3.1.6 Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos - vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen

Noora Veijalainen, Bertel Vehviläinen, Teemu Nurmi, Juho Jakkila, Mika Marttunen ja Jukka Käyhkö

*Ilmastonmuutos tulee muuttamaan merkittävästi jokien virtaamien ja järvien vedenkorkeuksien vuodenaikaista vaihtelua. Kevään lumen sulamistulvat pienenevät merkittävästi lauhempien talvien johdosta etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Kesän vedenkorkeudet alenevat useissa järvissä aikaisemman kevään ja kasvavan haihdunnan vaikutuksesta etenkin runsasjärvisillä alueilla, joilla järvihaihdunta vaikuttaa voimakkaammin. Kesän ja alkusyksyn kuivuus ja alhaiset vedenpinnat tulevat joillain järvillä olemaan tulevaisuudessa entistä suurempi ongelma. Syksyn sateet lisääntyvät ja loppusyksyn virtaamat kasvavat tulevaisuudessa. Talven vedenkorkeudet ja virtaamat kasvavat selvästi etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa, kun talven aikana entistä suurempi osa sateesta tulee vetenä ja lumi sulaa talven aikana. Eri ilmastoskenaariot poikkeavat merkittävästi toisistaan, mutta muutoksen suunta on kaikissa skenaarioissa samankaltainen. Muutoksia on havaittavissa jo lähivuosisikymmeninä, mutta merkittäviksi ne kasvavat vuosisadan puolivälin paikkeilla.*

#### **Ilmastonmuutoksella sekä kielteisiä että myönteisiä vaikutuksia vesivaroihin**

Ilmastonmuutos aiheuttaa Suomen vesistöissä lukuisia myönteisiä ja kielteisiä vaikutuksia [1]. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia hydrologiaan on tutkittu käyttäen 4–20 eri ilmastoskenaariota sekä globaaleista että alueellisista ilmastomalleista ja kolmea päästöskenaariota. Merkittävimmät myönteiset vaikutukset ovat vesivoiman tuotannon kasvu ja kevättulvien pienentyminen. Vesivoimantuotannon arvioitiin Vuoksen, Kokemäenjoen ja Oulujoen vesistöissä lisääntyvän jaksolle 2040–2069 mennessä keskimäärin 0–12 % [2]. Kuitenkin myös ohijouksutukset voimalaitoksilla lisääntyvät erityisesti Etelä- ja Keski-Suomessa, sillä virtaamat jakaantuvat nykyiseen verrattuna epätasaisemmin. Pohjois-Suomen joissa sen sijaan ohijouksutukset todennäköisesti vähenevät.

Yleisesti Suomen järvissä talvialenema pienenee ilmastonmuutoksen myötä. Tämä saattaa vaikuttaa myönteisesti syyskutuisiin kaloihin ja järven rantavyöhykkeeseen sekä pohjaeläimistöön. Ilmastonmuutoksen kokonaisvaikutusta järven ekologiaan ei voida arvioida kuitenkaan pelkästään vedenkorkeuden vaihtelun kautta, sillä esim. muutokset jääpeitteisen kauden pituudessa ja veden lämpöoloissa voivat olla vaikutuksiltaan huomattavasti merkittävämpiä.

Ilmastonmuutoksen merkittävimmät kielteiset vaikutukset aiheutuvat nykyistä suuremmista talvikauden tulvista ja kesäajan kuivista kausista. Kesäaikaiset matalat vedenkorkeudet aiheuttavat haittaa mm. vesiliikenteelle ja järvien virkistyskäytölle. Ilmastonmuutoksen kielteisiä vaikutuksia voidaan kuitenkin useilla järvillä lieventää muuttamalla säännöstelykäytäntöjä. Tulvariskien kartoitusta [3] käsitellään myös luvussa 3.3.2.

#### **Tulvat muuttuvat eri vesistöissä eri tavalla**

Suomen vesistöt voidaan jakaa tulvimisen kannalta erilaisiin ryhmiin. Lapin suuret joet kokevat voimakkaan kevättulvan paksun lumipeitteen sulaessa nopeasti. Järvi-Suomen vesistöissä suurten järvien tulvat ovat pitkäkestoisia ja syntyvät pitkäaikaisista runsaista sateista, lumen sulamisesta tai näiden yhdistelmästä. Rannikkoalueen vähäjärvisissä, melko pienissä joissa puolestaan esiintyy kevättulvan lisäksi tulvia myös kesäisin ja syksyisin rankkasateiden seurauksena. Vesistötulvien muuttuminen riippuu siis voimakkaasti tarkasteltavan vesistön ominaisuuksista ja käytetystä ilmastoskenaariosta [4].

Talven aikana kertyneen lumimäärän vähenemisestä johtuen tulvat pääosin pienenevät vesistöissä, joissa tulvat nykyään ovat useimmiten kevään lumen sulamistulvia. Tällaisia kohteita ovat etenkin Keski- ja Itä-Suomen pienehköt latvajärvet ja osa Pohjanmaan joista. Lapissa tulvien suuruus ei vielä jaksolla 2010–2039 juuri muutu nykyisestä. Syksyn ja talven tulvat kasvavat ja tulvariski voi kasvaa vesistöissä, joissa nämä tulvat ovat jo nykyään suuria. Tällaisia kohteita ovat Järvi-Suomen suuret vesistöjen keskuserät ja niiden laskujoet sekä jotkin etelä- ja lounaisrannikon pienet jokivesistöt. Saimaan, Vuoksen, Kokemäenjoen, Päijänteen, Kymijoen ja Oulujoen tulvien ennakoitua kasvavan ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Järvi-Suomen suurissa järvisissä ja niiden laskujoissa korkeimmat vedenkorkeudet ja virtaamat ovat jaksosta 2040–2069 lähtien usein talven ja alkukevään aikana. Erot tulvien muutoksessa 20 tutkimuksessa käytetyn ilmastoskenaarion välillä olivat suuria [4].

Kesän rankkasateiden ennakoitu yleistyminen lisää kaupunkitulvien uhkaa ja meren pinnan nousu puolestaan saattaa lisätä meriveden noususta aiheutuvien tulvien uhkaa. Talven hydydetulvat lisääntyvät monissa joissa, kun talven virtaamat kasvavat ja pysyvän jääkannen synty on entistä epävarmempaa [5].

### **Pohjavettä riittää talvella, mutta loppukesällä on kuivaa**

Ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta talvet lyhenevät, mikä johtaa nykyistä ylempiin pohjavedenkorkeuksiin talvella ja toisaalta kevään aikaistumisen myötä alempiin vedenkorkeuksiin loppukesällä. Alimmat pohjaveden korkeudet tulevat Etelä- ja Lounais-Suomessa todennäköisesti laskemaan ja kuivuusjaksot pitenevät nykyisestä. Talvisin pohjavesivarastot voivat täydentyä aiempaa enemmän roudan vähenemisen, runsaampien sateiden ja lumen sulamisen seurauksena. Keväinen pohjaveden muodostumisen huippu voi vastaavasti pienentyä. Myös pinta- ja pohjaveden vuorovaikutus voi muuttua ja siten vaikuttaa pohjaveden määrään ja laatuun [6]. Koska Keski-, Itä- ja Pohjois-Suomessa pohjaveden korkeudet saavuttavat nykyisin miniminsä tyypillisesti alkukeväällä, talvikauden lyheneminen nostaa alhaisimpia pohjaveden korkeuksia näillä alueilla.

### **Ravinnekuormitus lisääntyy talvella, mutta vähenee keväällä**

Muutokset valunnan jakautumisessa eri vuodenaikojen välillä vaikuttavat myös ravinnekuormitukseen ja ravinnepitoisuuksiin. Talven ravinnekuormitukset lisääntyvät virtaamien kasvaessa, kun taas kevään ravinnekuormitukset vähenevät kevätvirtaamien pienentyessä.

Ravinnekuormituksen muuttumista ilmastonmuutoksen myötä ja sopeutumismahdollisuuksia on tutkittu Lounais-Suomessa [7]. Tuloksien perusteella ilmastonmuutostilanteissa vuosisadan puolivälissä ja loppupuolella sekä typen, fosforin että kiintoaineksen kuormitukset kasvoivat selvästi erityisesti Aurajoella ja Loimijoella. Tämä johtui pääosin siitä, että lumipeitteinen aika lyheni ja talvivalunnat kasvoivat. Eurajoella osassa ilmastomuutoskenaarioista fosfori- ja kiintoainekuormitus pieni, koska tasaisemmin talvikaudelle jakautuvasta kuormituksesta suurempi osa ehti sedimentoitua Pyhäjärveen. Eri viljelytoimenpiteillä (mm. suojavyöhykkeet ja talviaikainen kasvipeitteisyys kaltevilla pelloilla) ja tarkemmalla lannoituksella ilmastonmuutoksen vaikutusta maatalouden vesistökuormitukseen voidaan hillitä, mutta Lounais-Suomessa ilmastonmuutostilanteissa on vaikea päästä nykytilannetta pienempiin kuormituksiin.

### **Vesistövaikutuksiin voidaan sopeutua - jossain määrin**

Ilmastonmuutoksen vesistövaikutuksiin voidaan sopeutua useilla eri keinoilla (Taulukko 3.4). Säännöstelyn muutos on yksi sopeutumiskeino, joka ei vaadi uusia suuria investointeja tai rakenteita. Muita sopeutumiskeinoja tulviin liittyen ovat mm. rakentamisen ohjaus, pysyvät tulvapankereet, tilapäiset suojarakenteet ja tulvavakuutus.

Kuivuuteen liittyviä sopeutumiskeinoja ovat säännöstelyn aloittaminen, pohjapatojen rakentaminen, vesihuollon varmistaminen mm. vesiosuuskuntien vesijohtoverkon avulla. Sopeutumisellakin on kuitenkin rajansa ja mitä harvinaisemmasta tulvasta tai kuivuudesta on kyse, sitä vaikeampi siihen on sopeutua. Monet sopeutumiskeinoista ovat sellaisia, joita tarvitaan ilmastonmuutoksesta riippumatta. Jos on hyvin varauduttu nykyiseen sään vaihteluihin ja ääriolosuhteisiin, on useimmiten myös hyvin varauduttu ilmastonmuutoksen vaikutuksiin.

Tulokset säännöstelyjen muutostarpeista osoittavat, että nykyiset säännöstelyluvut tulevat monissa järvissä olemaan epätarkoituksenmukaisia ilmaston muuttuessa [8]. Kalenteriin sidotut säännöstelyluvut toimivat huonosti, sillä ne perustuvat aikaisempien vuosien hydrologisiin olosuhteisiin, jolloin tavoitteena oli kevään lumitulvan pienentäminen ja vesivarastojen täyttäminen syksyllä talvea varten. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen vaatii monien järvien säännöstelylupien tai -käytäntöjen muuttamista. Säännöstelylupien muutostarpeet vaihtelevat järvittäin riippuen nykyisten säännöstelylupien joustavuudesta. Muutostarpeet ovat suurimpia järvillä, joissa nykyinen lupa sisältää joustamattomia sääntöjä, kuten kalenteriin sidotun kevään vedenkorkeuksien alentamisen. Järvillä, joissa säännöstelylupa toimii tulevaisuudessakin, on yleensä tarpeellista muuttaa säännöstelykäytäntöjä ja tavoitevedenkorkeuksia luvan sallimissa rajoissa. Jos säännöstelylupia ja -käytäntöjä muutetaan, tulisi uusien säännöstelyohjeiden olla joustavia, jotta ne toimivat hyvin erilaisissa odotettavissa olevissa olosuhteissa sekä runsaslumisina että lauhoina talvina. Muuttuvassa ilmastossa järvien tulovirtaamaennusteesta ja lumen vesiarvosta riippuvat ehdolliset säännöt toimivat paremmin kuin ehdottomat päivämääriin sidotut säännöt.

## Tutkimustarpeet

Jatkotutkimuksen tarpeita ovat muun muassa

- hydrologisten, hydraulisten, merimallien (esim. Pori) ja säännöstelyn optimointimallien yhdistäminen ennuste- ja suunnittelu- ja koulutuskäyttöön
- sellaisten menetelmien kehittäminen, joissa voidaan ottaa huomioon entistä paremmin ilmastonmuutoksen vaikutukset ääritilanteisiin (mm. tulvat ja kuivuudet) hyödyntäen alueellisten ilmastomallien suoria päivittäisiä tuloksia (ClimWater/Ficca)
- jää- ja jääpatomallit ja ennusteet, havainnointi
- jokien hyydetulvat: havainnointi, mallit, ennusteet
- rankkasateen ja rankasadetultvien muutosarviot
- haihdunnan muutokset
- pohjavesivarojen muutokset ja vaikutus vesihuoltoon
- ravinnekuormitus ilmaston muuttuessa ja sopeutuminen (Marisplan/Ficca)
- tulva- ja kuivuustilanteiden tarkastelut sidosryhmien kanssa
- valuma-alueitoimenpiteiden seuranta tutkimusta varten.



Taulukko 3.4. Ilmastonmuutoksen merkittävimmät kielteiset ja myönteiset vaikutukset vesivaroihin ja sopeutumismahdollisuudet.

Vaikutus	Alue tai vesistö, joissa esiintyy	Sopeutumistoimenpiteet
Jokien hydydetulvien riski kasvaa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kokemäenjoki</li> <li>• Oulujoki</li> <li>• Kymijoki</li> <li>• Eurajoki</li> <li>• Ähtävänjoki</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Järvien koordinoitu lyhytaikaissäännöstely</li> <li>• Pitkäaikaissäännöstely, syksyn alhaisemmat vedenkorkeudet järvissä</li> </ul>
Talvitulvat kasvavat, kokonaistulvariski todennäköisesti kasvaa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saimaa ja Vuoksi</li> <li>• Oulujärvi ja Oulujoki</li> <li>• Kokemäenjoki</li> <li>• Päijänne ja Kymijoki</li> <li>• Karjaanjoki</li> <li>• Eurajoki</li> <li>• Karvianjoki</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pitkäaikaissäännöstely, säännöstelykäytäntöjen ja lupien muuttaminen</li> <li>• Ennusteet, varoitukset</li> <li>• Rakentamisen ohjaus, tulvariskikartat</li> <li>• Tulvariskien hallintasuunnitelmat</li> <li>• Penkereet ym. pysyvät suojarakenteet</li> <li>• Tilapäiset suojarakenteet</li> <li>• Tulvavesien pidättäminen valuma-alueella</li> <li>• Tulvavakuutus</li> </ul>
Kevään lumen sulamistulvat pienenevät ja niiden aiheuttamat tulvavahingot vähenevät	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vuoksen, Kymijoen, Kokemäenjoen ja Oulujoen vesistöjen latvajärvet</li> <li>• Pohjanmaan joet vuosisadan puolivälistä lähtien</li> <li>• Etelä-Suomen joet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pitkäaikaissäännöstely, säännöstelykäytäntöjen ja lupien muuttaminen</li> </ul>
Kesän rankkasadetulvat kasvavat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rannikon pienet vesistöt</li> <li>• Taajamat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tulvavesien pidättäminen valuma-alueella</li> <li>• Luonnonmukainen kaupunkirakentaminen, vähemmän läpäisemättömiä pintoja</li> <li>• Tulvavesille reitit taajamiin</li> <li>• Hulevesiviemäreiden mitoitus</li> <li>• Vesihuollon toimintavarmuuden varmistaminen</li> <li>• Tulvavakuutus</li> </ul>
Kesän kuivuus lisääntyy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Järvi-Suomi</li> <li>• Pohjanmaan ja Etelä-rannikon joet ja järvet</li> <li>• Pohjavesi Etelä- ja Keski-Suomessa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pitkäaikaissäännöstely</li> <li>• Pitkäaikaissäännöstelyn aloitus luonnontilaisilla kohteilla</li> <li>• Luonnonkosken kiveäminen tai pohjapadon rakentaminen</li> <li>• Vesivoiman turbiinien säätö toimimaan uusissa olosuhteissa</li> <li>• Vesihuollon sopeutuminen: kaivojen syventäminen ja vesihuoltoverkkoon liittyminen</li> <li>• Vedenlaadun muutoksiin varauduttava vesilaitoksilla</li> </ul>
Pohjavedenpinnat laskevat kesällä ja alkusyksyllä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etelä- ja Keski-Suomi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Syvemmät rengaskaivot tai porakaivojen asennus</li> <li>• Tilapäinen talousveden toimittaminen</li> <li>• Liittyminen vesijohtoverkkoon</li> <li>• Vedenottomäärien sopeuttaminen antoisuuksiin</li> </ul>
Vesivoiman kokonaistuotanto lisääntyy kun virtaamat kasvavat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pieni lisäys koko maassa, Pohjois-Suomessa virtaamien kasvu suurempaa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbiinikapasiteetin tarkistus</li> <li>• Muutoksen huomiointi uusissa investoinneissa</li> <li>• Säännöstelyn muutokset</li> </ul>

## Viitteet

1. Marttunen, M., Nurmi, T., Parjanne, A., Veijalainen N., Hellsten S. 2010. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Saimaalla - hydrologisiin mittareihin perustuva vaikutustarkastelu. Suurjärviseminaari 2010. [http://epublications.uef.fi/pub/urn\\_isbn\\_978-952-61-0242-9/urn\\_isbn\\_978-952-61-0242-9.pdf](http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0242-9/urn_isbn_978-952-61-0242-9.pdf)
2. Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen M., Aaltonen, J. 2012/Painossa. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos- vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt projektin loppuraportti. Julkaistaan alkuvuonna 2012 Suomen ympäristö- sarjassa
3. Alho, P., Sane, M., Huokuna, M., Käyhkö, J., Lotsari, E. & Lehtiö, L. (2008). Tulvariskien kartoittaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2008. 99 s. Suomen ympäristökeskus ja Turun yliopisto.(ISTO).
4. Veijalainen, N., Lotsari E., Alho, P., Vehviläinen, B., Käyhkö, J. 2010a. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391: 333-350.
5. Aaltonen, J., Veijalainen N., Huokuna M. 2010. The effect of climate change on frazil ice jam formation in the Kokemäenjoki River. 20th IAHR International Symposium on Ice, Lahti, Finland, June 14 to 18, 2010. [http://www.riverice.ualberta.ca/IAHR%20Proc/20th%20Ice%20Symp%20Lahti%202010/Papers/133\\_Aaltonen.pdf](http://www.riverice.ualberta.ca/IAHR%20Proc/20th%20Ice%20Symp%20Lahti%202010/Papers/133_Aaltonen.pdf)
6. Okkonen, J. 2011. Groundwater and its response to climate variability and change in cold snow dominated regions in Finland: methods and estimations. *Acta Univ. Oul. C* 412
7. Huttunen, M., Huttunen, I., Vehviläinen, B., Salmi, B. 2010. TEHO-hankkeen skenaariot SYKE-WSFS-VEMALA mallilla. TEHO-raportit. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=24541&lan=fi>
8. Veijalainen, N., Dubrovin, T., Marttunen, M., Vehviläinen, B. 2010b. Climate change impacts on water resources and lake regulation in the Vuoksi watershed in Finland. *Water Resources Management*. 24 (13): 3437-3459.

### 3.1.7 Teollisuus ja energia

Riitta Molarius, Karoliina Pilli-Sihvola, Reija Ruuhela ja Hilppa Gregow

*Suomalainen teollisuus on yleisesti ottaen hyvin energiavaltaista ja siten ilmastonmuutosta on sektorilla tarkasteltu enemmän hillinnän kuin sopeutumisen kannalta. Sopeutumiseen liittyvää tutkimusta on Suomessa tehty vain vähän, mutta toisaalta yksityisellä sektorilla tehdyt selvitykset ja tutkimukset eivät ole tämän yhteenvedon piirissä. Sää ja ilmasto voivat kuitenkin vaikuttaa monin tavoin teollisuustuotannon koko ketjuun raaka-aineiden saatavuudesta ja kuljetuksesta sääherkkiin prosesseihin ja kysynnän vaihteluun. Erityisen energian kulutuksen ja tuotannon sää- ja ilmastoriippuvuus on merkittävää.*

Sää- ja ilmastoriskeille alttiimpia toimialoja ovat alkutuotantoon liittyvät teollisuudenalat kuten elintarviketeollisuus ja metsäteollisuus, joita on käsitelty jo aiemmissa luvuissa. Muualla maailmalla esimerkiksi kuivuus tai tulvat voivat heikentää viljasatoja tärkeimmillä tuotantoalueilla ja vaikuttaa maailmanmarkkinahintoihin. Suomessa lauhtuvat talvet voivat heikentää puunkorjuun ja kuljetusten olosuhteita. Teollisen tuotannon prosessit ovat tyypillisesti säästä ja ilmastosta riippumattomia, mutta niissä voi olla vaiheita, jotka vaativat tiettyjä lämpö- ja kosteusolosuhteita. Rakentamisessa työntekijöiden terveyden ja turvallisuuden vuoksi on otettava huomioon säähän liittyvät riskit, kuten voimakkaat tuulet, tuulen kanavoituminen ja pyörteisyys sekä hyvin kylmät tai kuumat jaksot.

Rankkasateisiin ja tulviin liittyviin riskeihin on tarpeen varautua teollisuusalueilla, varsinkin jos niillä varastoidaan ja käytetään ympäristön kannalta haitallisia aineita tai jos prosessi- tai jätevesiviemärit sijaitsevat tulvaherkällä alueella. Tulvat voivat uhata myös ydinvoimalaitoksia, ja esimerkiksi Loviisan ydinvoimalassa tulvavesi nousi tammikuussa 2005 lähelle rajaa, jolloin voimala olisi varalta ajettu alas. Vaikka tällaisen poikkeuksellisen ääritilanteen kehittyminen edellyttää tiettyjä tuuli- ja matalapaineolosuhteita, merenpinnan noustessa vastaavanlaisen tilanteen todennäköisyys kasvaa [1] (kts. myös luku 2.2.).

Teollisuus on erittäin riippuvainen sähkösaannista, minkä vuoksi voimakkaiden tuulten aiheuttamat pitkäkestoiset sähkökatkot aiheuttavat sille erityisen sääriskin. Teollisuus on pyrkinyt varautumaan lyhyihin sähkökatkoihin varavoimalla, mutta pitempiaikaiset katkokset aiheuttavat häiriöitä tuotantoon. Esimerkiksi kesän 2010 rajuilmoista aiheutui elintarviketeollisuudelle merkittäviä haittoja. Tuotantolaitoksissa esiintyi sähkökatkoja pituudeltaan 45 minuutista kuuteen tuntiin. Niiden aikana tuotanto pysähtyi ja tuotantomäärä laski. Lisäksi tuotantotilojen lämpötilan muutos aiheutti tuotteiden hylkäämisiä [2].

Monien tuotteiden ja palveluiden kysyntä riippuu paljon säästä ja ilmastosta ja siten pitkäaikaisissa investoinneissa ja strategisessa toiminnan suunnittelussa on tarpeen ottaa huomioon muuttuvan ilmaston vaikutukset. Säähän liittyvä kysynnän vaihtelu on hyvin selkeää elintarviketeollisuudessa, sillä esimerkiksi panimotuotteiden, jäätelön ja grillaustarvikkeiden kysyntä riippuu kesän säästä. Talvivaatteiden, -jalkineiden ja harrastuksiin liittyvien tuotteiden menekki riippuu varsinkin alkutalven olosuhteista. Tuotannon sopeuttamisen kannalta hankalinta on varautumisen aikaskaala, joka tyypillisesti on kuukausia. Kaupan tilaukset ja tuotantomäärät, jotka perustuvat edellisen kauden tilastoihin voivat johtaa liian suuriin tai pieniin varastoihin. Sään ääri-ilmiöiden yleistymisen tai voimistumisen voi myös kasvattaa häiriöriskiä kansallisessa ja kansainvälisessä logistiikassa. Kuukausi- ja vuodenaikaisääennusteiden kehittyminen voi tulevaisuudessa tarjota käytännön mahdollisuuksia ilmastolliseen vaihteluun varautumisessa.

## Energian kulutuksen ja tuotannon ilmastoriippuvuus

Energian kokonaiskulutus on kasvanut Suomessa merkittävästi. Suurimmat energiankäyttäjät ovat teollisuus (51 %), rakennusten lämmitys (20 %) ja liikennesektori (16 %). Sähköä kuluttavat eniten kotitaloudet ja palvelut (56 %) ja teollisuus (41 %). Energian- ja sähköntuotanto kasvaa kaikkialla maailmassa ja kaikkien energialähteiden käyttö on lisääntynyt. Energiateollisuuden tulevaisuuteen vaikuttaa merkittävästi päästökauppa, joka koskee Suomessa noin 500 energiantuotanto- ja teollisuuslaitosta<sup>1</sup>. Päästökauppa nostaa energian hintaa ja vaikuttaa siten energian kulutukseen ja päästöihin. Toisaalta päästöttömien ja vähäpäästöisten energialähteiden kilpailukyky paranee. Teollisuuden kannalta päästökaupan myötä kasvava energian hinta saattaa nostaa valmistuskustannuksia.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Suomessa vesivoima lisääntyy, aurinkovoiman käytettävyys hieman heikenee lisääntyvän pilvisyyden takia ja tuulivoimapotentiaali kasvaa maan eteläosassa varsinkin talvien osalta: heikot tuulipäivät vähenevät ja tuulivoimapotentiaalnin näkökulmasta suotuisat tuulennopeudet kasvavat loka-helmikuun välisenä aikana [3,4]. Biopolttoaineiden tuotanto helpottuu pidemmän kasvukauden ansiosta. Energian kysyntä laskee talvella lämmitystarpeen vähentyessä ja kasvaa kesällä jäähdytystarpeen kasvaessa. Kuluttajat voivat hyötyä tästä pidemmällä aikavälillä pienempänä energiankulutuksena. Lähivuosikymmeninä talvet voivat yhä olla hyvin kylmiä ja kesät vastaavasti kuumia, joten lähivuosikymmenien haasteisiin sopeutuminen on tärkeää.

Vuoteen 2050 mennessä sähkön kysyntä tulee laskelmien perusteella vähenemään ilmaston lämpenemisen myötä 0,6-1 prosenttia vuoden 2008 kulutustasosta. Tällä on vaikutusta sekä kuluttajien sähkölaskuun että sähkön tuotantoon. Bruttokansantuotteeseen suhteutettuna kuluttajien säästö pienentyneiden lämmityskulujen myötä on 0,15 % BKT:sta. Tämä vaikuttaa tuottajien tulokseen, mutta olettaen, että joko EU:n sisäinen tai kansainvälinen päästökauppa jatkuu myös tulevina vuosikymmeninä, vähenevät sähköntuottajien kulut alenevien päästöjen vuoksi [5]. Energiaverkon huoltokustannukset saattavat nousta ääri-ilmiöistä johtuen, mutta kustannuksien nousu on kuitenkin vähäistä. Energiateollisuuden arvonlisäyksen ennustetaan vähenevän 37 miljoonalla eurolla vuoteen 2020, 73 miljoonalla eurolla vuoteen 2050 ja 141 miljoonalla eurolla vuoteen 2080 mennessä [6].

Uusiutuvien energialähteiden kuten vesi- ja tuulivoiman osuus energiantuotannosta kasvaa Suomessa ja muualla Euroopassa. Tämä muutoksen seurauksena energiantuotanto myös altistuu enemmän sääolosuhteiden vaihtelulle, mikä voi lisätä varakapasiteetin tarvetta [7,8]. Energiateollisuudessa on aloitettu toimenpiteet ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Käytännössä tämä näkyy esimerkiksi vesivoimalaitosten investointipäätöksissä vaihdettaessa vanhentuvia turbiinirakenteita uusiin [9]. Uudet turbiinit valitaan siten, että ne voivat toimia tehokkaammin tulevissa virtaamaolosuhteissa.

Sähköverkkojen kestävyys sään ääri-ilmiöissä on puhuttanut paljon viime vuosien aikana, kun sekä talvimyrskyt että kesäiset rajuilmat ovat aiheuttaneet laajoja, pitkään kestäviä sähkökatkoja. Kesän 2010 rajuilmojen aiheuttamien metsätuhojen seurauksena sähkön jakeluverkkoja tuhoutui yhteensä noin 35 000 kilometriä. Tämän seurauksena jakelumuuntamoita oli sähköttä kaikkiaan lähes 9 000 [2]. Puiden kaatumisriski kasvaa, kun maaperä ei ole talvella roudassa [10,11,12], ja puut kaatuvat helposti kosteassa maassa. Lisäksi talvella puiden oksiin ja sähkölangoille tietyissä olosuhteissa kertyvä tykkylumi lisää sähkökatkosten riskiä [13]. Voimakkaista tuulista aiheutuva sähkökatkoriski voidaan poistaa siirtämällä ilmakaapelit maaperään [14]. Ratkaisu on kustannuksiltaan kallis, eikä sitä ole vielä toteutettu etenkin harvemmin asutulla seudulla.

---

<sup>1</sup> Energiateollisuus

## Viitteet

1. Johansson, M., Kahma, K., Pellikka, H., 2011. Sea level scenarios and extreme events on the Finnish coast. In: SAFIR2010, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2007-2010, Final Report. Puska. E.-K., Suolonen, V. (Eds.) VTT Tiedotteita – Research Notes: 2571 2011. VTT, Espoo. 578 p. Pages 570-578
2. Onnettomuustutkintakeskus 2010. Heinä-elokuun 2010 rajuilmat. Tutkintaselostus S2/2010Y. <http://onnettomuustutkinta.fi>
3. Bengt Tammelin, Timo Vihma, Evgeny Atlaskin, Jake Badger, Carl Fortelius, Hilppa Gregow, Matti Horttanainen, Reijo Hyvönen, Juha Kilpinen, Jenni Latikka, Karoliina Ljungberg, Niels Gylling Mortensen, Sami Niemelä, Kimmo Ruosteenoja, Kirsti Salonen, Irene Suomi, Ari Venäläinen, Production of the Finnish Wind Atlas, Wind Energy, 2012, 15, 1
4. Gregow, H., Ruosteenoja, K., Pimenoff, N., Jylhä, K. 2011. Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. International Journal of Climatology. In print.
5. Pilli-Sihvola K., Aatola P., Ollikainen M., Tuomenvirta H. 2010. Climate change and electricity consumption – Witnessing increasing or decreasing use and costs? Energy Policy 38 (5), 2409-2419.
6. Perrels, A., Rajala, R., Honkatukia, J. 2005. Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland. FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs 342, Helsinki, 30 pp.
7. Bye T., Bruvoll A. and Auna F.R. 2006. The Importance of Volatility in Inflow in a Deregulated Hydro-dominated Power Market, Statistics Norway, Discussion paper no. 472; 6)
8. Gabrielsen K. – Bye T. – Aune F.R. 2005. Climate Change – Lower Electricity Prices and Increasing Demand – An application to the Nordic Countries, Statistics Norway, Discussion paper no. 430
9. Molarius, R., Keränen, J., Schabel, J. and Wessberg, N. 2010. Creating a climate change risk assessment procedure - Hydropower plant case, Finland. Hydrology Research. Vol. 41 (2010) No: 3 - 4, 282 – 294 doi-link: 10.2166/nh.2010.123
10. Martikainen A., Pykälä M.-L., Farin J. 2007. Recognizing climate change in electricity network design and construction. VTT Tiedotteita - Research Notes: 2419. ISBN 978-951-38-6977-9. VTT, Espoo. 106 p. + app. 80 p.
11. Gregow, H., Ruosteenoja, K., Juga, I., Näsman, S., Mäkelä, M., Laapas, M. ja Jylhä, K., 2011. Lumettoman maan routaolojen mallintaminen ja ennustettavuus muuttuvassa ilmastossa. Raportteja 2011:5, 45 s. Ilmatieteen laitos.
12. Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S., Venäläinen, A. 2011. Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. Silva Fennica 45(1): 35-54.
13. Hoppula, P. 2011. Tykkylumi aiheutti ongelmia tammikuussa. Ilmastokatsaus 1/2011. s.4-6.
14. Verho P. Sarsama J., Strandén J., Krohns-Välimäki H., Hälvä V. ja Hagqvist O., 2011. Sähköhuollon suurhäiriöiden riskianalyysi- ja hallintamenetelmien kehittäminen - Projektin loppuraportti. <http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@1904/@web/@p/documents/liit/p023819.pdf>

### 3.1.8 Matkailu ja luonnon virkistyskäyttö

Hannu I. Heikkinen, Élise Lépy, Pekka Kauppila, Väinö Nurmi, Pauli Jokinen, Kimmo Ruosteenoja ja Reija Ruuhela

*Ilmasto vaikuttaa usein ratkaisevasti matkakohteen valintaan, ja sen vuoksi ilmastonmuutokseen varautuminen on toimialalla tärkeää. Suomen matkailun valttina toimivat luonnonolosuhteet muuttuvat vähitellen, kun talvet lauhtuvat ja lumipeitteinen aika lyhenee. Vastaavasti kesämatkailuun soveltuva kausi pitenee, joten on tärkeää kehittää ympärivuotista matkailua ja varmistaa kesäisen luonnon vetovoimaisuus ja puhtaus. Suomen matkailuelinkeino voi saada myös kilpailullista hyötyä, jos monien nykyisin suosittujen matkakohteiden ilmasto-olosuhteet muualla Euroopassa ja maailmalla heikkenevät. Toisaalta talvikauden vapaa-ajan toimintojen suosio voi hiipua. Lähimatkailun suosio voi myös kasvaa, jos lentolippujen hinnat nousevat tuntuvasti ilmastosyistä. Matkailun kehitys riippuu kuitenkin merkittävästi muista yhteiskunnallisista toiminnoista ja talouskehityksestä.*

#### Hyötyä ja haittaa matkailuelinkeinolle

Ilmaston lämpeneminen tuntuneen ensimmäisenä lumeen liittyvän talvimatkailukauden alussa ja lopussa. Lumettomuuden riski kauden alussa kasvaa nopeasti, kun syksyinen säätyyppi vesisateineen jatkuu entistä myöhempään ja pakkasten puute vaikeuttaa lumitykkien käyttöä. Vastaavasti hiihtokausi päättyy keväällä aikaisemmin. Lumipeite hupenee nopeimmin maan eteläosassa, ja siellä lumen vähäisyys voi olla riski keskitalvellakin. Sen sijaan Lapissa lunta riittää kylmimpinä talvikukausina hyvin varsinkin vuosisadan alkupuolella. Kun talvimatkailuun soveltuva kausi lyhenee, kesämatkailukausi vastaavasti pitenee. Eri vuodenaajoille räätälöityjen ja kokonaan säästä riippumattomien matkailupalveluiden kehittäminen on hyvä keino muutokseen varautumiseksi.

Suomen matkailulle ilmastonmuutoksen tuomat mahdollisuudet saattavat kuitenkin olla jopa haittoja suurempia, varsinkin jos muuttuviin olosuhteisiin osataan varautua ennakoita. Ilmasto vaikuttaa matkakohteiden valintaan, ja Suomen matkailu voi hyötyä ilmastonmuutoksesta, jos kilpailevilla matkailualueilla muualla Euroopassa ilmasto muuttuu huonompaan suuntaan. Talvien lämpenemisen seurauksena lumiraja kohoaa Alpeilla nykyistä korkeammalle ja siitä kärsivät varsinkin alempana rinteillä sijaitsevat talvimatkailukohteet. Välimeren alue taas tulee kesäisin entistäkin kuumemmaksi, minkä seurauksena matkailu voi suuntautua keskikesällä yhä useammin Pohjois-Eurooppaan [1]. Jo nykyisellään eteläisen Euroopan kaupungit ovat usein liian kuumia fyysisesti aktiiviseen toimintaan, kun taas Suomessa kesäiset lämpötilat ovat ulkoilun kannalta sopivia. Etelä-Euroopassa myös sademäärien ennustetaan niukkenevan, jolloin pula vedestä voi rajoittaa massaturismia.

Ilmaston lämmitessä pitkät hellejaksot yleistyvät kuitenkin myös Suomessa ja liiallinen lämpöstressi voi ajoittain aiheuttaa epä mukavuutta. Talvipuolella vuotta sen sijaan kireiden pakkasten todennäköisyys pienenee, mikä lisää ihmisten miellyttäväksi kokemien olosuhteiden osuutta Lapissa keskitalvellakin. Etelä-Suomen ja muun Euroopan lumiolosuhteiden heikkeneminen heikentää vähitellen laskettelun ja hiihtämisen mahdollisuuksia ja tämä voi vähentää pitkällä aikavälillä myös Lapin lumisen vuodenaajan matkailun suosiota.

Suomessa matkailun ja luonnon virkistyskäyttöön liittyvä ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimus on ollut varsin vähäistä. Esimerkkitapauksista saatuja tuloksia voidaan kuitenkin soveltaa samantyyppisissä matkailukohteissa laajemminkin.

## **Matkailu ja sopeutuminen ilmaston lämpenemiseen – esimerkkinä Kuusamo ja Sotkamo**

Luonnonoloista riippuvan matkailun kriittisiä muutostekijöitä ja paikallisia sopeutumiskeinoja tutkittiin VACCIA-hankkeessa Oulun yliopistossa kehitetyllä haavoittuvuuden arviointimallilla. Mallissa keskityttiin ekologisiin, sosiaalisiin ja terveydellisiin vaikutuksiin sekä etsittiin potentiaalisia sopeutumiskeinoja kahdessa Pohjois-Suomen matkailukunnassa: Kuusamossa, jossa sijaitsee Rukan matkailukeskus, ja Sotkamossa, jossa on Vuokatin matkailukeskus [2, 3, 4, 5].

Tutkimustuloksissa korostuivat paikallistason havainnot ja huolet, jotka liittyvät lisääntyneeseen vesistöjen ja kosteikkojen jäätyminen epävarmuuteen, sekä säävaihteluiden tuomat riskit erityisesti talvimatkailulle, liikenteelle ja markkinoinnille. Riskien kasvu liittyy varsinkin siihen, että sää ei käyttäydy tavalla, johon on aiemmin totuttu.

Ilmastonmuutokseen liittyvät sään epävarmuustekijät yhdistettynä suureen riippuvuuteen talvikauden matkailusta voivat olla paikallisesti merkittäviä riskejä. Mikäli talviesonki tulee lyhenemään ja lumipeite vähenee pysyvästi, se voi lisätä asiakasmääriä huippukausina, ylikuormittaa paikallisia palveluita, mukaan lukien terveys- ja turvallisuuspalveluita, ja heikentää matkailuinfrastruktuurin vuosittaista käyttöastetta. Toisaalta ilmaston lämpenemisen vaikutukset voivat olla ristiriitaisia: esimerkiksi pintavesien lämpeneminen voi pidentää uima- ja veneilykautta, mutta jos vedenlaatu heikkenee leväkasvustojen ja mikrobitoiminnan lisääntyessä, kehitys saattaa johtaa muun muassa uinti- ja juomavesikieltoihin. Tällaiset muutokset taas voivat heikentää luonnon matkailullista vetovoimaa.

### **Matkailupalveluiden kehittäminen sopeutumiskeinona**

Tärkeimmät ennakoivat sopeutumiskeinot ovat ympärivuotisen matkailun kehittäminen sekä muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin ja vaihtelevaan säähän soveltuvien vaihtoehtoisten matkailupalvelujen kehittäminen. Matkailun merkittävin sopeutumishaaste on kuitenkin sen riippuvuus muista yhteiskunnallisista toiminnoista kuten lomakausien sijoittumisesta ja taloudellisesta kehityksestä. On myös huomattava, että matkailun lähtöalueilla tapahtuvat yhteiskunnalliset ja ympäristölliset muutokset voivat olla erilaisia kuin matkailun kohdealueilla. Tällä saattaa olla hyvin suora ja nopea vaikutus kohdealueen matkailuun.

Lyhyen aikajänteen sopeutumisessa olisi keskityttävä turvallisten vesistöjen ylityspaikkojen rakentamiseen sekä teiden talvikunnossapidon parantamiseen. Lisäksi vaihtoehtoisia matkailupalveluja olisi kehitettävä vaihteleviin sääoloihin.

Pitkällä aikajänteellä matkailureitistöt olisi saatava kokonaan kuivalle maalle ja ne tulisi pohjustaa niin, että niitä voidaan käyttää ympärivuotisesti ja vähällä lumella. Riskialueille, esimerkiksi alaville ranta-alueille rakentamista, olisi vältettävä ja ympärivuotisia matkailukohteita ja vetovoimatekijöitä olisi kehitettävä.

Lisäksi matkailun ilmastovaikutusten vähentämiseksi olisi matkailuinfrastruktuurin käyttöasteita ja tehokkuutta lisättävä, joukkoliikennettä kehitettävä ja paikallista uusiutuvaa energiantuotantoa tehostettava. Vaihtoehtoiset liikennetarkaisut ovat taas yhteydessä muun muassa energiaan ja teknologiaan liittyviin valtion ohjaukeinoihin kuten verotarkaisuihin ja yhteiskunnan tukiin joukkoliikenteelle.

### **Keskeiset tutkimus- ja seurantarpeet**

- Ilmastonmuutoksen vaikutuksia matkailuun on tutkittava ottaen huomioon sekä matkailun kohde- että lähtöalueet.
- Paikallisten ilmastovaihteluiden ja ilmastoskenaarioiden tutkimusta on lisättävä.
- Poikkitieteellisiä menetelmiä on kehitettävä ilmastonmuutoksen sekä terveys- ja turvallisuuskysymysten tutkimiseksi.

Ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia matkailun kohdealueisiin olisi seurattava osana suunnitteluprosessia useilla mittareilla, joista osa kaipaa jatkokehittämistä:

Ympäristömittarit	Matkailumittarit	Muut mittarit
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lämpötila</li> <li>- Sateisuus</li> <li>- Tuulisuus</li> <li>- Pakkasen ja suojasään vaihtelu</li> <li>- Lajisto ja biodiversiteetti</li> <li>- Lumipeite</li> <li>- Lumensyvyys</li> <li>- Vesistöjen jäätyminen</li> <li>- Vedenlaatu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yöpymisvuorokausien määrä ja jakauma</li> <li>- Lentoliikenteen ja -matkustajien määrä ja jakauma</li> <li>- Matkailutulo ja -työllisyys</li> <li>- Väestömäärä ja -rakenne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uusiutuvan energian osuus lämmitys- ja sähköenergiasta</li> <li>- Ulkoinen ja sisäinen joukkoliikenne</li> <li>- Terveyskeskuskäynnit</li> <li>- Liikenneonnettomuudet</li> </ul>

### Taloudelliset vaikutukset

Matkailualan taloudellista merkitystä Suomessa on viimeksi selvitetty tarkasti vuodelta 2007. Matkailutoimiala työllisti tuolloin 130 500 henkilöä, toi verotuloja noin 4 miljardia euroa ja sen osuus bruttokansantuotteesta oli 3,8 % [6]. Suomen matkailustrategia 2020 asettaa tavoitteeksi nostaa vastaavat tunnusluvut 171 100 henkilöön, 7,5 miljardin verotuloihin ja 5,1 % osuuteen bruttokansantuotteesta vuoteen 2020 mennessä. Joka tapauksessa matkailu on Suomessa kasvava elinkeino [7]. Matkailun kasvu on yleinen ilmiö myös maailmanlaajuisesti. Toisaalta kansainvälisistä matkailijoista huomattava osa saapuu kohteisiin lentokoneella, joten lentämisen mahdollinen kallistuminen voi pienentää tulevaisuuden matkailijamäärää.

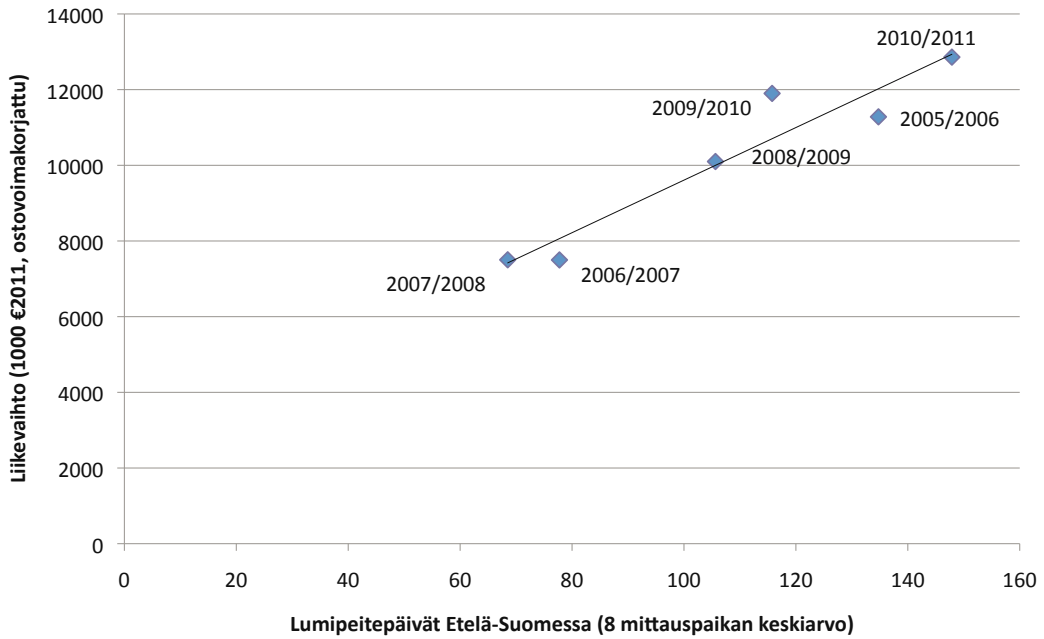
Lämpötilan kohoamisen vaikutukset näkyvät alueesta ja vuodenaikasta riippuen monin tavoin. Lämpötilojen kohoaminen alkutalvesta voi olla kohtalokasta Suomen vahvoilla talvimatkailualueilla, sillä se myöhentää talvisesonin alkua. Viimeaikaisia leutoja ja kylmiä talvia vertailemalla voidaan arvioida ilmaston vaihtelun vaikutusta talvimatkailuun. Etelä-Suomen kymmenen suurimman hiihtokeskuksen hissilippumyynnin liikevaihto vaihteli sesonkien 2006/2007 ja 2007/2008 noin 7,5 miljoonasta eurosta talven 2010/2011 lähes 13 miljoonaan euroon. Liikevaihdot ovat ostovoimakorjattuja ja ilmoitettu vuoden 2011 euroissa. Lumipeitepäivien (yli 5 cm lunta maassa, 8 aseman keskiarvo) määrä vaihteli tarkasteluvälillä Etelä-Suomessa talven 2007/2008 noin 70 päivästä talven 2010/2011 lähes 150 päivään. Kuvassa 3.4. nähdään liikevaihdon ja lumipeitepäivien välinen riippuvuus talvina 2005/2006 – 2010/2011.

Epäluotettavat alkutalvet vaikeuttavat marraskuun mainostamista lumeen liittyvällä toiminnalla ja lumettomuus voi häiritä joulumatkailuakin [4]. Kesän lämpötilojen nousu vauhdittaa matkailua koko Suomessa, varsinkin mikäli vesistöjen rehevöitymisen pysäyttämiseen löydetään keinot [5].

Suomessa ei ole tutkittu ilmastonmuutoksen taloudellisia kokonaisvaikutuksia matkailuelinkeinoon. Sen sijaan ilmastonmuutoksen maailmanlaajuisen matkailu- ja talousvaikutusten tutkimuksen perusteella [9] näyttää siltä, että matkailutuloista osa siirtyy nykyisin suosituista kohteista (Välimeren kohteet yms.) muille alueille (esimerkiksi Pohjoismaat). Toisaalta tulot jakautuvat uudelleen myös alueiden sisällä, esimerkiksi Suomessa mahdollisia hyötyjiä ovat kesäsesonkiin panostavat yrittäjät (saaristokohteet) ja häviäjiä hiihto- ja laskettelukeskukset. Muutoksen määrän arvioidaan olevan vuoteen 2050 mennessä häviäjien kannalta noin -0,3 % bruttokansantuotteesta ja noin 0,5 % hyötyjien kannalta. Matkailua tarkasteltaessa Suomi olisi tämän tutkimuksen mukaan yksi suurimpia ilmastonmuutoksesta hyötyjiä, tosin oletuksella, että muu yhteiskunnallinen, taloudellinen ja ympäristöllinen kehitys ei häiriinny ilmastonmuutoksen seurauksena.



### Liikevaihto ja lumipeitepäivät



Kuva 3.4. Liikevaihdon ja lumipeitepäivien välinen korrelaatio talvina 2005/2006 – 2010/2011. Jokainen lumipäivä lisää liikevaihtoa Etelä-Suomessa keskimäärin 70 000 €. Selitysaste 91 %.[8] (Nurmi ja Jokinen, 2012).

## Viitteet

1. Amelung B. and A. Moreno, 2009. Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA-Tourism study. (<http://peseta.jrc.ec.europa.eu>)
2. Heikkinen, Hannu I., Kauppila, P., Lépy, È., Ponnikas, J. & Rautio, A. 2011. Matkailu. Julk.: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen Ympäristö 26/2011. Ss. 54-57.
3. Heikkinen, H. I. (toim.), Suopajarvi, T., Huusko, A., Karjalainen, T. P., Kauppila, P., Koskela, A., Mustonen, V., Ponnikas, J., Rantala, S., Rautio, A., Saarinen, J., Savela, H., Siikamäki, P. & Tervo-Kankare, K. 2010. Ilmastonmuutos ja matkailun haasteet Kuusamossa ja Sotkamossa. Oulun yliopisto, Thule-instituutti, Oulu.
4. Kauppila, P., Heikkinen, H. I., Lépy, E., Ponnikas, J., Rautio, A. & Vihervaara, V. 2011. Ilmastonmuutos ja matkailu pohjoisilla alueilla: haavoittuvuuskynnyksiä ja sopeutumiskeinoja. Oulun yliopisto, Thule-instituutti, Oulu.
5. Heikkinen H, I., Karjalainen T, P., Kauppila P., Lépy È., Ponnikas J., Rautio A., Saarinen J. 2011. Adaptation to climate change and monitoring needs of change in northern tourism destinations. Thule Institute, UNipress, Oulu. (Also in Finnish "Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja muutoksen seuranta pohjoisilla matkailualueilla").
6. Tilastokeskus, [www.tilastokeskus.fi](http://www.tilastokeskus.fi)
7. Työ- ja elinkeinoministeriö, Suomen matkailustrategia 2020 – 4 hyvää syytä edistää matkailutoimialojen kehitystä, [www.tem.fi](http://www.tem.fi)
8. Nurmi, V. ja Jokinen, P. 2012: Myynti hiihtokeskuksissa riippuu lumipeitepäivistä. Ilmastokatsaus 2/2012.
9. Berritella, Maria; Bigano, Andrea; Roson, Roberto; Tol, Richard S.J. 2006. A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism, *Tourist management* 27 (2006) 913-924.

### 3.1.9 Vakuutusala

Väinö Nurmi ja Karoliina Pilli-Sihvola

*Vakuuttaminen riskienhallintakeinona perustuu riskien kokoamiseen ja jakamiseen. Sää- ja ilmasto-riskin vakuuttamisesta ongelmallisen tekee vakuutettavien samanaikainen altistuminen korvauksia aiheuttavalle ilmiölle. Tähän voidaan sopeutua jakamalla riskiä alueellisesti siten, että vakuutetaan alueita, joihin suuretkaan luonnonkatastrofit eivät osu samanaikaisesti. Maantieteellisessä hajauttamisessa jälleenvakuuttajilla on merkittävä rooli. Ilmastonmuutos aiheuttaa vakuutusmarkkinoille vaikeuksia, koska historiallisten tietojen perusteella ei voida arvioida tulevia vahinkoja entiseen tapaan. Tarvitaan menetelmiä, joissa ilmastotilastoja ja ilmastonmuutosskenaarioita hyödynnetään yhdessä historiallisen vahinkotiedon kanssa arvioitaessa tulevaisuudessa tapahtuvia korvauksia. Mikäli vakuutusala ei pysty vastaamaan ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin haasteisiin, on vaarana, että sääriskiltä ei voi suojautua vakuutuksella. Suurin osa vakuuttajista ei ollut vielä vuonna 2009 toiminut sopeutuakseen ilmastonmuutoksen aiheuttamiin vaikutuksiin.*

#### Sääriskin vakuuttaminen

Vakuutukset perustuvat riskien kokoamiseen ja jakamiseen. Suuri joukko vakuutuksenostajia ostaa vakuutuksen ja maksut talletetaan rahastoihin, joista maksetaan korvauksia niille, jotka ovat kokeneet vakuutusehdoissa sovittuja vahinkoja. Saatujen vakuutusmaksujen tulee riittää kattamaan vakuutusyhtiön toiminnan kulut ja vakuutuskorvaukset sekä yhtiön omistajien voitto-osuuden [1].

Varmistaakseen maksukykyensä korvaustilanteissa vakuutusyhtiö pyrkii kokoamaan yhteen sellaisia riskejä, jotka eivät ole toisistaan riippuvaisia. Näin vakuutus vähentää yleistä riskitasoa, sillä odotetut korvaukset voidaan arvioida tarkasti tilastotieteen keinoin. Sää- ja ilmatoriskin vakuuttamisesta ongelmallisen tekee vakuutettavien samanaikainen altistuminen korvauksia aiheuttavalle ilmiölle – maatalousriittäjän pellolle tuhoa aiheuttanut myrsky tekee tuhoja yleensä myös muille alueen pelloille. Riskiä, joka toteutuessaan toteutuu usealle samaan aikaan, kutsutaan systemaattiseksi riskiksi. Sääriskien systemaattisuutta on tutkittu Suomessa esimerkiksi maatalouden satovahinkojen osalta [2].

Sääriskejä sisältävä vakuutuskansio siis sisältää aina systemaattisen riskinosan, jota vakuutusyhtiö ei voi hajauttaa pois. Jälleenvakuutus voi tarjota vakuuttajalle tavan jakaa altistumista systemaattiselle riskille, mutta jälleenvakuutus on usein kallis eikä aina edes saatavilla. Vakuutusmaksut nousevat yleensä sääriskejä sisältävien vakuutusten kohdalla korkeiksi, laskevat vakuutuksien kysyntää ja edesauttavat virheellisen valikoitumisen ongelmaa. Lisäksi yksittäisten vakuutuksenottajien riskitasoa ja käyttäytymistä on vaikea arvioida, mikä voi näkyä joko korkeina valvontakustannuksina tai moraalikato-ongelmana [3]. Virheellinen valikoituminen tarkoittaa sitä, että vakuutuksenottajiksi valikoituu helposti vain kaikista riskillisimpiä toimijoita, mikä pakottaa vakuutusyhtiöt yhä nostamaan vakuutusmaksuja niiden altistuessa yhä suuremmille riskeille [4]. Moraalikato tarkoittaa, että vakuutuksenottajat saattavat laiminlyödä normaaleja suojautumistapoja tai harjoittaa riskillisempää liiketoimintaa vakuutuksen otettuaan [5]. Riskien vakuutettavuudesta löytyy selviä yhtymäkohtia ilmastonmuutoksen tuomiin haasteisiin – Rejdaa mukailen [6]:

- Suuri joukko heterogeenisiä vakuutettavia, jotka kohtaavat satunnaisia riskejä.
- Vakuutuskenottaja voi vaikuttaa vahinkojen todennäköisyyteen tai suuruuteen vain vähän, eli vahingot ovat tapaturmaisia ja tarkoituksettomia.
- Vahinkojen tulisi olla kohdistettavissa tiettyyn ilmiöön ja niiden suuruusluokan mitattavissa.
- Katastrofivahingot vaikeita vakuuttaa, sillä vahinkojen tulee olla mahdollisimman riippumattomia toisistaan – muuten katastrofin sattuessa on riski vakuutusyhtiön maksukyvyyn säilymisestä.
- Mahdollisten vahinkojen suuruusluokan tulisi olla etukäteen arvioitavissa niin, että vakuutusyhtiö voi asettaa vakuutusmaksut oikean suuruisiksi
- Vakuutusmaksu ei saisi olla niin suuri, että se houkuttelee vain riskillisimmät vakuutuskenottajat.

## Ilmastonmuutoksen haasteet

Yllä olevista syistä johtuen kaikkia sää- ja ilmatoriskejä vastaan ei voida hankkia vakuutusta, joiltain toimialoilta vakuutukset puuttuvat kokonaan. Ennakoimattomat muutokset ääri-ilmiöiden luonteessa, mittakaavassa tai sijainnissa ovat suurimpia uhkia vakuutusteollisuudelle. Jo nyt on näyttöä, että muutokset sään ääri-ilmiöiden voimakkuudessa ja esiintymistiheydessä ovat merkittäviä tekijöitä viimeaikaisten tappioiden synnyssä vakuutusyhtiöille [7, 8]. Maailman suurimman jälleenvakuuttajan Munich RE:n katsauksen [9] mukaan vuosi 2011 oli kaikkien aikojen kallein luonnonkatastrofien aiheuttamien tuhojen osalta. Erilaiset sääilmiöt aiheuttivat luonnonkatastrofeja useammin kuin koskaan aikaisemmin, vaikka kaikista suurimpien tuhojen syynä olivatkin maanjäristykset. Yhdysvaltojen tornadokauden kustannukset olivat esimerkiksi noin kaksi kertaa suuremmat kuin edellisenä ennätysvuotena 2010 - vahingot yltyivät lähes 46 miljardiin dollariin. Näistä vahingoista 25 miljardia dollaria oli vakuutettu. Katsauksen mukaan äärimmäisten sääilmiöiden suuri määrä Yhdysvalloissa selittyi pitkälti La Niña-ilmiöllä.

Vakuutusyhtiöt saattavat joutua korvaamaan erittäin suuria, ennalta-arvaamattomia korvauksia. Tämä johtuu osittain siitä, että menneisyyden avulla pyritään selittämään tulevaisuutta ottamatta samalla huomioon muutoksia vahinkoa aiheuttavien sääilmiöiden todennäköisyyksissä. Ilmastonmuutos asettaa entistä suuremmat haasteet vakuutussektorille, sillä lähes kaikki vakuuttajat ovat jollain lailla altistuneita ilmastonmuutokselle - vakuuttivat ne sitten omaisuutta, maatalouden satoja, metsiä, sähköntuotantoa tai ihmishenkiä. Tarvitaan menetelmiä, joissa ilmastotilastoista ja ilmastonmuutoskenaarioista saatavaa tietoa hyödynnetään yhdessä historiallisen vahinkotiedon kanssa arvioitaessa tulevaisuudessa tapahtuvia korvauksia. Vakuuttamisessa on otettava huomioon ainakin seuraavat sääilmiöihin liittyvät tekijät [7]:

- lyhyemmät välit ääri-ilmiöiden välillä
- vahinkojen hajonnan kasvu
- muuttuvat ilmiöt
- ilmiöiden voimakkuuden mukana eksponentiaalisesti kasvavat vahingot
- ilmiöiden maantieteellisen jakauman muutos
- maantieteellisesti korreloivat riskit
- enemmän yksittäisiä tapauksia, joiden toteutumiset kuitenkin korreloivat keskenään.

Mikäli vakuutusala ei pysty vastaamaan näihin haasteisiin on vaarana, että sääriskiltä suojautuminen jää talouden toimijoiden omalle vastuulle tai valtioiden harteille. Molemmat näistä vaihtoehdoista ovat tehottomia talouden toiminnan kannalta. Vakuuttamaton riski saattaa johtaa varovaiset päätöksentekijät epäroimään odotusarvoltaan kannattavienkaan projektien aloittamista. Toisaalta valtion rooli vakuuttaja on usein ongelmallinen: sen tehokkuus riskien kokoajana ja erottelijana on usein poliittista syistä rajoitettu – vakuutukset ovat usein saatavilla kaikille samaan hintaan riskitasosta ja käyttäytymisestä huolimatta – ja siitä syystä tehokkuus on useissa artikkeleissa kyseenalaistettu [10].

Vielä vuonna 2005 suurin osa vakuutusyhtiöistä ei ollut ottanut ilmastonmuutosta millään lailla huomioon liiketoiminnassaan tai strategiassaan [7]. Myös yhteydet ilmastotutkijoihin ja kansallisiin meteorologisiin laitoksiin olivat heikot. Vuonna 2009 maailmanlaajuinen vakuutusalan tutkimuksen kattojärjestö "The Geneva Association" julkaisi raportin "The insurance industry and climate change", jossa pohdittiin ilmastonmuutoksen haasteita ja siihen sopeutumista vakuutusalan kannalta. Sen mukaan suurin osa vakuuttajista toimi edelleen vuonna 2009 alhaisella sopeutumistasolla ja suurin osa ilmastonmuutoksen taloudellisten vaikutusten tutkimuksesta tehtiin ulkopuolisten tahojen toimesta, sopeutumistoimet olivat rajoitettuja ja joskus jopa taloudellisten tavoitteiden vastaisia [11].

## **Sopeutuminen**

Voidakseen vakuuttaa sää- ja ilmatoriskejä vastaan, vakuutusyhtiöiden on pystyttävä määrittämään kasva- neet riskit mahdollisimman tarkasti ja siirtämään laskelmansa vakuutusten hintoihin. Systemaattisten riskien kohdalla hajauttamista on tehostettava maantieteellisesti, toiminnollisesti ja ajallisesti.

Riskejä voidaan koota yhteen erittäin laajoilta alueilta ja jopa eri riskejä eri toimialoilta. Muodostettu vakuu- tettujen joukko muodostetaan ennen kuin vahingot sattuvat ja toisistaan kaukaisetkin toimijat voivat olla jakamassa toisten riskejä jopa tietämättään. Tämä maantieteellinen ja toiminnallinen riskin kokoaminen ja hajauttaminen tulee entistä tärkeämmäksi sää- ja ilmatoriskeihin liittyvien systemaattisten riskien kasvaessa. Kun vakuutusmekanismilla voidaan jakaa riskejä sellaisten alueiden yli, joihin edes suuret luonnonkatastrofit eivät voi vaikuttaa samaan aikaan, saadaan aikaan parempi suojautumistaso. Tällainen riskin jakaminen yli alueiden tulee olemaan yksi keskeisistä sopeutumiskeinoista [11]. Jälleenvakuuttajilla – vakuutusyhtiöiden vakuutusyhtiöillä – on merkittävä rooli riskin maantieteellisessä hajauttamisessa.

Yksi mahdollisuus on sääriskin hajauttaminen pääomamarkkinoille, jotka ovat kooltaan erittäin paljon jälleen- vakuutusmarkkinoitakin suuremmat. Asiaa vaikeuttavat korkeat sopimuskustannukset, jotka johtuvat lähinnä siitä, etteivät sijoittajat tunne sää- ja ilmatoriskejä kovinkaan hyvin. Riskipreemio – eli maksu siitä, että joku muu kantaa riskin – kohoaa helposti korkeaksi.

Vakuutusyhtiöt voivat myös yrittää estää vahinkoja tai ainakin pienentää vahinkojen mittaluokkaa. Sääriskin yhteydessä tämä tarkoittaa tehokkaampaa suojautumista ja sopeutumista vakuutettujen osalta. Näihin toimenpiteisiin voidaan vakuutettuja kannustaa esimerkiksi halvemmillä vakuutusmaksuilla, pitkäaikaisilla sopimuksilla tai korkeammilla omavastuuosuuksilla. Vakuutusyhtiöt voivat näillä toimenpiteillä ohjata vakuu- tettuja turvallisempaan käyttäytymiseen – esimerkiksi liikenteessä – ja samalla pienentää omaa altistumistaan riskeille. Kannustaminen yhä tehokkaampaan suojautumiseen on tärkeää vakuutusyhtiöiden kannalta [7].

Vakuutusyhtiöt voivat ainakin joiltain osin yrittää hillitä myös itse ilmastonmuutosta ja näin pienentää myös omaa altistumistaan entistä suuremmille riskeille. Teollisuudessa voidaan esimerkiksi antaa alennuksia, mikäli vakuutuksenottaja sitoutuu noudattamaan tiettyjä ympäristöystävällisiä normeja. Liikennevakuutus voi olla halvempi sellaisten autojen osalta, joiden päästöt ovat normaalia pienemmät [11]. Tällaisesta toiminnasta saattaa olla hyötyä myös vakuutusyhtiöiden maineelle. Lisäksi vakuutusyhtiöt voivat suursijoittajina vaikuttaa siihen, miten sijoituskohteina olevat yritykset vähentävät päästöjään.

## **Vakuutusala Suomessa**

Finanssialan keskusliiton mukaan vahinkojen suuruusluokka on kasvussa niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa. Merkittävimmät syyt löytyvät vakuutetun omaisuuden arvon kasvussa ja kaupungistumisessa, joka saattaa johtaa ihmisten ja omaisuuden keskittymisestä myös riskialttiille alueille. Ilmastonmuutoksen

tähän astisia vaikutuksia vakuutusyhtiöiden korvaustaakkaan ja vakuutussektoriin Suomessa on vaikea arvioida. Vaikutukset ovat kuitenkin tähän mennessä todennäköisesti olleet pieniä. Merkittävä muutos tällä hetkellä on jälleenvakuuttajien aktivoituminen omien riskiensä tarkastelussa ja vakuutusehtojen muuttaminen riskejä rajoittavaan suuntaan [12]. Jälleenvakuuttajat toimivat ensivakuuttajan vakuutusyhtiönä, joista ensivakuuttaja voi hakea korvauksia maksamistaan vahingonkorvauksista. Vuodesta 2005 jälleenvakuuttajat ovat aktivoituneet edelleen [11].

Ilmastonmuutoksen taloudellista vaikutusta Suomen vakuutussektoriin on hyvin vaikea arvioida. Vakuutusalan kohdalla kokonaisvaikutus riippuu pitkälti siitä, miten edellä esitellyt sopeutumistoimenpiteet hyödynnetään. Lisäksi paljon riippuu myös siitä, mihin suuntaan sää- ja ilmatoriskin jakamisen markkinat kehittyvät; ollaanko siirtymässä tilanteeseen, jossa yksilöt kantavat oman riskinsä, kollektivisoidaanko riskit valtion kannettaviksi vai saavatko vakuutusyhtiöt sääriskeihin liittyvät ongelmat ratkaistua ja muutettua kannattavaksi liiketoiminnaksi.

## Viitteet

1. Hardaker, J.B. Huirne, R.B.M. Anderson, J.R. Lien, G. 2004. *Coping with risk in agriculture*, Cabi publishing 2004.
2. Nurmi, V. 2011. Äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamat satovahingot ja satovahinkoriskin jakaminen. *Kansantaloustieteen Pro Gradu – tutkielma*.
3. Miranda, M.J. Vedenov, D.V. 2001. Innovations in agricultural and natural disaster insurance. *American journal of agricultural economics* 83:650-655.
4. Akerlof, G. A. 1970. The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3): 488-500.
5. Holmstrom, B. 1979. Moral Hazard and Observability. *The Bell Journal of Economics*. 10(1): 74-91.
6. Rejda, G. E. 2003. *Principles of Risk management and Insurance*, Pearson Education Limited.
7. Mills, E. 2005. Insurance in a climate change. *Science* 309: 1040-1044.
8. Association of British Insurers, 2004. *Financial risks of climate change*, London 2004.
9. Munich RE, 2012, *Review of natural catastrophes in 2011: Earthquakes result in record loss year*, Press release: [http://www.munichre.com/en/media\\_relations/press\\_releases/2012/2012\\_01\\_04\\_press\\_release.aspx](http://www.munichre.com/en/media_relations/press_releases/2012/2012_01_04_press_release.aspx)
10. Priest, G. L. 1996. The Government, the Market, and the problem of catastrophic loss. *Journal of risk and uncertainty* 12:219-237.
11. The Geneva Association 2009. *The insurance industry and climate change - Contribution to the global debate*. [www.genevaassociation.org](http://www.genevaassociation.org)
12. Kivisaari, E. 2005. *Vakuutusala, aktuaari ja ilmastonmuutos*. [http://www.actuary.fi/fi/liitteet/syys/2005\\_Kivisaari\\_fi.pdf](http://www.actuary.fi/fi/liitteet/syys/2005_Kivisaari_fi.pdf)

## 3.2 Luonnon monimuotoisuus

*Luonnon monimuotoisuus, biodiversiteetti, on ihmisen hyvinvoinnille välttämätöntä ja elävän luonnon tarjoamien aineettomien ja aineellisten hyötyjen, ekosysteemipalveluiden, säilyminen on varmistettava ilmaston muuttuessa. Ilmastonmuutos vaikuttaa merkittävästi ekosysteemien toimintaan ja sitä kautta moniin ekologiisiin, taloudellisiin ja sosiaalisiin hyötyihin, joita luonnon monimuotoisuus tuottaa ihmiselle. Euroopasta on löydetty yli 11 000 vieraslajia, joiden aiheuttamat haitat alkuperäiselle luonnon monimuotoisuudelle ja ekosysteemipalveluille ovat merkittäviä ja nopeasti lisääntymässä. Aggressiivisesti leviävät vieraslajit hyötyvät ilmastonmuutoksesta suhteessa enemmän kuin alueen alkuperäinen lajisto. Sen sijaan useille uhanalaisille lajeille, kuten saimaannorpalle, muuttuvasta ilmastosta on haittaa. Ekosysteemipohjaisilla sopeutumistoimilla pyritään ylläpitämään ja vahvistamaan ihmiselle tärkeitä ekosysteemipalveluja sekä ylläpitämään luonnon monimuotoisuutta. Suojelualueet ovat tärkeitä monimuotoisuuden säilyttämisessä ja sopeutumisessa ilmastonmuutokseen.*

### 3.2.1 Johdanto

Heikki Toivonen

Biodiversiteettisopimuksen asettaman asiantuntijaryhmän mukaan luonnon monimuotoisuuden ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen suhdetta pitäisi tarkastella kolmesta näkökulmasta [1]:

1. Miten biodiversiteetin sopeutumista ilmastonmuutoksen seurauksena muuttuviin olosuhteisiin voidaan parhaiten edistää?
2. Voivatko biodiversiteetti ja ekosysteemit auttaa ilmastonmuutokseen sopeutumisessa?
3. Miten erilaiset sopeutumistoimet vaikuttavat biodiversiteettiin?

Suojelualueet ovat tärkeitä edistettäessä luonnon monimuotoisuuden sopeutumista ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin. Suojelualueet on perustettu luonnon monimuotoisuuden suojelun kannalta merkittävillä alueilla ja useimmat haitalliset tekijät vaikuttavat suojelualueilla selvästi vähemmän kuin niiden ulkopuolella. Ekologisesti toimivia ja riittäviä suojelualueverkostoja onkin esitetty tärkeimmäksi sopeutumista edistäväksi keinoksi. Myös suojelualueiden väliset ekologiset yhteydet ovat muuttuvissa oloissa tärkeitä. Suojelualueiden välisten alueiden tulisi olla sellaisia, että eliölajien siirtyminen alueelta toisella olisi mahdollista olosuhteiden muuttuessa.

Eliöstön ja luontotyyppien sopeutumisen kannalta on tärkeää, että niihin kohdistuvia muita paineita kuten elinympäristöjen vähenemistä, pirstoutumista ja laadun muutosta, liiallista pyyntiä, tulokaslajeja ja kemiallista kuormitusta pystytään vähentämään. Suojelualueiden luontoarvot pitäisi myös pitää elinympäristöjen hoidon ja ennallistamisen avulla mahdollisimman hyvinä.

Tässä luvussa esiteltävät tutkimukset lisäävät tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista luonnon monimuotoisuuden ja sopeutumiskeinoista, mutta ovat kokonaisuuden kannalta varsin suppeita. Lisää tietoa tarvitaan eliöiden ja luontotyyppien herkkyydestä ilmastonmuutoksen vaikutuksille alueellisesti ja koko suojelualueverkoston tasolla. Tulisi tehdä eliölajiston ja ekosysteemien herkkyyksianalyysjä ja kehittää tämän tiedon pohjalta lajien,

elinympäristöjen sekä suojelualueiden hoitoa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautumiseksi. Esimerkiksi suo- ja kosteikkoluonto sekä pohjoiset ekosysteemit olisivat tässä suhteessa tärkeitä tutkimuskohteita. Tulevaisuudessa jouduttaneen nykyistä useammin turvautumaan lajien alkuperäisten esiintymisen ulkopuolella tapahtuvaan ns. *ex situ* -suojaan sekä eliöiden siirtoon / palauttamiseen, mistä syystä näiden menetelmien hyötyjä ja rajoituksia tulisi selvittää selvästi nykyistä enemmän.

Luonnon monimuotoisuuden merkitykseen ilmastonmuutokseen sopeutumisessa sekä toisaalta eri sektorien sopeutumistoimien vaikutuksiin biodiversiteettiin tulisi kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota. Ekosysteemipohjaisilla sopeutumistoimilla (Ecosystem-based adaptation, EBA) tarkoitetaan ekosysteemien suojelemaan, kestävästi käyttämään, ja kunnostukseen perustuvia toimia osana ilmastonmuutoksen sopeutumista [1]. Niiden avulla pyritään ylläpitämään ja vahvistamaan ihmiselle tärkeitä ekosysteemipalveluja sekä ylläpitämään biodiversiteettiä.

Ilmastonmuutos vaikuttaa merkittävästi myös ekosysteemien toimintaan ja sitä kautta moniin ekosysteemipalveluihin, toisin sanoen niihin ekologiin, taloudellisiin ja sosiaalisiin hyötyihin, joita luonnon monimuotoisuus tuottaa ihmiselle. Vuosituhannen ekosysteemi-arvion [Millennium Ecosystem Assessment, 2] mukaan ilmastonmuutoksen on useimmissa tapauksissa arvioitu heikentävän ekosysteemien kykyä tuottaa ekosysteemipalveluja. Tämä riippuu kuitenkin suuresti määrin alueellisista ja paikallisista olosuhteista. Monien ekosysteemien biologisen tuottokyvyn on ennustettu nousevan pohjoisilla alueilla. Tämä lisää yhtäältä niiden käyttömahdollisuuksia, mutta toisaalta aiheuttaa uusia uhkia alueiden nykyiselle eliöstölle.

Ekosysteemien hiilivarastot ja niiden hiilensidontakyky on ilmastonmuutoksen hillinnän ja siihen sopeutumisen kannalta keskeinen ekosysteemipalvelu. Luonnon ja muutettujen ekosysteemien hiilitaseita ja kykyä hiilen sidontaan tulisi selvittää ja arvioida tämän tiedon pohjalta luonnonsuojelualueiden hoitoa sekä talouskäytössä olevien alueiden käyttöä. Myös laadultaan heikentyneiden ekosysteemien ennallistamistarvetta ja -tapoja tulisi selvittää.

### 3.2.2 Luonnon monimuotoisuus, ekosysteemipalvelut ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon

Petteri Vihervaara

Luonnon monimuotoisuus on evoluution vaikutuksesta pitkän ajan kuluessa muodostunutta uusiutumaton luontopääomaa. Uusien lajien syntyyn vaadittava aika on vähintään tuhansia vuosia, yleensä kuitenkin kymmeniätuhansia, satojatuhansia tai jopa miljoonia vuosia. Lajien sopeutuminen muuttuviin elinympäristöihin vaatii myös runsaasti aikaa, vaikka tulokaslajit voivat toisinaan sopeutua uusiin olosuhteisiin hyvinkin nopeasti. Lajien elinkierron pituus on keskeinen luonnonvalinnan kautta sopeutumisoikeuteen vaikuttava tekijä, ts. nopean ilmastonmuutoksen seurauksena pienikokoiset, nopeasti lisääntyvät lajit ovat suurikokoisia ja hitaasti lisääntyviä paremmissa asemassa. Toki paikalliseen ja alueelliseen sopeutumiseen vaikuttavat monet muut ekologiset ominaisuudet kuten esimerkiksi asema ravintoverkossa, ravinnon käyttö, leviämiskyky, talvehtimisstrategia ja lisääntymisstrategia.

Ekosysteemipalvelut luokitellaan useimmiten tuotanto-, säätely-, kulttuuri- ja tukipalveluihin Vuosituhannen ekosysteemi-arvion mukaan [2]. Esimerkiksi metsäekosysteemit tarjoavat puuraaka-aineen lisäksi monia muita tuotantopalveluita, kuten riistaa, marjoja ja sieniä. Säätelypalveluista metsät vaikuttavat mm. hiilensidontaan, ravintokiertoihin, eroosion ehkäisemiseen sekä veden- ja ilmanlaatuun. Kulttuuripalveluina metsää voidaan arvostaa vaikkapa virkistyksen, maiseman tai henkisen nautinnon ja hyvinvoinnin lähteenä. Fotosynteesi on esimerkki tukipalvelusta, josta muut kolme ekosysteemipalveluluokkaa riippuvat. Samoin muut ekosysteemit kuten pellot, suot, järvet, joet ja Itämeri tuottavat monia erilaisia ekosysteemipalveluita.

Ekosysteemipalvelut eli hyödyt, joita me ihmiset luonnosta saamme ja joista olemme riippuvaisia, ovat seurausta ekosysteemin toiminnasta. Ekosysteemiprosessit taas ovat luonnon monimuotoisuuden ominaisuuksista



syntyneitä eliöiden välisiä vuorovaikutuksia. Pölytys on usein esitetty esimerkki toiminnosta, josta hyötyvät sekä pölytettävä kasvi että ravintoa saava pölyttäjähöynteinen. Ihminen hyötyy tuosta ekologisesta vuorovaikutuksesta välillisesti ekosysteemipalveluina.

Ekosysteemipalveluiden sopeutuminen ilmastonmuutokseen riippuu täysin siitä, miten luonnon monimuotoisuus sopeutuu. Eri ekosysteemipalveluiden vastetta ilmastonmuutokseen ei tässä pystytä aukottomasti kuvaamaan, ja tarvitaan myös lisää tutkimustietoa ja seurantaa. Vaikka tulevaisuusskenaarioiden epävarmuustekijät ekosysteemipalveluiden sopeutumisessa voivat olla suuria, voidaan sektorikohtaisia yleispiirteisiä johtopäätöksiä kuitenkin tehdä [3]. Mikäli kestävällä maankäytöllä ja onnistuneella suojelualueverkostolla pystytään turvaamaan elinympäristöjen nykytila ja mahdollisuuksien mukaan sitä vielä parantamaan, on myös luonnon monimuotoisuudella ja yksittäisten lajien tuottamilla ekosysteemipalveluilla hyvät mahdollisuudet sopeutua muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin.

### 3.2.3 Vieraslajit ja luonnon monimuotoisuus

Risto Heikkinen ja Juha Pöyry

Ilmastonmuutoksen ohella muutkin globaalit ympäristömuutokset voivat aiheuttaa luonnonvaraisen eläin- ja kasvilajiston uhanalaistumista sekä pysyviä muutoksia elinympäristöissä ja vaikeuttaa niiden sopeutumista ilmastonmuutokseen. Yksi tärkeimmistä globaaleista ympäristömuutoksista on vieraslajien leviäminen [4,5], jonka taustalla on voimakkaasti lisääntynyt kansainvälinen ja erityisesti mannerten välinen kauppa ja liikenne [6]. Euroopasta on löydetty yli 11 000 vieraslajia, joiden aiheuttamat haitat alkuperäiselle luonnon monimuotoisuudelle ja ekosysteemipalveluille ovat merkittäviä ja nopeasti lisääntymässä [7]. Vieraslajeista aiheutuu myös merkittäviä taloudellisia haittoja, esimerkiksi Euroopassa niiden on arvioitu aiheuttavan vuosittain noin 10 miljardin euron kustannukset [8]. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa vieraslajeja on toistaiseksi vähemmän kuin muualla Euroopassa [9]. Niiden ekologinen ja taloudellinen merkitys tulee kuitenkin kasvamaan, koska ennusteiden mukaan ilmastonmuutos aiheuttaa Pohjois-Euroopassa muun muassa kasvukausien pitenemistä ja talvien muuttumista leudommiksi, sisävesien lämpötilojen kohoamista ja jääpeitteisyyden vähenemistä. Tämänkaltaiset muutokset edesauttavat vieraslajien leviämistä uusille alueille ja lisäävät niiden haittavaikutuksia alueen alkuperäiselle lajistolle ja luonnonympäristöille [10].

Vieraslajien leviämisessä on neljä päävaihetta: (1) lajin kulkeutuminen uudelle alueelle (tahattomasti tai ihmisen tietoisella myötävaikutuksella), (2) kolonisaatiovaihe, jonka aikana vieraslajin on säilyttävä hengissä ja pystyttävä lisääntymään uudella alueella, (3) vakiintumisvaihe, jonka aikana vieraslajin populaatiot vakiintuvat myös luonnonympäristöihin, ja (4) lajin leviäminen eteenpäin uusille esiintymispaikoille [5,10,11]. Pohjois-Euroopassa ilmaston lämpeneminen tulee edesauttamaan vieraslajien leviämistä tämän leviämisprosessin jokaisessa vaiheessa. Lämpenevä ilmasto kasvattaa vieraslajien uuteen paikkaa saapuvien lisääntymiskykyisten eliöiden määrää eli leviäinpainetta (propagule pressure) ja edistää tiheämpien ja laajempien populaatioiden kehittymistä. Invaasioalueella ei useinkaan esiinny vieraslajien kantoja rajoittavia luontaisia kilpailijoita, petoja ja loisia [12,7]. Lisäksi vieraslajit sopeutuvat usein monenlaisiin ilmasto-olosuhteisiin ja niiden leviämiskyky ja populaatioiden kasvunopeus ovat korkeita. Siten aggressiivisesti leviävät vieraslajit hyötyvät ilmastonmuutoksesta suhteessa enemmän kuin alueen alkuperäinen lajisto. Onkin ilmeistä, että myös Suomessa nykyään esiintyvien vieraslajien kannat voimistuvat, ja nämä lajit leviävät yhä useammin luonnonympäristöihin ja uusille alueille. Lämpenevän ilmaston myötä maahamme leviää useita kokonaan uusia vieraslajeja, ja kokonaisuutena vieraslajien haittavaikutukset voimistuvat. Vieraslajien ja ilmastonmuutoksen haittavaikutuksiin sopeutumisessa keskeistä on varhainen torjuntatoiminta, jolloin lajin lisääntymiskykyisten yksilöiden hävittäminen on vielä mahdollista [13]. Vieraslajien tahattomien kulkeutumisreittien sekä kaupan ja tietoisien siirtämisen valvontaa tulisi tiukentaa, lisäksi keskeisille toimijoille suunnattua ohjeistusta ja tiedottamista tulee tehostaa.

### 3.2.4 Esimerkkejä sopeutumisen haasteista luonnon monimuotoisuudelle

#### *Rönsy- ja pohjasorsimo, etelänsuosirri, hömötiainen*

Marko Hyvärinen

Ilmaston lämpenemisen ennustetaan muuttavan merkittävästi useiden kasvi- ja eläinpopulaatioiden elinolosuhteita ja johtavan luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen kiihdyttämällä eliölajien sukupuuttoa [14,15]. Vaikka monia elinympäristöjä on Suomessa näennäisesti laajasti jäljellä, pitkäaikaiset muutokset elinympäristöjen laadussa yhdessä ilmaston muuttumisen kanssa ovat aiheuttamassa tilanteen, jossa useiden kasvi- ja eläinlajien säilyminen vaatii sopeutumistoimia. Sopeutumiskeinot ovat sekä suoranaisia elinympäristöjen laatua parantavia toimia että erityistoimia, jotka kohdistuvat suoraan uhanalaisten kasvi- ja eläinpopulaatioiden suojeleluun joko alkuperäisessä ympäristössä (*in situ*) tai sen ulkopuolella (*ex situ*).

Ympäristön muuttumisen ja ilmaston muutoksen uhat ovat merkittäviä Suomessa. Esimerkiksi viimeisten 20 vuoden aikana Euroopan yleisten metsälintujen populaatiot ovat taantuneet keskimäärin 9 %, voimakkaimmin Pohjois- ja Etelä-Euroopassa [16]. Erityisesti Pohjois-Euroopassa taantumisen syynä pidetään intensiivistä metsätaloutta. Eliölajien säilymisen kannalta on oleellista niiden vaatimien elinympäristöjen säilyminen ja toisaalta lajien kyky muuttaa levinneisyysalueitaan ilmastonmuutoksen myötä.

Tarkasteltujen lajien elinympäristöissä, habitaatteissa, erityisesti metsien ikärakenteen ja puulajikoostumuksen muutokset sekä rannikkovesien rehevöityminen yhdessä ilmastonmuutoksen kanssa muodostavat merkittävän uhkatekijän. Rannikolla ilmastonmuutoksen on ennustettu aiheuttavan meriveden nousua sekä lisäävän myrskyjen aiheuttamia tulvia. Meriveden korkeuden pysyvä nousu hidastaa maankohoamisen aikaansaamaa uuden maarannan paljastumista, mikä pitkällä aikavälillä vaikeuttaa pioneerilajien populaatioiden menestymismahdollisuuksia.

Perämeren alavien rantaniittyjen elinolosuhteet tulevat muuttumaan ilmaston muuttumisen myötä monen lajin kannalta. Rannat ovat ensisijainen elinympäristö merkittäväle osalle (12,9 %) Suomen uhanalaisista lajeista [17]. Kasvupaikkojen umpeenkasvu todettiin selkeästi merkittävimmäksi uhkatekijäksi. Rantojen umpeenkasvuun johtaneita syitä ovat maankäytön muutokset – perinteisestä rantalaidunnuksesta ja luonnonheinän korjuusta luopuminen – sekä vesien rehevöityminen. Tämä altistaa rantaniittyjen lajistoa edelleen ilmastonmuutoksen vaikutuksille.

Vedenkorkeuden vaihtelut ja siinä tapahtuvat muutokset vaikuttavat eri tavalla eri lajeihin ja muutokset kumpaankin suuntaan voivat siksi olla haitallisia. Jäiden liike ja vedenkorkeuden vaihtelut vaurioittavat erityisesti kookkaampaa kasvillisuutta ja vähentävät mm. järviruo'on aiheuttamaa rantaniittyjen paikallista umpeenkasvua. Uhanalaiset pohjansorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*) ja rönsysorsimo (*Puccinellia phryganodes*) tarvitsevat maankohoamisen paljastamaa uutta rantaa ja rantavyöhykkeeseen vapaata kasvualaa muodostavia voimakkaita häiriöitä [18]. Ilmastonmuutos uhkaa näitä lajeja vähentämällä maankohoamisen vaikutusta rantaniittyjen muodostumiseen, käytännössä kaventamalla kasvillisuudesta vapaata alinta rantavyöhykettä. Toisaalta voimakkaiden tuulien ja tulvien esiintymisen ennustetaan runsastuvan, mikä saattaa lisätä rantojen avoimuutta.

Ilmastonmuutoksen lisäämillä tulvilla on toisaalta haitallisia vaikutuksia rantaniittyjä pesimäalueenaan käyttävien lintupopulaatioiden elinkyvyn kannalta. Erityisen alttiita ovat niittyjen matalimmissa osissa pesivät lajit kuten Perämerellä pesivä erittäin uhanalainen etelänsuosirri (*Calidris alpina schinzii*). Osa tämän pienikokoisen kahlaajan pesistä tuhoutuu vuosittain tuulen nostamissa tulvissa, mikä on petojen ja laiduntavan karjan aiheuttaman tallauksen ohella merkittävä uhkatekijä lisääntymismenestykselle. Jos laidunnettavaksi valitaan

liian alavia rantoja tai rannan osia saatetaan luoda ympäristöjä, jotka ovat lintujen kannalta tuulitulvaherkkiä. Toisaalta karjan laidunnuksesta on myös hyötyä rantaniittyjen lajistolle, sillä kasvillisuus on matalampaa ja matalakasvuisia lajeja esiintyy yleisemmin kuin laiduntamattomilla niityillä. Matalakasvuisilla niityillä laiduntavat merihanhet muokkaavat myös kasvivyhteisöjä, mutta eivät kykene merkittävästi hidastamaan kasvillisuuden nopeasti etenevää muuttumista [18].

Suomessa metsien puulajikoostumus ja ikärakenne ovat merkittävästi muuttuneet, vaikka metsän määrä on pysynyt ennallaan. Lisäksi metsätalouden käytännöt ovat johtaneet kuolleen puun määrän vähenemiseen metsissä, jolloin monet lahoppuusta riippuvaiset lajit ovat taantuneet talousmetsissä. Metsätalous on vähentänyt mallilajina käytetyille hömötiaiselle (*Poecile montanus*) sopivien pesimä- ja talvehtimisalueiden määrää ja yleisesti laskenut metsäalueiden kantokykyä. Kantokyvyltä kuvataan tietyn lajin maksimaalista määrää, jonka ympäristö kykenee ylläpitämään tietyssä elinympäristössä.

Hömötiaiselle pesäpaikan valinnan tärkein tekijä näyttäisi olevan pesimiseen sopivan pystyssä seisovan lahoppuun määrä. Hömötiaiset ovat erittäin paikkauskollisia: pari voi jatkaa pesimistä samalla reviiirillä, vaikka hakkuu tai harvennus olisi huonontanut reviiirin laatua merkittävästi, mikäli alueelle jää yksikin pesimiseen kelpaava pötkelö. Myös muut varpuslinnut hyötyvät hömötiaisesta, sillä ne käyttävät hömötiaisen vanhoja koloja pesäpaikkoinaan. Kolopesijöillä pesäpaikkojen puute voi rajoittaa populaatiokokoa. Elinympäristön pirstoutumisen ja pesäpaikoista käytävän kilpailun vuoksi osa yksilöistä voi joutua asettumaan huonompiin elinympäristöihin, missä pesimismenestys voi olla heikko [19].

Keväiden lämpenemisen myötä hömötiaisen pesintä Pohjois-Suomessa on merkittävästi aikaistunut viimeisen 35 vuoden aikana [20]. Lämpeneminen mahdollistaa myös tiaisten poikasten ruokkimiseen käyttämien koi-  
vuissa elävien toukkien saannin entistä aikaisemmin. Hömötiaisen pesintä osuu lämpiminä keväinä paremmin yhteen ravinnon saatavuuden kanssa, jolloin poikasten ruokinta on helpompaa ja lisääntymismenestys hieman paranee. Ilmaston lämpenemisen myötä lämpimiä keväitä tulee olemaan entistä useammin, jolloin pesinnän ajoituksen odotetaan keskimäärin paranevan. Kuitenkin ilmaston lämpenemisen mahdollisesti tuomat hyödyt eivät todennäköisesti pysty kompensoimaan sopivan elinympäristön vähenemisen ja laadun heikkenemisen aiheuttamia haittoja.

## **Saimaannorppa**

Mervi Kunnasranta, Miina Auttila, Marja Niemi ja Markku Viljanen

Saimaannorppia on alle 300 yksilöä. Pienilukuisen kannan kasvua on jo pitkään heikentänyt erityisesti nuoriin ikäluokkiin kohdistuva kalastuksen sivusaaliskuolleisuus [21,22,23]. Uudeksi kasvavaksi uhkatekijäksi 2000-luvulla ovat myös nousseet norpan pesinnälle epäotolliset ilmasto-olosuhteet. Heikentyneen kannankehityksen takia sekä Kansallinen eliölajien uhanalaisuuden arvioinnin työryhmä [17] että Kansainvälinen luonnonsuojeluliitto [24] ovat määritelleet saimaannorpan äärimmäisen uhanalaiseksi. Saimaannorpan suojelun strategia ja toimenpidesuunnitelma [25] linjaa tavoitteeksi norppakannan vakaan kasvun ja sen, että kannan koko, rakenne ja esiintymisalue saavuttaisivat suotuisan suojelun tason. Kunnianhimoisena välitavoitteena on, että saimaannorpan talvikanta kasvaisi vähintään 400 yksilöön vuoteen 2025 mennessä. Ilmastonmuutos yhdessä sivusaaliskuolleisuuden kanssa on kuitenkin selkeästi yksi suurimpia uhkia tavoitteiden saavuttamiselle.

Norpan lisääntymismenestys riippuu pitkälti pesinnälle otollisesta jää- ja lumipeitteestä. Norppa on myös laji, josta lämpenevän ilmaston kielteiset vaikutukset ovat ensimmäisenä havaittavissa [26,27]. Maantieteellisen eristyisyytensä aikana norppakanta on kokenut Saimaassa luontaisia lämpökausia ennenkin. Nykyinen

ilmaston lämpeneminen on kuitenkin nopeaa. Hitaasti lisääntyvän norpan pieni populaatiokoko vaikeuttaa muutokseen sopeutumista erityisesti tilanteessa, jossa kanta on jo uhattuna muiden tekijöiden takia. Norpalla on varsin spesifiset elinympäristövaatimukset, eikä sillä myöskään ole mahdollisuutta siirtää levinneisyysaluettaan pohjoisemmaksi monen muun lajin tavoin, vaan norppakanta on sidottuna Saimaaseen.

Norpan sopeuttaminen ilmastonmuutokseen lähtee siitä, että kanta täytyy saada kasvamaan nykyistä paljon suuremmaksi, jolloin se runsaslukuisempaan myös pystyy sopeutumaan paremmin ympäristöolosuhteiden muutoksiin. Pieni populaatiokoko on jo itsessään suuri riski [28,29,30], kun pelkästään sattuman seurauksena saimaannorppakanta voi ajautua sukupuuttoon. Lämpenevän ilmaston kielteiset vaikutukset kohdistuvat ennen kaikkea norpan lisääntymismenestykseen. Nuorten ikäluokkien kuolleisuutta onkin selkeästi pienennettävä nykyisestä kannan tulevaisuuden turvaamiseksi.

Ilmastonmuutosta ei voida enää kokonaan estää ja ilmastonmuutoksen hillintä vaatii kansainvälisiä sopimuksia. Sen sijaan nykyiseen norppien nuorten ikäluokkien pääasialliseen kuolinsyyhyyn, kalastuksen sivusaalisuhteiden voimaksi tahtotila löytyy. Poikasten eloonjäämisen turvaaminen muiden kuolinsyiden osalta parantaa myös sopeutumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Myös suorat ja aktiiviset sopeuttamistoimet kohdistuvat nuoriin ikäluokkiin ja niiden selviytymiseen. Pesintäolosuhteiden keinotekoinen parantaminen eri keinoin on yksi mahdollisuus lieventää ilmastonmuutoksen vaikutuksia. ISTO-hankkeessa toteutettu apukinoskoikeilu osoitti, että norppa hyväksyy myös ihmisen kasaamat kinokset pesäpaikoikseen ja pesäpaikanvalintaa voidaan jossain määrin myös ohjata [31]. Menetelmä on toimiva ja käyttökelpoinen silloin, kun lunta ja jäätä on vielä jonkin verran käytettävissä. Täysin lumettomia ja jäättömiä talvia varten pesinnän turvaaminen edellyttää todennäköisesti keinotekoisia pesärakenteita.

Saimaannorpan suojelun tehostamisella ja kannan entistä tarkemmalla seurannalla on yhä suurempia kansallisia ja kansainvälisiä veloitteita. Norppaan kohdistuvien uhkien kartoitus, erityisesti ilmastonmuutoksen osalta, suojelun tehostaminen ja samalla suojelutoimenpiteiden yleinen hyväksyttävyyttä edellyttävät vankkaa tietopohjaa, johon arviot ja toimenpiteet perustuvat. Tutkittu tieto norpan ekologiasta: pesinnästä, petopaineesta, paikkauskollisuudesta ja liikkeistä sekä alueellisesta sijoittumisesta luo perustaa myös kannan koon tarkemmalle seurannalle ja uhkaavien tekijöiden arvioimiselle. Saimaannorpan käyttäytymisekologian tuntemiselle on tarve niin suojelubiologisesti kuin sosioekonomisten vaikutusten arvioinnin ja suojeluperusteiden läpinäkyvyyden kannalta.

### ***Ilmastonmuutos vaikuttaa läntisen Suomenlahden lajistoon***

Marko Reinikainen

Ilmastonmuutos näkyy läntisen Suomenlahden lajistossa jo nyt sekä suorina vaikutuksina lajien fenologiaan että epäsuorina vaikutuksina lajien elinoloihin. Fenologisia vaikutuksia on tutkittu erityisesti muuttolinnoissa, hyödyntäen muun muassa Hangon lintuaseman yli 30 vuoden muuttoseurantoja [32,33]. Tutkimukset ovat keskittyneet erityisesti kevätkuuttoon. Niiden mukaan edeltävän talven ja alkukevään ankaruus vaikuttavat kevätkuuton ajoittumiseen usealla lintulajilla. Erityisesti muutokset näkyvät vesilinnuissa, kahlaajissa ja lokkilinnuissa; vaikutukset heijastuvat muuttokäyttäytymiseltään lyhyen tai keskipitkän matkan muuttajiin. Vähiten kevään aikaistumiseen ovat reagoineet kaukokuuttajat. On huomionarvoista, että myöhäinen saapuminen suhteessa kevään alkuun saattaa vaikuttaa kielteisesti lajin menestymiseen. Kaukokuuttajien joukossa onkin useita taantuvia lajeja. Eniten ilmastonmuutoksesta näyttäisivät hyötyvän alueen osittaismuuttajat, joiden talvikuolleisuutta leudot talvet pienentävät [34].

Ilmastonmuutoksen epäsuorista vaikutuksista ovat selvimmin näkyvillä suolapitoisuuden lasku ja veden lisääntynyt sameus. Itämeren suolapitoisuudessa voidaan havaita laajaa lyhytaikaisempaa vaihtelua, mutta Suomenlahden rannikolla pitkäaikainen suuntaus on ollut heikosti laskeva. Itämeren suolapitoisuutta säätelee Tanskan salmien läpi tulevat suolapulssit, makean veden virtaama ja sadanta. Ilmanpaineen ja vedenkorkeuden vaihtelut selittävät pulssien todennäköisyyttä. Ilmastonmuutosta on esitetty suolapulssien harvinaistumisen syyksi. Veden sameuteen vaikuttavat sekä rehevöityminen että valuma-alueelta tuleva muu liennut ja hiukkasmuotoinen aines. Ravinnepäästöt ovat ensisijaisesti ihmisen toiminnan aiheuttamia, ja ne olisivat lisääntyneet ilmastonmuutoksesta huolimatta. Tulvat ja sateet voivat kuitenkin lisätä ravinteiden ja samentavien aineiden huuhtoumia entisestään. Myös kuivien ja sateisten jaksojen ajallisella jakaumalla on merkitystä; esim. kuivina kesinä maaperään jää enemmän ravinteita, jotka huuhtoutuvat syksyllä ja keväällä mereen. Muita havaittuja muutoksia ovat keväinen jäiden lähdön aikaistuminen ja kasviplanktonin kasvuhuipun hivuttautuminen keväästä kohti loppukesää [35].

Lajistotasolla muuttuneet fysikaalis-kemialliset olosuhteet vaikuttavat useisiin keskeisiin lajeihin. Särkikannat hyötyvät sekä rehevöitymisestä että veden makeutumisesta kutumenestyksenä [36]. Päinvastainen ilmiö on nähtävissä ulkosaariston haukikannoissa, jotka ovat romahtaneet veden samenenemisen ja rakkolevän vähenemisen myötä [37]. Sinisimpukka elää suolapitoisuuden osalta sietokykynsä rajoilla. Se on pohjaeläinten osalta avainlaji, johon suolapitoisuuden lasku ja särkikalajien saalistuspaine heijastuvat [38]. Sinisimpukka on myös tärkeää ravintoa muun muassa haahkalle ja kampelalle, jotka ovat taantuvia lajeja. Ihmiselle ehkä silmiinpistävin muutos on merimetsokannan voimakas vahvistuminen, johon vaikuttaa saaliskalojen (muun muassa särkikalajien) runsauden lisäksi mahdollisesti myös leuto sää talvehtimisalueilla [35].

Kaiken kaikkiaan läntisen Suomenlahden lajisto on siis kokenut merkittäviä muutoksia. On selvää, että näitä selittävät osittain ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset. Yhtä selvää on, että osa muutoksista heijastuu lajistoon epäsuorasti muuttuneiden fysikaalis-kemiallisten olojen johdosta, ja että ilmastonmuutoksen vaikutukset tapahtuvat yhteisvaikutuksessa muiden muutosten – erityisesti rehevöitymisen – kanssa sekä lajienvälisen vuorovaikutusten kautta.

Läntisen Suomenlahden muutoksia kuvaavia tieteellisiä pitkäaikaishavaintoja on kerätty Helsingin yliopiston Tvärminnen eläintieteellisen aseman ylläpitämään VACCIA-paikkatietojärjestelmään (<http://maps.helsinki.fi>) [39].

### 3.2.5 *Ex situ* -suojelusta apua heikoimmin menestyville lajeille

Marko Hyvärinen

Mikäli elinympäristöjä hoitamalla ei kyetä parantamaan uhanalaisten populaatioiden tilaa voidaan lajeja pyrkiä suojelemaan elinympäristönsä ulkopuolella (*ex situ*) ja sen jälkeen vahvistamaan populaatioita siirtoistutuksin. Tarkastelluista 314:sta Suomessa uhanalaisesta kasvilajista (IUCN-luokitellut lajit, habitaattidirektiivin lisäosan II tai IV mainitsevat lajit, nk. Suomen vastuulajit [40] sekä luonnonsuojeluasetuksessa mainitut suojellut lajit) ainoastaan 56 lajia on jonkinasteisen *ex situ* -suojelun piirissä kasvitieteellisissä puutarhoissa, erityisesti Oulun ja Helsingin yliopistoissa. Tilanteen parantamiseksi ja kansainvälisesti asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi (Maailmanlaajuisen kasvistonsuojelustrategian 75 % suojelutaso) on laadittu 11-kohtainen toimintaohjelma [41,42].

### 3.2.6 Luonnon monimuotoisuuden taloudellinen arvottaminen

Väinö Nurmi

Monien mielestä luonnon monimuotoisuudelle ei voida määrittää rahallista arvoa tai arvo on äärettömän suuri [esim. 43]; Jokaisen eläin- ja kasvilajin olemassaolo on itseisarvo, jolle ei voida antaa rahallista arvoa. Yhteismitallisen arvottamisen puute kuitenkin estää myös vertailun siitä, mihin niukkoja voimavaroja tulisi kohdistaa: Rakennetaanko moottoritie suoraan vai onko perusteltua rakentaa se tunnelien sisälle niin, että liito-oravat eivät häiriinny liikenteestä? Rakennetaanko sairaala syöpään sairastuneille lapsille vai estetäänkö jonkin lajin kuoleminen sukupuuttoon seuraavan 10 vuoden sisällä?

Voidaksemme vastata näihin kysymyksiin, on unohdettava itseisarvonäkökulma ja luotava työkaluja taloudellisten tunnuslukujen antamiseen myös vaikeasti arvoitettaville asioille. Arvottaminen tapahtuu seuraavilla ehtoilla: se on luonteeltaan hyöty- ja ihmiskeskeistä ja välineellistä; monimuotoisuudella on arvoa vain niin kauan kuin ihmiset haluavat sitä, arvo syntyy nimenomaan ihmisten osoittamasta halusta sitä kohtaan ja luonnon monimuotoisuus nähdään vain yhtenä välineenä ihmisten hyvinvoinnille [44]. Samoista lähtökohdista on syntynyt myös ekosysteemipalveluiden käsite. Ekosysteemipalvelut nähdään ihmisten hyvinvoinnin edellytyksenä [45].

Luonnon monimuotoisuuden arvottaminen ei ole yksinkertaista ja arvottamiseen on monia erilaisia menetelmiä. Kysymyksenä voi olla esimerkiksi se, minkä hinnan ihmiset olisivat valmiita maksamaan estääkseen yhden eläin- tai kasvilajin kuoleman sukupuuttoon tai – sama kysymys käännettynä – minkä korvauksen he hyväksyisivät yhden eläin- tai kasvilajin kuolemasta. Käytännössä näiden arvojen selvittämiseen käytetään maksuhalukkuustutkimuksia, jotka voidaan toteuttaa joko kyselynä tai tutkimalla ihmisten käytöstä. Näiden tutkimusten tarkoituksena on ottaa huomioon paitsi kaupankäynnin kohteena olevat ekosysteemipalvelut kuten metsissä kasvava puutavara, mutta myös sellaiset palvelut, joille ei ole olemassa vaihdantamarkkinoita. Näihin ekosysteemipalveluihin sisältyvät esimerkiksi luonnonsuojelualueet ja niiden virkistysarvo [46]. Käytöstutkimusten osalta esimerkiksi veronmaksuhalukkuus tai lahjoitukset ympäristönsuojelulle voivat olla signaaleja ihmisten osoittamasta arvosta [44].

Arvoperusteisissa tutkimuksissa kysymyksenasettelu on erittäin tärkeää ja voi johtaa hyvin erilaisiin tuloksiin eri tutkimusten välillä. Tappiot tuntuvat usein mittaluokaltaan voittoja suuremmilta ja siksi maksuhalukkuuskyselyt (willing-to-pay) ja korvauksen hyväksymiskyselyt (willing-to-accept) antavat toisistaan poikkeavia tuloksia [47].

Luonnon monimuotoisuus on luonteeltaan abstrakti asia ja sen arvo sellaisenaan ihmisille on ääretön. Sitä vastoin muutoksen arvo nykytilasta johonkin toiseen selkeästi määriteltyn tilaan voidaan arvioida [46]. Tällainen muutos voi olla esimerkiksi jonkin tietyn eläin- tai kasvilajin kuoleminen sukupuuttoon. Näitä arvioita on koottu yhteen ja huomattu, että ihmiset antavat eri eläin- ja kasvilajeille eri arvoja [48]. Esimerkiksi ruotsalaiset olivat valmiita maksamaan suden säilyttämisestä keskimäärin yli 100 euroa. Joskus lajin arvo voi olla myös negatiivinen – yritetään esimerkiksi keksiä tapoja hävittää Dengue-kuumetta levittäviä hyttysiä. Yksittäisten lajien lisäksi on yritetty arvottaa myös eläinlajijoukkoja kuten 300 lajin eläinryhmää, abstraktimpia asioita kuten ”luonnonsuojelu” tai ”puhdas vesi sisävesissä” tai arvoa tietyille sektorille, kuten puhtaan luonnon arvoa matkailulle [48]. Costanzan et al. (1997) synteisiraportissa [46] tehtiin kirjallisuuskatsauksen ja muutamien laskelmien perusteella karkea arvo ekosysteemipalveluiden kokonaisarvosta. Kokonaisarvo muodostui lähes kaksinkertaiseksi verrattuna maailman bruttokansantuotteeseen. Tutkimusta on kritisoitu voimakkaasti sen käyttämien arvostusmenetelmien takia ja absurdin lopputuloksen takia, mutta se herätti myös laajaa kiinnostusta jatkotutkimukseen ja arvostusmenetelmien kehittämiseen [45].

Vieraslajien leviämisestä on arvioitu aiheutuvan 10 miljardin vuosittaiset haittavaikutukset Euroopassa [50]. Arviointimenetelmää tai laskutapaa ei kuitenkaan esitetty. Suomessa vieraslajien leviämisen taloudellisia

vaikutuksia ei ole arvioitu. Tutkimusta tarvittaisiin taloudellisista haittavaikutuksista sekä elinkeinoelämälle että Suomen luonnolle ja alkuperäisille lajeille. Tutkimuksessa tulisi ottaa huomioon ekosysteemipalveluiden eri ulottuvuudet, eikä tyytyä pelkästään tuotannollisten näkökulmien arvottamiseen.

Ekologisia tekijöitä voidaan ottaa huomioon päätöksenteossa myös asettamalla reunaehtoja. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi alueen muuttamista luonnonsuojelualueeksi tietyllä kriteerillä ja toimenpiteiden kieltämistä alueella. Näin alue ja sen ekologiset ominaisuudet siirtyvät päätöksenteon kontekstiksi ja pois päätettävistä asioista [45]. Reunaehdoksi asettamisen taustalla on kuitenkin aina myös ajatus suojeltavan kohteen korkeasta arvosta, joka arvioidaan reunaehdoksi siirtämisen kustannuksia suuremmaksi ilman yhteismitallisen arvon laskemistakin.

## Viitteet

1. SCBD 2009. Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second Ad hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. CBD Technical Series 41. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.
2. Millennium Ecosystem Assessment 2005. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press, Washington DC.
3. Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuoremaa, J. & Forsius, M. (toim.). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. 74 s. ([www.ymparisto.fi/syke/vaccia](http://www.ymparisto.fi/syke/vaccia), 12.1.2012)
4. Mack, R.N., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Evans, H., Clout, M. & Bazzaz, F.A. 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* 10: 689–710.
5. Korsu, K. 2005. Tulokaslajit leviävät – globaali haaste ekologeille. *Tieteessä Tapahtuu* 4: 29–32.
6. Hulme, P.E. 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology* 46: 10–18.
7. Heikkinen, R., Pöyry, J., Fronzek, S. & Leikola, N. 2011. Ilmastonmuutos ja vieraslajien leviäminen Suomeen – tutkimustiedon synteesi ja suurilmastollinen vertailu. *Suomen Ympäristö, painossa*.
8. Hulme, P.E., Pysek, P., Nentwig, W. & Vila, M. 2009. Will threat of biological invasions unite the European Union? *Science* 324(5923): 40–41.
9. Weidema IR (toim.) 2000. Introduced species in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers, Århus.
10. Hellmann, J.J., Byers, J.E., Bierwagen, B.G. & Dukes, J.S. 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology* 22: 534–543.
11. Rahel, F.J. & Olden, J.D. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology* 22: 521–533.
12. Blumenthal, D., Mitchell, C.E., Pysek, P. & Jarosik, V. 2009. Synergy between pathogen release and resource availability in plant invasion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 7899–7904.
13. Simberloff, D. 2009. We can eliminate invasions or live with them. *Successful management projects. Biological Invasions* 11: 149–157.
14. Pitman, N & Jørgensen, P.M. 2002. Estimating the size of the world's threatened flora. *Science*, 298, 989.
15. Hahns, A.K., McDonnell, M.J., McCarthy, M.A., Vesk, P.A., Corlett, R.T., Norton, B.A., Clemants, S.E., Duncan, R.P., Thompson, K., Schwartz, M.W. & Williams, N.S.G. 2009. A global synthesis of plant extinction rates in urban areas. *Ecology Letters*, 12, 1165–1173.

16. PECBMS, 2007. State of Europe's common birds, 2007. CSO/RSPB, Prague, Czech Republic.
17. Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim./eds.) 2010. Suomen lajien uhanalaisuus –Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 685 s.
18. Aikio, S., Hyvärinen, M., Koivula, K., Lampila, S., Markkola, A.M., Niemelä, M. & Pakanen, V.M. 2011. Between devil and (not a very) deep blue sea Endangered sea shore species in a changing climate. VACCIA reports, Action #11 deliverable (<http://tinyurl.com/6vv8yvk>, 11.1.2012).
19. Stephens, S.E., Koons, D.N., Rotella, J.J. & Willey, D. W. 2003. Effects of habitat fragmentation on avian nesting success: a review of the evidence at multiple spatial scales. *Biological Conservation* 115:101–110.
20. Vatka, E., Orell, M. & Rytönen, S. 2011. Warming climate advances breeding and improves synchrony of food demand and food availability in a boreal passerine. *Global Change Biology* 17: 3002–3009.
21. Kokko, H., E. Helle, J. Lindström, E. Ranta, T. Sipilä & F. Courchamp 1999. Backcasting population sizes of ringed and grey seals in the Baltic and Lake Saimaa during the 20th century. – *Annales Zoologici Fennici* 36: 65-73.
22. Sipilä, T. 2003. Conservation biology of Saimaa ringed seal (*Phoca hispida saimensis*) with reference to other European seal populations. Ph.D. thesis, University of Helsinki, Finland . 40 pp.
23. Niemi, M., M. Auttila, M. Viljanen & M. Kunnasranta. 2011. Home range, survival and dispersal of critically endangered Saimaa ringed seal pups: implications for conservation. *Marine Mammal Science* DOI: 10.1111/j.1748-7692.2011.00521.x.
24. Kovacs, K. M., A. Aguilar, D. Aurioles ym. 2011:. Global threats to pinnipeds. *Marine Mammal Science*, doi: 10.1111/j.1748-7692.2011.00479.x
25. Anon. 2011. Saimaannorpan suojelun strategia ja toimenpideohjelma. Saimaannorpan suojelutyöryhmän ehdotus 31.3.2011. Ympäristöministeriö, 110 s.
26. Kelly, B. P. 2001. Climate change and ice breeding pinnipeds. Sivut 43–55 teoksessa G.-R. Walther, C. A. Burga and P. J. Edwards, toim. "Fingerprints" of climate change. Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, NY.
27. Ferguson, S., Stirling, I. & McLoughlin, P. 2005. Climate change and ringed seal (*Phoca hispida*) recruitment in western Hudson bay. – *Marine mammals science* 21 (1): 121-135.
28. Palo, J. 2003. Genetic diversity and phylogeography of landlocked seals. – PhD Dissertation, University of Helsinki.
29. Palo, J. U., H. Hyvärinen, E. Helle, H. S. Mäkinen & R. Väinölä. 2003. Postglacial loss of microsatellite variation in the landlocked Lake Saimaa ringed seal. – *Conservation Genetics* 4: 117-128.
30. Valtonen, M., Palo, J. U., Ruokonen, M., Kunnasranta, M. & T. Nyman 2011. Spatial and temporal variation in genetic diversity of an endangered freshwater seal (lähetetty arvioitavaksi).
31. Auttila, M., Niemi, M., M. Viljanen & M. Kunnasranta. 2011. Manmade snowdrifts – improving breeding conditions of the endangered Saimaa ringed seal. 1 9th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Tampa.
32. Ekroos, J., Lehtikoinen, A., Lehtikoinen, P. & Pynnönen, P. 2004. Harvalukuisten lintujen esiintyminen Hangon lintuasemalla 1979–2002. — *Tringa* 31: 74–93.
33. Lehtikoinen, A. (toim.), Ekroos, J., Jaatinen, K., Lehtikoinen, P., Piha, M., Vattulainen, A. & Vähätalo, A. 2008. Lintukantojen kehitys Hangon lintuasemalla 1979–2007. — *Tringa* 35: 146–209.
34. Lehtikoinen, A. 2010. Lintujen muuton ajoittumisen tutkiminen Hangon lintuasemalla. Vaccia, Action 5, Deliverable 4. [http://maps.tvarminne.helsinki.fi/graphics/Halias-lintudata\\_FI.html](http://maps.tvarminne.helsinki.fi/graphics/Halias-lintudata_FI.html) 11.1.2012.
35. Jokinen, H. Major potentially climate driven changes of the coastal ecosystem of the western Gulf of Finland – a review. Vaccia, Action 5, Deliverable 5. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=124113&lan=en> 11.1.2012.



36. Kallasvuo, M., 2010. Coastal environmental gradients – key to reproduction habitat mapping of freshwater fish in the Baltic Sea. Academic Dissertation, University of Helsinki 34 pp. + 5 reprints.
37. Lehtonen, H., Leskinen, E., Selén, R. & Reinikainen, M., 2009. Potential reasons for the changes in the abundance of pike, *Esox lucius*, in the western Gulf of Finland, 1939–2007. *Fish. Manag. Ecol.* 16, 484–491.
38. Westerbom, M., 2006. Population dynamics of blue mussels in a variable environment at the edge of their range. Academic Dissertation, University of Helsinki, 62 pp. + 5 reprints.
39. Reinikainen, M., Hyvärinen, M., Jokinen, H., Nevalainen, A., Aikio, S., Koivula, K., Markkola, A., Niemelä, M., Pakanen, V.-M. 2011. Rannikkoalueet. *Julk.: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. ss. 34-39.*
40. Rassi P, Alanen A, Kanerva T & Mannerkoski I (eds) 2001. Suomen lajien uhanalaisuus (The Red List of Finnish Species). Ministry of the Environment & Finnish Environment Institute, Helsinki.
41. Hyvärinen, M., Miranto, M., Hiltunen, r. & Schulman, L. 2011. Monimuotoisuuden ex situ –suojelu ekosysteemipalvelujen turvaajana. *Julk.: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. Ss.41-42.*
42. Hyvärinen, M., Miranto, M., Hiltunen, R. & Schulman, L. 2011: Strategy and action plan for ex-situ conservation of threatened plants in Finland. VACCIA reports, Action #11 deliverable (<http://tinyurl.com/6vv8yvk>, 11.1.2012).
43. Ehrenfeld, David (1988) Why put a value on biodiversity? *Biodiversity* chapter 24
44. Randall, A., 1988. What mainstream economists have to say about the value of biodiversity. *Biodiversity* chapter 25.
45. Vihervaara, P & Kamppinen, M., 2009. Saako ekosysteemiä mitata rahassa? *Tieteessä tapahtuu* 3/2009
46. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
47. Kahneman, D., & Tversky, A. 1984. Choices, values and frames. *American Psychologist*, 39, 341–350
48. Nunes, Paolo A.L.D.; van der Bergh, Jeroen J.C.M., 2001. Economic valuation of biodiversity: Sense or nonsense? *Ecological economics* Volume 39, Issue 2, November 2001, Pages 203-222
49. Ympäristöministeriö, [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)
50. Hulme, P.E., Pysek, P., Nentwig, W., Vilà, M. 2009. Will Threat of Biological Invasions Unite the European Union? *Science* 3 April 2009 Vol 324

### 3.3 Rakennettu ympäristö

#### 3.3.1 Liikenne ja tietoliikenne

Heikki Tuomenvirta, Väinö Nurmi, Ari Venäläinen, Pirkko Saarikivi, Lasse Makkonen ja Pekka Leviäkangas

*Ilmastonmuutoksella on monia kielteisiä vaikutuksia liikennejärjestelmiin. Myönteiset vaikutukset sen sijaan tunnetaan vielä puutteellisesti. Kunnossapidon kehittäminen, rakenteiden kestävyysparantaminen sekä varoitus- ja suojelutoiminnan tehostaminen auttavat sopeutumaan lähivuosikymmenien ilmaston vaihteluihin ja muutokseen. Suurempiin muutoksiin varautuminen vaatii suunnittelua ja mitoituksien tarkistamista. Ilmastonmuutoksen vaikutukset liikennetarpeen kehitykseen sekä liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen tunnetaan vajavaisesti. Ilmastonmuutoksen hillintätoimet voivat puolestaan vaikuttaa eri liikennemuotojen kehitykseen ja tämäkin saattaa vaatia ennakoivaa sopeutumista.*

Sää- ja ilmasto-olosuhteet tulee ottaa huomioon tavoiteltaessa liikennejärjestelmän keskeisiä ominaisuuksia, joita ovat turvallisuus, toimintavarmuus, taloudellisuus, vähäiset ympäristövaikutukset ja liikennetarpeen tyydyttäminen. Sää- ja ilmastotekijät vaikuttavat kaikkiin liikenneverkon osiin: infrastruktuuriin, kulkuvälineisiin ja liikennöintiin. Toistaiseksi kotimaiset tutkimukset ovat keskittyneet tiettyyn liikennemuotoon tai toimijanäkökulmaan. Kattavampia tuloksia olisi mahdollista saavuttaa, jos ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja mahdollisia sopeutumistoimia tarkasteltaisiin monitahoisesti. Seuraavassa tutkimustuloksia esitetään tie-, rautatie-, vesi- ja kevyelle liikenteelle. Toistaiseksi ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia kotimaiselle lento- ja tietoliikenteelle ei ole tutkittu.

#### **Tiestö – hoito, ylläpito ja rakenne**

Kotimaisessa tutkimuksessa on arvioitu ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia tiestön hoitoon ja ylläpitoon sekä teiden rakenteeseen. Tutkimuksissa on käytetty lähinnä asiantuntija-arvioita sää- ja ilmastotekijöiden vaikutuksista nykyiseen tiestöön ja tapaustutkimusten analyysistä sekä osin tilastollisia malleja [1-8].

Tunnistettuja sää- ja ilmastotekijöitä, jotka ilmaston muuttuessa vaikuttanevat tiestön hoitoon ja ylläpitoon sekä teiden rakenteeseen ovat mm. lämpenemisestä johtuvat routaolojen muutokset, keskimääräisen lumipeitteen väheneminen mutta rankkojen lumisateiden yleistyminen, vesisateen lisääntyminen, maan kosteuden lisäys ja tulvat, kasvillisuuden muutokset sekä mahdolliset kesän kuivuusjaksot.

Suomessa tutkituissa tapauksissa rankkasateista aiheutuvat tiekatkokset kestivät pisimmillään noin viikon. Havaitut vahingot ja häiriöt sattuivat pääasiassa alemmilla tieverkoilla. Rankkasateiden akuutteja haitallisia vaikutuksia teiden hoidolle ja ylläpidolle ovat [4]:

- rumpujen vaurioituminen ja sortumat
- siltojen ja rumpujen keulojen vauriot
- tulvaveden padotuksen aiheuttamat vauriot
- tien luiskien sortumat ja eroosio
- tiepenkereen ja päällysrakenteen kulumisvauriot (erityisesti sorateillä) ja
- veden nousu tielle ja alikulkukäytäviin.

Hitaasti kehittyviä ongelmia teiden rakenteelle ovat:

- sisäisen eroosion aiheuttama onkaloituminen sekä
- reikiintyminen ja jälkipainaumat.

Talvipuolen tiepidon kannalta odotettavissa olevia vaikutuksia lähivuosisikymmeninä ovat [1,5-9]:

- Lämpimien ja sateisten kelien lisääntyminen nopeuttaa urautumista.
- Päälysteitä rapauttavat jäätymis-sulamisjäätymissyklit saattavat aluksi lisääntyä osassa maata, mutta vuosisadan jälkipuoliskolla lämpenemisen edetessä ne vähenevät Lappia lukuun ottamatta.
- Lisääntyvien sateiden seurauksena pohjaveden pinnan tasot nousevat, mikä heikentää erityisesti vähäliikenteisen tiestön kantavuutta ja nopeuttaa tien harjanteen kasvua.
- Talvisateiden runsastumisen vuoksi lumenpoistokapasiteetin hetkellinen tarve kasvaa. Auruksen kokonaismäärä ei kasva vaan kääntyy laskuun Etelä-Suomessa lähivuosisikymmeninä ja myöhemmin muualla Suomessa.
- Liukkauden torjunnan tarve kasvaa Keski- ja Pohjois-Suomessa.
- Sateista johtuvan tien pintakelirikon määrä lisääntyy. Kevään kelirikko keskimäärin aikaistuu.
- Roudan paksuus ohenee.

Tieluokkien välillä on selvät erot herkkyydessä sää- ja ilmastotekijöille. Alemmat tieluokat ja etenkin huonokuntoiset tiet ovat rakenteensa sekä vähäisemmän ylläpidon ja hoidon takia haavoittuvampia ilmastomuutoksen kielteisille vaikutuksille. Näin ollen merkittävin riski ei ole itsessään ilmastomuutos tai sään ääri-ilmiöiden mahdollinen lisääntyminen, vaan pikemminkin kunnossapitotöiden, kuten tierakenteen korjaamisen ja kuivatusojien kunnostamisen, laiminlyönnit<sup>2</sup> ja puutteellinen taso.

Saarelainen ja Makkonen [4] sekä Tiehallinto [5] suosittavat eriluonteisia tehtäviä ja toimenpiteitä, joilla varautumista tien- ja kadunpidon kannalta haitallisiin sääilmiöihin ja ilmastomuutokseen sopeutumista voidaan edistää jo lähivuosisikymmeninä:

1. Varoitukset ja tiedotus; poikkeavista säävaikutuksista tulisi varoittaa ennakoita tai viimeistään reaaliaikaisesti. Tiedotuksessa tulisi ottaa huomioon eri kohderyhmät ja käyttää soveltuvia kanavia.
2. Suojelusuunnittelu (pelastustoimi); häiriötilanteiden suojele- ja pelastustoiminnan tehtävien, sisällön, kohdistamisen ja organisoinnin määrittely (esimerkkinä Lapin tiepiirin käyttöönotto toimintaohje tienpidon varautumisesta tulvan aikana 2005).
3. Kunnossapidon sopeuttaminen kuten liukkaudentorjunta, lumenpoisto, tulvasuojaus, eroosiontorjunta, tien valaistuksen lisäys sekä kuivatusjärjestelmien toimivuuden varmistaminen. Kriittisten säävaikutusten kohdalla on määriteltävä toimintatavat, menetelmät ja organisoituminen sekä akuutissa toiminnassa että toiminnan kehittämistarve pitkällä aikajänteellä vaikutusten voimakkuuden ja toistuvuuden muuttuessa.
4. Rakenteiden kestävyuden parantaminen mm. kuivatuksen parantaminen, eroosiosuojaus, tien tasauksen nostaminen, rakenteiden suunnittelu ja mitoitus.
  - Tiestön kunnan kehittymistä on mitattava ja analysoitava jatkuvasti.
  - Sorateiden hoitoa ja ylläpitoa tulisi lisätä.
  - Teiden ja siltojen suunnittelussa on varauduttava myös lisääntyvien sateiden ja vesiuomien virtaamien aiheuttamiin tulva- ja eroosioriskien kasvuun.

Tärkeässä roolissa on myös kunnossapidon tilaamisen kehittäminen, sillä teiden ja katujen kunnossapito hoidetaan pitkälti ulkoistettuna palveluna. Lisäksi on huolehdittava kunnossapitoresurssien riittävydestä sekä sen laatutason määrittämisestä tasolle, jolla haitallisia vaikutuksia voidaan torjua.

Myönteisiin vaikutuksiin saattaa kuulua nastojen käytön tarpeen vähentyminen varsinkin Etelä-Suomessa. Tällä olisi merkittävät vaikutukset päälysteiden kulumisen kustannuksiin, mutta väärin toteutettuna nastojen käytön vähentäminen saattaa myös lisätä onnettomuuksia.

---

<sup>2</sup> EWENT-hanke, Liikenneviraston haastattelut 11/2011

## Rautatieliikenne – radanpito

Ilmaston muuttuessa radanpitoon vaikuttavat mm. ilman lämpötilan kohoaminen, sademäärän kasvu sekä jäätymis-, sulamis- ja lumiolojen muutokset. Arvioihin tuulisuuden ja erityisesti salamoinnin tulevista muutoksista liittyy epävarmuuksia, mutta voimistuessaan nämä säätekijät aiheuttaisivat merkittäviä vaikutuksia radanpidolle. Ratahallintokeskuksen<sup>3</sup> ja VTT:n asiantuntijat tunnistivat säätekijöistä aiheutuvia riskejä rataverkon ja rakenteiden ylläpidon (vahinkoriski) sekä liikenteen ja kuljetusten (liikenneriiski) kannalta [10]. Yhteenvedo vahinko- ja liikenneriiskeistä on esitetty taulukossa 3.5.

Taulukko 3.5. Asiantuntiarviossa neliportaisella asteikolla tunnistettuja ”suuria” ja ”erittäin suuria” ilmastoperäisiä vahinko- ja liikenneriiskejä radan rakenteille ja laitteille [10]<sup>4</sup>.

Ilmastonmuutoksen ja ilmaston ääri-ilmiöiden seuraukset	Vahinkoriski	Liikenneriiski
<b>RATARAKENNE</b>		
Pois huuhtoutunut pengeri		suuri
Suuret sortumat ja vieremät		suuri
Vastapenkereen eroosio		suuri
Radan vauriot sulamisvaiheessa	erittäin suuri	
Routanousun ja epätasaisuuden muuttuminen		erittäin suuri
Tukikerroksen jäätymis/sulamiskertojen muutokset ja vaikutukset tukikerroksen pysyvyyteen, ominaisuuksiin ja kunnossapitotarpeisiin	suuri	
Kasvuston lisääntyminen ratapenkereen läheisyydessä ja lisääntynyt orgaanisen aineksen tuotto mm. lehtien tuoman humuksen kasvava määrä	suuri	suuri
<b>VAIhteet</b>		
Vaihteiden lämmitystarpeen muutos, paikoitellen lisääntyneen lumisateen vaatima lumensulatuksen tehonlisäys		suuri
Vaihteiden toiminta jäätymistoistuvuuden muuttuessa		suuri
<b>VOIMANSYÖTTÖ, ENERGIA</b>		
Tuulisuuden vaikutukset sähköistykseen ja pylväisiin		suuri
Puiden kaatuminen johteille		suuri
<b>LIIKENTEENOHJAUS- JA TURVALAITEET JA MATKUSTAJA-INFORMAATIOJÄRJESTELMÄT</b>		
Turvalaitteiden käytettävyyden varmistaminen lisääntyneissä ukkosoloissa ja helteillä sekä runsailla lumisateilla	erittäin suuri	erittäin suuri
Matkustajainformaation kriisitiedotuksen valmius, lisääntyvissä ongelmissa matkustajainformaatio tärkeää	erittäin suuri	erittäin suuri
Tiedotuksen, varoitusjärjestelmien ja matkustajatiedotuksen ongelmat sekä niitä koskeva tiedonhankinta ja mittaus	erittäin suuri	erittäin suuri
Liikenteenohjauksen valvonta		erittäin suuri
<b>MUUT VAIKUTUKSET</b>		
Pilaantuneiden maa-ainesten haitta-ainesten liikkeellelähtö sadannan muutostilanteissa	erittäin suuri	
Ratojen kahdentaminen, kaksoisraiteet	erittäin suuri	erittäin suuri

<sup>3</sup> Ratahallintokeskus (RHK) oli liikenne- ja viestintäministeriön alainen väylävirasto, joka huolehti Suomen rataverkon ylläpitämisestä, rakentamisesta ja kehittämisestä sekä ratakapasiteetin jakamisesta ja liikenteenohjauksesta. Liikennevirasto vastaa nykyään RHK:n tehtävistä.

<sup>4</sup> Saarelainen ja Makkonen [10] esittävät myös ”vähäiset” ja ”ei merkitystä” riskit.

Ratarakenteiden osalta ilmastonmuutos ja sääolot eivät ole itsessään riskitekijä, sillä uudet ja hyväkuntoiset rataosuudet kestävät hyvin erilaisia sääolosuhteita. Sen sijaan rakenteiden vanheneminen ja kunnossapidon laiminlyönti kostautuvat sään aiheuttamina vaurioina<sup>4</sup>. Radanpidon sopeutumisen parantamiseksi ehdotetaan seuraavia varautumistoimia [10]:

- 1) Varoitusjärjestelmien kehittäminen yhteistyössä sääpalvelujen tuottajien ja muiden liikennealan toimijoiden kanssa.
- 2) Pelastus- ja suojelutoiminnan kehittäminen sekä onnettomuuksien ennaltaehkäisy ja riskienhallinta olemassa olevia suunnitelmia ajoittain päivittämällä.
- 3) Rakenteiden vahvistaminen ja suojaaminen (kuivatus, liikenteenohjaus- ja sähkönsyöttölaiteet)
  - rakenteiden ja laitteiden kestävyuden parantaminen
  - korvaavien yhteyksien suunnittelu kriittisillä rataosilla
  - tuulenskaatohäiriöiden vähentäminen ennakoivalla raivauksella
  - liikenteenohjausjärjestelmien varmennus
  - ukkossuojausten parantaminen
  - sortumariskikohteiden inventointi ja arviointi sekä monitorointi.
- 4) Ohjeistuksen uusiminen:
  - suunnitteluohjeiden vastaavuus uusiin rasisoloihin
  - rataverkon ja liikenteen häiriöiden rekisteröinti ja analysointi
  - radan kuivatuksen tarkistaminen ja parantaminen ottaen huomioon rankkasaderiskit.

## Vesiliikenne – väylänpito, liikenteen ohjaus, turvallisuus

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesiliikenteeseen ja mahdollisia sopeutumistoimia mm. väylänpidossa, merikartoituksessa, liikenteen ohjauksessa ja alusliikennepalveluissa arvioivat Merenkulkulaitoksen<sup>5</sup> ja Gaia oy:n asiantuntijat yhdessä käyttäen Ilmasto-KIHA -menetelmää<sup>6</sup> [11, 12]. Säätä ja ilmastosta aiheutuvia riskejä arvioitiin syntyvän seuraavista tekijöistä: voimakas tuuli, korkea aallokko, lumi- ja raekuurot, lämpötilan nousu, ankara hellejakso/pakkasjakso, jääpeite, ukkonen, alhainen merenpinta, meritulva, vesistötulva ja rankkasateet.

Arvioinnissa tunnistettiin noin 40 ilmatoriskia, jotka kohdistuivat seuraaviin toiminta-alueisiin [11]:

- väylänpito (esim. turvalaitteiden vaurioituminen, korjausten hankaloituminen)
- merikartoitus (merenmittaustietojen hankinta)
- meriliikenteen ohjaus (alusliikennepalvelut)
- talvimerenkulku (mm. jääkenttien siirtyminen ja jäävallien syntyminen).

Sisävesiliikenteessä jääpeitteen vähenemisellä on myönteinen vaikutus liikennöinnin määrään ja turvallisuuteen, kun taas jokien virtaamien ja vesistöjen vedenkorkeuksien muutokset vaihtelevat vesistöalueittain ja vuodenajoittain kuten vaikutuksetkin.

Ilmaston lämpenemisen edetessä talvimerenkulun keskimääräiset jääolosuhteet helpottuvat [13,14]. Mahdollisia vaikutuksia jäänmurtotarpeeseen, liikennemääriin ja -turvallisuuteen tai taloudellisia vaikutuksia ei ole arvioitu. Jääajan lyheneminen vaikuttaa kuitenkin esimerkiksi Saimaan kanavan rahtiliikenteeseen, jota voidaan jatkaa pidempään alkutalvella. Vastaavasti lyhyempi jääpeiteaika lyhentää merellä ”jäärännissä” ajamista, mikä lisää meriliikenteen turvallisuutta<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Merenkulkulaitos (MKL) vastasi kauppamerenkulun ja muun vesiliikenteen perustoimintaedellytysten ylläpitämisestä ja kehittämisestä. MKL on ollut vuodesta 2010 osa Liikennevirastoa. MKL:n luotsausyksikkö on nykyisin Luotsausliikelaitos.

<sup>6</sup> KIHA = kriittisten infrastruktuurien haavoittuvuuden analysointi [12]

<sup>7</sup> EWENT-hanke, Liikenneviraston haastattelut 11/2011

Merenkululaitoksen [11] selvityksessä määriteltiin kaikille tunnistetuille noin neljällekymmenelle ilmatorisille sopeutumistoimet ja niiden vaikutukset kuhunkin riskiin. Yhteenvetona voidaan todeta, että sopeutumistoimet edellyttävät muun muassa:

- Muutoksia suunnittelu- ja hankintakäytäntöihin siten, että ilmastonmuutoksen vaikutukset otetaan ennakoivasti huomioon muun muassa työn suunnittelussa ja kalustovaatimuksissa.
- Teknisten laitteiden, turvalaitteiden tuotekehitystä.
- Jatkuvaa tiedotustoiminnan turvaamista ja terävöittämistä, tuote- ja markkinavalvontaa sekä osallistumista IMO<sup>8</sup>:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen.

## **Kevyt liikenne**

Terveystieteiden tutkimuksissa jalankulkijoiden vammoista 70–85 % syntyy yksittäisonnettomuuksissa, joissa ei ole mukana ajoneuvoja tai muita osapuolia [15]. Käytettävissä olevan aineiston perusteella sairaanhoitotoimenpiteitä edellyttävistä ulkona tapahtuvista liukastumis- ja kaatumistapaturmien määrästä vaihtelevat välillä 40 000–100 000. Talvikaudella arvioidaan tapahtuvan vuosittain noin 50 000 liukastumistapaturmaa, joiden vuotuisten kokonaiskustannuksien arvioidaan olevan jopa 2,4 miljardia euroa [16].

Jalankulun kannalta kaikkein liikkaimmat olosuhteet muodostuvat, kun jäisen pinnan päälle kertyy vähän kuivaa lunta tai vettä [17]. Liukastumisriskiin oleellisesti liittyviä nollalämpötilan ohituskertoja esiintyy vuosisadan lopulla vähemmän kuin nykyään koko maassa paitsi Lapin kylmimmillä alueilla [18]. Lähivuosisikymmeninä nollalämpötilojen ohituskerrat kuitenkin vielä yleistyvät ennen kuin ne kääntyvät laskuun etelästä alkaen [19]. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia liukastumistapaturmien riskiin ei ole tutkittu eikä mahdollisia suurehkoja yhteiskunnallisia hyötyjä arvioitu.

Koska useimmat liukastumiset tapahtuvat kuntien ja kaupunkien taajamissa ja kiinteistöjen omistajien hallitsemilla katukäytävillä, tulisi kiinteistöhuollon ohjeistuksiin kiinnittää huomiota ja arvioida niiden uudistamisen tarve.

## **Mahdollisten vahinkojen ja sopeutumistointien kustannuksien arviointi**

Vahinkojen kustannusarviot perustuvat suurelta osin tapaustutkimuksissa raportoituihin kustannuksiin tai asiantuntija-arvioihin. Ilmastonmuutoksen vaikutuksista saatavia tai sopeutumistoinin saavutettavia hyötyjä ei ole yleensä arvioitu. Niinpä kustannustehokkuutta, eli sopeutumistointien kustannuksien vertaamista välitettyjen vahinkojen tai muiden saavutettavien hyötyjen määrään, ei toistaiseksi ole arvioitu.

Teiden talvikunnossapidon arvioidaan keskittyvän aiempaa enemmän joulukuulle, mutta kunnossapidon kokonaismäärässä ei tapahdu suurta muutosta [20]. Mahdollisten kustannusten muutosten arviointi ei ole yksinkertaista, sillä toimenpiteiden määrän lisäksi tulisi ottaa huomioon ainakin lisääntynyt hetkellisen kunnossapidon suorituskyvyn tarve ja ennakoida liikenteen määrän ja kunnossapidon laatutason muutokset.

Esimerkki Savossa ja Pohjanmaalla rankkasateista heinä- ja elokuussa 2004 aiheutui runsaan puolen miljoonan euron lisäkustannukset tieverkoston hoidolle [4]. Lapissa vuonna 2005 lumen sulamisen ja rankkasateiden aiheuttamien tulvien välittömät tieverkoston korjauskustannukset olivat noin 600 000 euroa [21]. Lisäksi tulvan alle jääneiden tieosien korottamiseen arvioitiin tarvittavan 233 000 euroa. Edellä mainitut laskelmat ovat välittömiä kustannuksia tienpitäjälle. Epäsuoria kustannuksia tienkäyttäjille viivästyksistä ja pidentyneistä reiteistä, tai hitaasti kehittyvien vaurioiden kustannuksia ei ole arvioitu.

<sup>8</sup> Kansainvälinen merenkulujärjestö (International Maritime Organization, IMO) on vuonna 1948 perustettu Yhdistyneiden kansakuntien alainen kansainvälinen merenkulun turvallisuusasioita hallinnoiva järjestö.

Päällysteiden ylläpitotarpeen arvioidaan kasvavan jopa 10–20 miljoonalla eurolla, jos talvet ovat lämpimiä ja märkiä [22]. Ilmastonmuutoksesta johtuen sorateiden hoidon ja ylläpidon rahoitustarve lisääntyy kuluvalle vuosikymmenellä noin 5–10 miljoonalla eurolla. Kvalitatiivinen vertailu muiden Pohjoismaiden kanssa kertoo, että suhteellisesti suurimmat haitat Suomelle saattavat koitua siitä, että jäätyneen maan kantokykyä ei pystytä, erityisesti metsäteollisuuden kuljetuksissa, hyödyntämään tulevaisuudessa samassa määrin kuin aiemmin.

Tieliikenteen onnettomuuksien kannalta sää on yksi vaikuttavista tekijöistä. Ilmatieteen laitoksen liikenneonnettomuuksien tietokannasta tehdyn arvion perusteella talvikauden (lokakuu – huhtikuu) liikenneonnettomuuksista noin 10 % selittyy säällä. Huono sää lisää onnettomuuksien määrää keskimäärin noin 50:llä päivässä. Niistä neljässä tapahtuu henkilövahinkoja ja suurin osa on materiaalivahinkoja. Sään aiheuttamien onnettomuuksien kustannukset ovat keskimäärin parisataa miljoonaa euroa vuodessa<sup>9</sup>.

Talvimerenkulun, väyläpidon, merikartoituksen, meriliikenteen ohjauksen keskeisistä sopeutumistoimista suuri osa on toteutettavissa alhaisin (< 10 000 €) tai maltillisin (< 100 000 €) kustannuksin ja monet toimet ovat jo käynnissä osana Liikenneviraston normaaleja prosesseja [11]. Tämän pohjalta voidaan arvioida eräiden korkeampien kustannusten (>100 000 €) sopeutumistoimia, niiden tarkentamista ja optimaalista ajoittamista.

Suomessa suoritetaan vuodessa noin 1700 meripelastustehtävää, näistä suurin osa on veneilyonnettomuuksiin liittyviä. Pelastustapahtuman kustannusten voidaan karkeasti arvioida olevan keskimäärin 7000 euroa, joten kokonaiskustannukset meripelastustehtävistä ovat vuositasolla keskimäärin noin 12 miljoonaa euroa. Veneilyonnettomuuksissa, joissa merkittävänä tekijänä on säätila, kuolee vuosittain yhdestä kahteen henkilöä [16]. Muita hukkumiskuolemia on vuodessa keskimäärin noin 200. Sään osuutta hukkumiskuolemista on vaikea arvioida. Suurin osa tapahtuu kuitenkin kesällä, joten kesäkauden pidentyminen saattaa osaltaan lisätä veneilyonnettomuuksia ja hukkumiskuolemia. Toisaalta merkittävä määrä hukkumisonnettomuuksista on jäihin putoamisia. Henkilövahingon laskennallinen yksikköarvo on kuoleman osalta 1 919 000 [22], joten hukkumiset aiheuttavat tällä hetkellä noin 390 miljoonan euron vuosittaiset kustannukset.

Suurin veneilyonnettomuuksia ehkäisevä tekijä on koulutus, mutta myös paremmalla säätiedotuksella voidaan saada aikaan yhteiskuntataloudellisia säästöjä. Räätelöidyn veneilysään entistä tehokkaampi jakelu ja saatavuus onkin todennäköisesti lyhyellä aikavälillä kustannustehokkain keino ehkäistä veneilyonnettomuuksia.

## **Ilmastonmuutosten vaikutusten integrointi kokonaiskuvaan tavaraliikenteen kehityksestä**

Ilmastonmuutoksen ja sen hillintätoimenpiteiden vaikutuksista tavaraliikenteeseen on luotu kokonaiskuva [23] ja arvioitu sekä ilmastonmuutoksen suoria että epäsuoria vaikutuksia tekijöihin, jotka vaikuttavat kuljetuksiin tai kuljetuskysyntään, esimerkiksi tietyin Suomelle tärkeän teollisuudenalan globaaliin raaka-ainehankintaan.

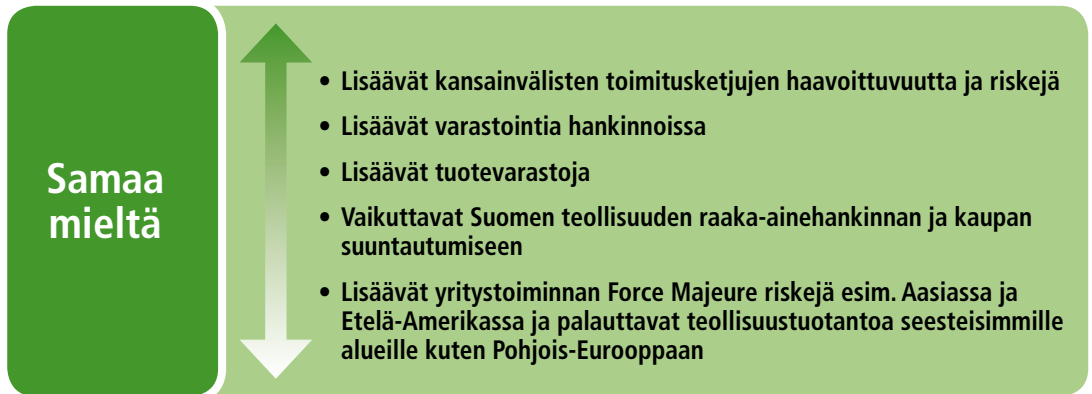
Ilmastonmuutos vaikuttanee metsä- ja elintarviketeollisuuden toimitusketjuihin muun muassa raaka-ainevirtojen ja tuotantoalueiden muuttuessa. Muilla teollisuuden aloilla hillintätoimenpiteillä ja niiden ”tasapuolisella” toteuttamisella on selvästi suurempi merkitys kuin ilmaston keskimääräisellä muuttumisella. Toisaalta globaalin ääri-ilmiöiden keskittyminen tietyille alueille voi vaikuttaa tuotannon sijoittumiseen, hankinta-alueisiin ja kansainvälisten kuljetusketjujen reitityksiin myös pysyvämmiin (Kuva 3.5).

---

<sup>9</sup> EWENT-hankkeen alustava tulos (Väinö Nurmi).

## TEOLLISUUS

## Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiot eri puolella maailmaa...



Kuva 3.5. Teollisuusalan vastaajien käsitys ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöiden tärkeimmistä vaikutuksista teollisuuteen. Kuvassa on esitetty ne väittämät, joista vähintään puolet vastaajista oli samaa tai täysin samaa mieltä [23].

### Huomioita tutkimusmenetelmistä

Tutkimuksissa arviot ilmastonmuutoksista perustuivat lähes kaikki keskimääräisiin kasvihuonekaasupäästöjen skenaarioihin paitsi Merenkulkulaitoksen [11] selvityksessä, jossa riskien tunnistamisessa tarkasteltiin myös keskiarvioita voimakkaamman ilmastonmuutoksen vaikutuksia.

Useat selvitykset lähtivät liikkeelle jo koetuista sää- ja ilmastotekijöiden vaikutuksista. Tämä tuo käytännönläheisyyttä ehdotettuihin sopeutumistoimiin ja helpottaa niiden käyttöönottoa osana nykyisiä toimintoja. Toisaalta aiemmin kokemattoman ääritilanteen sattuessaa tai tarkasteltaessa ilmastonmuutosta pitkällä aikavälillä, käytössä olevat toimenpiteet eivät aina riitä tai ne eivät ole enää kustannustehokkaita. Kokemukseen perustuvaa asiantuntijuutta tarvitaan, mutta niin myös uutta innovatiivista lähestymistä entistä tehokkaampien sopeutuskeinojen löytämiseksi.

Turvallisuus on keskeinen liikennepolitiikan tavoite. Tieliikenteessä onnettomuusriski Suomessa jäisillä ja lumisilla keleillä on keskimäärin noin nelinkertainen paljaaseen tienpintaan verrattuna. Toisaalta onnettomuusriski on suurempi talvikelien ollessa harvinaisia, jolloin riskin kasvu johtunee ”yllätyksellisyydestä”. Liukkaudesta johtuvan onnettomuuspotentiaalin ja liikenteen sujuvuuden häiriöitä, niiden alueellisia muutoksia tai itse onnettomuusriskin muutoksia ei ole tutkittu, vaikka tällä saattaisi olla vaikutuksia liikennejärjestelmien suunnitteluun.

Yhden toimijan näkökulmasta tehdyissä tarkasteluissa toimintaympäristön muutosten hahmottaminen jäi usein vähäiseksi. Liikennejärjestelmän monimutkaisuudesta ja vuorovaikutuksista johtuen on kuitenkin vaikea muodostaa kokonaiskäsitystä ilmastonmuutoksen roolista ilman arviota muista tekijöistä, kuten esimerkiksi taloudellisten, teknisten ja poliittisten toimintaympäristötekijöiden muutoksista. Tällaista kokonaiskuvaa tarvitaan ainakin strategiseen johtamiseen ja poliittiseen ohjaukseen. Vähintään tulisi tarkastella odotettavissa olevia muutoksia altistumisessa ja haavoittuvuudessa sää- ja ilmastotekijöille.



## Viitteet

1. Venäläinen, A., Granskog, M. & Tuomenvirta, H., 1999: Alueellinen ilmastonmuutos ja liikenne. Liikenneministeriön julkaisuja 11/99, 23 s.
2. Tuomenvirta, H., Venäläinen, A., Juottonen, A., and Haapala, J., 2000: The impact of climate change on the Baltic Sea ice and soil frost beneath snow-free surfaces in Finland. Ministry of Transport and Communications Finland, Publications 13/2000, 56 pp.
3. Saarelainen, S. 2006. Adaptation to climate change in the transport sector. FINADAPT Working Paper 8, Finnish Environment Institute Mimeographs 338, Helsinki, 26 pp.
4. Saarelainen, S. & Makkonen, L., 2007: Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tienpidossa. Tiehallinnon selvityksiä 4/2007. Tiehallinto, Helsinki.
5. Tiehallinto, 2009: Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon, Tiehallinnon selvityksiä 8/2009.
6. Saarikivi, P., T. Gustavsson, and D. Rayner, 2009: Improved local winter index to assess maintenance needs and adaptation costs in climate change scenarios. Final Report for ROAD ERA.net project TR80A 2008:72539.
7. Gregow, H., Ruosteenoja, K., Juga, I., Näsman, S., Mäkelä, M., Laapas, M. & Jylhä, K., 2011. Lumettoman maan roudaolojen mallintaminen ja ennustettavuus muuttuvassa ilmastossa. Raportteja 2011:5, 45 s. Ilmatieteen laitos.
8. Makkonen, L., Ylhäisi, J., Törnqvist, J., Dawson, A. & Räisänen, J., 2012: Climate change projections for variables affecting road network infrastructure in Europe. Transport (painossa).
9. Makkonen, L. & Tikanmäki, M., 2008: Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa. VTT Tutkimusraportti, VTT-R-10419-08, 26 s.
10. Saarelainen, S. & Makkonen, Lasse, 2008: Radanpidon sopeutuminen ilmastonmuutokseen, esiselvitys, Ratahallintokeskuksen julkaisusarja A 16
11. Merenkululaitos, 2009: Ilmastonmuutoksen vaikutukset Merenkululaitoksen toimintaan ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen edellyttämät toimenpiteet. Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 3/2009.
12. Halonen, M., J. Nikula, I. Vehviläinen, T. Raivio & M. Hjelt, 2007: Ilmasto-KIHA, Menetelmäkehitys ilmatoriskien arviointiin ja sopeutumistoimien priorisointiin, Loppuraportti 2007.
13. Makkonen, L., Launiainen, J., Kahma, J. & Alenius, P., 1984: Long-term variations in some physical parameters of the Baltic Sea. In: Climatic Changes on a Yearly to Millennial Basis, D. Reidel Publ. Co.: 391 - 399.
14. Luomaranta, A., J. Haapala, H. Gregow, K. Ruosteenoja, K. Jylhä & A. Laaksonen, 2010: Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2010:4, Helsinki, 36 s.
15. Pihlaja, M. 2000: Jalankulkijan ja pyöräilijän kaatumistapaturmat Pohjoismaissa. Visioiva ky. Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston selvityksiä 2000/12, 34 s.
16. Hautala R., & Leviäkangas P. (toim.), 2007: Ilmatieteen laitoksen palveluiden vaikuttavuus. Hyötyjen arviointi ja arvottaminen eri hyödyntäjätoimialoilla. VTT Publications 665. VTT, Helsinki 2007. 286 s.
17. Ruuhela, R., Ruotsalainen, J., Kangas, M., Aschan, C., Rajamäki, E., Hirvonen, M. & Mannelin, T., 2005. Kelimallin kehittäminen talvijalankulun turvallisuuden parantamiseksi. Loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2005:1, Helsinki, 47 s.
18. Makkonen, L., Ruokolainen, L., Räisänen, J. & Tikanmäki, M., 2007: Regional Climate model estimates for changes in Nordic extreme events. Geophysica 43 (1-2): 19-42.

19. Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, S., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumis-tutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2009:4, 102 s.
20. Venäläinen, A., and Tuomenvirta, H., 1998: Arvio ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta teiden talvikunnossapidon kustannuksiin. Ilmatieteen laitos, Raportteja, 1998:5, 19 s.
21. Lapin tiepiiri 2006. Tienpidon varautuminen tulvan aikana Lapin tiepiirissä. Lapin tiepiiri, Toimintaohje 2.5.2006. 6 s.
22. Tiehallinto, 2010: Tieliikenteen ajokustannusten laskenta. Liikenneviraston ohjeita 22/2010. 37 s.
23. Salanne I., B. Byring, R. Valli, M. Tikkanen, P. Peltonen, J. Haapala, K. Jylhä, O. Tolonen-Kivimäki & H. Tuomenvirta, 2010: Ilmastomuutos ja tavaraliikenne: Selvitys ilmastomuutoksen ja sen hillintätoimien vaikutuksista tavaraliikenteeseen. Liikenne- ja viestintäministeriönjulkaisuja 15/2010, 95 s.

### 3.3.2 Alueidenkäyttö, yhdyskunnat ja rakentaminen

Simo Haanpää, Juha Jokisalo, Kirsti Jylhä, Jukka Käyhkö, Jukka Lahdensivu, Lasse Makkonen, Hanna Tietäväinen, Juha Vinha ja Irmeli Wahlgren

*Rakennusten ja etenkin yhdyskuntarakenteen suunnittelussa ja ohjauksessa nykyään tehtävät ratkaisut vaikuttavat pitkälle tulevaisuuteen. Ilmastonmuutoksen näkökulmasta on tärkeää, että rakennettu elinympäristö toimii erilaisissa sääoloissa, että se luo viihtyisät puitteet elämälle ja ettei sen tuottaminen ja ylläpitäminen, mukaan lukien toimintojen edellyttämä liikenne, kuluta kohtuuttomasti energiaa. Ilmastonmuutos vaikuttaa rakennettuun ympäristöön muun muassa kasvattamalla paikoin tulvariskiä ja lisäämällä alueen perusrakenteeseen ja rakennusten ulko-osiin kohdistuvaa kosteusrasitusta. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulisi ottaa huomioon rakennetun ympäristön kehittämisen koko ketjussa, aina alueidenkäytön suunnittelusta rakennusten sijoitteluun, rakentamiseen ja elinkaaren aikaiseen käyttöön ja ylläpitoon sekä liikenteeseen asti. Hyvällä yhdyskuntasuunnittelulla voidaan ehkäistä ilmastonmuutoksen kielteisiä vaikutuksia ja tuottaa viihtyisää rakennettua ympäristöä. Vaikka tässä yhteydessä tarkastellaan pääasiassa ilmastonmuutokseen sopeutumista, alueidenkäytön suunnittelussa on oleellista ottaa samaan aikaan huomioon ratkaisujen vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin ja sitä kautta ilmastonmuutoksen hillintään.*

#### **Ilmastonmuutoksen vaikutusten ennakointi alueidenkäytön ja rakentamisen suunnittelussa**

Yhdyskuntarakenteella tarkoitetaan rakennusten, verkostojen ja muiden rakenteiden sekä niiden edellyttämän liikenteen muodostamaa kokonaisuutta. Yhdyskuntarakenne on lähellä rakennetun ympäristön käsitettä [1]. Ilmastonmuutos aiheuttaa muutoksia alueiden käyttöön ja rakentamiseen vaikuttaviin olosuhteisiin: ilman keskilämpötilan nousu, muutokset lumipeitteen ja meren jääpeitteen kestoajoissa ja meriveden lämpötiloissa, pilvisyyden muutokset, suuret sademäärän muutokset, ääri-ilmiöiden kuten voimakkaiden tuulten, rankkasateiden ja pitkien kuivien tai kosteiden jaksojen todennäköisyyden muutokset ja niihin liittyvät tulvat ja vedenpinnan nousu, maan kosteuden ja pohjavesiolosuhteiden muutokset, eroosion ja sortumariskien lisääntyminen ja jäätymisolosuhteiden muutokset [2, 3]. Samalla yhdyskuntarakenne ja sen muutokset vaikuttavat ilmastonmuutokseen aiheuttamiensa kasvihuonekaasupäästöjen kautta [4].

Yhdyskuntarakenteen kehitystä ja rakentamista ohjataan alueidenkäytön suunnittelulla. Alueidenkäytön suunnittelujärjestelmä perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin ja -asetukseen sekä valtioneuvoston antamiin valtakunnallisiin alueidenkäyttötavoitteisiin. Järjestelmään kuuluvat eri tason kaavat: maakuntakaava, yleiskaava ja asemakaava. Rakentamista ohjataan lisäksi kuntien rakennusjärjestyksillä. Rakennuksia koskevat rakentamismääräykset ja -ohjeet sisältyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmaan [5-7].

Meteorologiset ja geofysikaaliset ääri-ilmiöt kuten myrskyt, rajuilmat, tulvat ja lumipyryt voivat aiheuttaa tuhoja rakennetulle ympäristölle. Yhdyskunnat on suunniteltava kestämään kohtuullisen usein esiintyvät luonnonilmiöt, mutta hyvin harvinaisiin ääritapauksiin varautuminen ei ole taloudellisesti järkevää, elleivät tapauksen vahingolliset seuraukset ole erityisen suuret (erityisen haavoittuvia kohteita ovat esimerkiksi padot, voimalat ja sähkönjakeluverkko). Rakennetun ympäristön suunnittelu perustuu osaksi myös siihen, että arvioidaan kulakin paikalla tarkasteltavalle kohteelle valitun turvallisuusrajan ylittävän ilmiön esiintymisen todennäköisyys. Mitoituksessa käytettävä ääri-ilmiön arvo saadaan käänteisesti: määritetään se ilmiön arvona, joka ylittyy tietyllä todennäköisyydellä, toisin sanoen tietyllä toistuvuusajalla. Rakennetun ympäristön normeissa tämä

toistuvuusajaksi on yleensä 50 vuotta [8]. Rakennusten ja rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan tarkasteluissa käytetään kuitenkin usein myös 10 vuoden toistuvuusajaa [9]. Toistuvuusanalyysit perustuvat yleensä luonnonilmiöistä saatuihin havaintojen, mutta niitä voidaan tehdä myös ilmastomalleilla simuloidun datan avulla. Havaintoihin perustuvissa mitoitussarvoissa muuttuvan ilmaston vaikutukset voidaan ottaa huomioon sitä myöhemmin, mitä pidempää toistuvuusajaa niiden pohjana käytetään. Eri tutkijaryhmillä on vielä erilaisia käsityksiä siitä, miten ilmastomuutoksen vaikutukset ja muutoksiin liittyvät epävarmuudet parhaiten otetaan huomioon riskien arvioinnissa ja hallinnassa sekä rakennetun ympäristön mitoitussarvoissa, ja asiasta tarvitaan lisää tutkimusta.

Alueidenkäyttöön ja rakentamiseen vaikuttavat ilmasto-olosuhteet vaihtelevat eri puolilla Suomea. Siksi paikallisten ilmasto-olosuhteiden selvittäminen ja ilmastomuutoksen niihin aiheuttamien muutosten ennakointi on tärkeää. Ilmastomuutoksen paikkakuntakohtainen ennakointi on mahdollista, mutta melko epävarmaa. Rakennetun ympäristön suunnittelussa tulisi kuitenkin laatia ja hyödyntää ennusteet tulevista muutoksista ja ottaa niiden vaikutus huomioon [8]. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon myös alueen pienilmasto, johon rakennetun ympäristön muutokset puolestaan voivat vaikuttaa merkittävästi. Pienilmastolla on suuri vaikutus myös elinympäristön laatuun ja viihtyisyyteen. Rakennetun ympäristön suunnittelussa on haasteena nykyisten ilmasto-olosuhteiden, ilmastomuutoksen niihin aiheuttamien muutosten, ja suunnittelun ja rakentamisen tuloksena muodostuvan rakennetun ympäristön olosuhteiden huomioon ottaminen [8, 10].

### **Rakennettua ympäristöä koskevat sopeutumishaasteet Suomessa**

Ilmastomuutoksen tärkeimmät suorat vaikutukset rakentamiseen ja maankäyttöön liittyvät maaperän ominaisuuksien ja tulvavaara-alueiden muuttumiseen sekä rakennusten ulkoverhouksien ja rakennusvaipan ulko-osien kosteusrasituksen kasvamiseen, kun sateisuus ja pilvisuus lisääntyvät ja talvet lämpenevät. Kolmas rakennettua ympäristöä koskeva keskeinen haaste on sään ääri-ilmiöiden mahdollinen lisääntyminen [11, 12]. Tulvien yleistymisen ja voimistumisen johtuu sekä ilmaston vähittäisestä muutoksesta (keskimääräisen sademäärän lisääntyminen) että ilmastomuutoksen myötä voimistuvista äärevistä sääilmiöistä (paikalliset rankkasateet). Rankkasateiden voimistuminen on todennäköistä kaikissa ilmastoskenaarioissa, mutta muutoksen suuruutta on vaikea arvioida. VTT:n tutkimusten mukaan poikkeuksellisten voimakkaiden sateiden sademäärät saattavat olla suurempia kuin on tilastojen pohjalta arvioitu [12]. Lähivuosikymmeninä ilmastomuutoksen vaikutus hukkuu helposti vuotuisen ja paikallisen vaihtelun alle [13,14].

Suomessa on sattunut viime vuosinakin rannikko- ja rankkasadetulvia, joiden taloudelliset vaikutukset ovat olleet merkittäviä (kts. esim. [15]). Menneiden poikkeustilanteiden tarkastelu peilattuna rakennetun ympäristön nykytilaan ja mahdollisiin käyttösuunnitelmiin auttaa ennakoimaan alueiden nykyistä ja tulevaa haavoittuvuutta (kts. esim. [16]).

Rakennusten ulkoverhoilu kuormittuu ilmastomuutoksen myötä kosteudesta ja tuulesta huomattavasti nykyistä enemmän. Vuosisadan loppua kohti viistosateet kastelevat rakennusten julkisivuja merkittävästi useammin kuin ennen [12]. Etenkin syksyisin ja talvisin vähäisempi haihtuminen jättää ulkopinnat nykyistä pidemmäksi aikaa märäksi. Korroosioaika ja –nopeus kasvavat [12] ja homeen kasvulle suotuisia olosuhteita esiintyy enemmän [3]. Lisääntyvät sulamis-jäätymissyklit altistavat betonirakenteita lisäksi pakkasrapautumiselle [3]. Niiden seurauksena ulkopintojen käyttöaika tai huoltoväli voi lyhentyä tulevaisuudessa [2].

Ulkoverhouksen lisäksi kosteusrasitukset lisääntyvät merkittävästi myös muualla rakennusvaipan ulko-osissa. Lisääntynyt saderasitus, pidemmät kuivumisajat ja ulkoilman lämpeneminen lisäävät rakenteiden ulko-osissa kosteuden tiivistymisriskiä ja homeen kasvulle otollisia olosuhteita. Sadevettä sitovista ja läpäisevistä ulkoverhouksista, kuten tiiliverhouksesta, kosteutta siirtyy aiempaa enemmän rakenteiden sisäosiin. Tuuletetuissa yläpohjissa ja ryömintätilaisissa alapohjissa ulkoa tuleva kostea ilma lisää puolestaan tuuletustilojen kosteusrasituksia [3].

Energiansäästön myötä lisääntynyt rakennuksen ulkovaipan lämmöneristys vähentää sisältä tulevan lämmön kuivattavaa vaikutusta rakenteiden ulko-osissa. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen aiheuttama yhteisvaikutus rakenteiden ulko-osissa on otettava jatkossa huomioon rakenteiden suunnittelussa sekä uudis- että korjausrakentamisessa.

## **Sopeutumistoimien ajoitus**

### ***Lyhyt aikaväli (hyvä ottaa huomioon jo nyt):***

Talvien muuttuminen leudommiksi ja sateisemmiksi vaikuttaa vedenkorkeuden vuodenaikaisvaihteluun ja muuttaa tulvien voimakkuutta ja ajallista jakautumista. Muutokset ovat erisuuntaisia eri vesistöissä ja eri puolilla maata (kts. luku 3.1.6). Tulvavaara-alueiden muutokset vaikuttavat maankäyttöön ja rakentamisen edellytyksiin. Myös merenpinnan nousu ja myrskytuulien aiheuttamien meritulvien mahdollinen lisääntyminen ilmastonmuutoksen myötä vaikuttavat rakentamisen edellytyksiin rannikkoalueilla, etenkin etelä- ja lounaisrannikoilla.

Sademäärien kasvu ja rankkasateiden yleistyminen voivat myös lisätä paikallisia taajamatulvia kaukanakin vesistöistä, mikäli hulevesijärjestelmän mitoitus ei ole riittävä kasvavien sademäärien kannalta. [8,17,18]. Rankkasateiden ajallinen ja paikallinen ennakoiminen on vaikeaa. Yhä äärevimmiksi käyviin sateisiin on kuitenkin hyvä varautua jo nyt alueidenkäytön suunnittelussa aluevarauksien ja toimintojen sijoittamisen avulla sekä miettimällä keinoja johtaa ylimääräisiä hulevesiä kallistuksin ja väyläsuunnittelulla alueille, joilla ne eivät aiheuta vahinkoja. Potentiaaliset tulva-alueet tulisi ottaa huomioon jo nyt alueidenkäytön suunnittelussa, sillä rakennetun ympäristön suojaaminen jälkikäteen teknisillä ratkaisuilla on merkittävästi rakentamisen ohjaamista haastavampaa.

Rakennusten kosteusrasitus lisääntyy lähivuosikymmeninä hiljalleen ensin etelässä ja vuosisadan loppua kohti myös Pohjois-Suomessa [12]. Poikkeuksellisiin sääoloihin tulisi varautua erityisesti rakennetuilla rannikkoalueilla [11].

Koska rakennusten elinkaari on pitkä, olisi muuttuvia sääoloja hyvä ennakoida panostamalla rakentamisen suunnitteluun, laatuun ja luotettavasti toimiviin rakenneratkaisuihin. Rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota siten, että sadeveden pääsy rakenteisiin pyritään estämään ja toisaalta rakenteiden kuivumiseen varataan riittävästi aikaa. Vaipparakenteiden ulko-osien kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa mm. suojaamalla kosteudelle arempia materiaaleja ulkopuolisella lämmöneristyksellä sekä käyttämällä rakenteiden ulko-osissa kuivumiskykyisiä, pakkasenkestäviä ja vähemmän homehtumisherkkiä materiaaleja [3].

Maan vesipitoisuus kasvaa vähitellen sateisuuden lisääntyessä, etenkin talvisin. Tämä vähentää maaperän lujutta ja alentaa sen kantavuutta. Kuivuuden lisääntyminen kesällä voi myös aiheuttaa pohjaveden pinnan alentumista, mikä voi puolestaan johtaa maan painumiseen. Etenkin savipohjaisilla mailla tällainen maaperän eläminen voi johtaa putkirikkoihin [22].

Yhdyskuntarakenne on pitkäikäinen, ja sen ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta keskeisiin ominaisuuksiin pitkälle tulevaisuuteen vaikutetaan jo nyt tehtävillä ratkaisuilla. Siksi alueidenkäytön suunnittelussa on tärkeää ottaa ilmastonmuutoksen edellyttämät sopeutumistoimet käytäntöön mahdollisimman pian [8].

### **Keskipitkä ja pitkä aikaväli (vaikutus epävarma tai käytänteiden tarkistuksen ajankohta vaikeasti ennakoitavissa):**

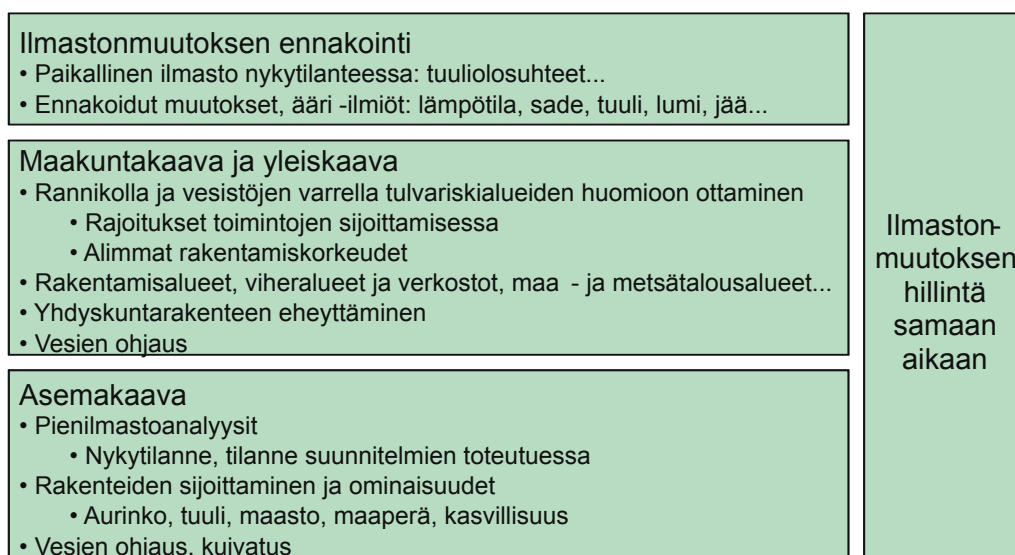
Rakennustoiminnan kannalta ilmastonmuutoksen keskeisimmät vaikutukset ovat talvien lämpeneminen ja sateisuuden lisääntyminen. Maan routaantuminen heikkenee talvien muuttuessa leudommiksi. Keskimäärin roudan paksuus vähenee sadassa vuodessa noin puoleen, Etelä-Suomessa noin kolmasosaan (kts. myös luku 2.1.). Talvibetonointi ja perustusten teko helpottuu pakkasten vähetessä, mutta sateisuuden lisääntyminen vaikeuttaa toimintaa työmailla, esimerkiksi rakennustarvikkeiden säilytystä. Tuulisuuden lisääntyminen saattaa myös ajoittain haitata työmaiden toimintaa rannikolla ja muilla suojattomilla paikoilla [2]. Viistosateiden lisääntyminen on otettava huomioon varsinkin maan rannikkoalueilla ja korkeiden rakennusten yläosissa [3].

Rakenteita mitoittavat tilastolliset maksimilumikuormat vähenevät sadassa vuodessa Etelä-Suomessa noin puoleen, mutta pysyvät Pohjois-Suomessa lähes ennallaan [12]. Tämä voi mahdollistaa tulevaisuudessa kattojen lumikuormamitoitusten tarkistamisen maan eteläosissa. Myös lumipeiteaika vähenee vuosisadan loppua kohti melko tasaisesti, pohjoisessa 20–30 prosenttia, etelässä puoleen [14]. Maaperän heikompi routaantuminen kuitenkin lisää tuulenkaatojen riskiä [11].

Happamien sulfaattimaiden alueella lounais- ja länsirannikolla kosteusolosuhteiden muutokset voivat aiheuttaa vesistöjen happamoitumista. Ilmiöllä on vaikutusta myös maanalaisen infrastruktuurin korroosioriskiin [2]. Maan vesipitoisuuden vaihtelut voimistuvat vuosisadan loppua kohti.

### **Sopeutumisen keinovalikoima**

Ilmastonmuutoksen hallinnan haaste koskettaa rakennetun ympäristön osalta useita yhteiskunnan sektoreita. Kaavoitus on erityisen voimakas ilmastonmuutokseen sopeutumisen keino. Maankäytön suunnittelijoilla voisi olla nykyistä suurempi panos sopeutumishaasteen haltuunotossa, sillä heidän rooliinsa kuuluu luontevasti yhdistää eri sektoreiden tavoitteita ja vaatimuksia kaavoituksessa ja rakentamisessa [19]. Kullakin kaavatasolla on tunnistettavissa omat ilmastonmuutoksen tuomat haasteensa, joihin kaavoitusprosessissa voidaan pyrkiä vastaamaan [8]:



Kuva 3.6. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen kaavoituksessa [Irmeli Wahlgren].

Eri kaavatasoille voidaan antaa selostusosassa tarkkojakin suunnittelusuosituksia sekä tarvittaessa laatia täydennyksiä esimerkiksi kuntien rakennusjärjestyksiin. Täydennykset voivat liittyä esimerkiksi tulvariskialueiden määrittelyyn, riskialueiden rakentamisrajoituksiin tai pienilmaston, maaston ja maaperän huomioimiseen. Ne voivat myös koskea sade- ja pintavesien johtamista tai rantarakentamista, kuten rakennuksen etäisyyttä rantaviivasta tai korkeusasemaa ranta-alueella [2]. Valtakunnan tasolla kyseeseen tulevat maankäyttö- ja rakennuslakiin ja -asetukseen sekä rakentamismääräyksiin ja -ohjeisiin tehtävät tarkistukset, joita on jo toteutettukin. Tärkeintä olisi asetusten hengen mukainen varovaisuusperiaatteen noudattaminen kaavoituksessa [11].

Yleispiirteisessä suunnittelussa keskeisintä on tulvavaara-alueiden kartoitus ja niiden huomioon ottaminen toimintoja sijoitettaessa. Myös yhdyskuntarakenteen vaikutukset ilmastonmuutoksen hillitsemiseen määräytyvät suurelta osin yleispiirteisen suunnittelun kautta [8]. EU:n tulvadirektiivin mukaisen tulvakartoituksen tuloksena on tunnistettu 21 keskeistä tulvariskialuetta [19]. Tulvariskialueiden rakentamista tulisi ensisijaisesti välttää, mutta niiden haavoittuvuutta voidaan myös pienentää rakenteellisin ratkaisuin. Erityisen tärkeää sopeutumistarkastelu on kriittisten tai vaikeasti evakuoitavien kohteiden kuten voimalaitosten, vanhainkotien ja sairaaloiden kohdalla.

Alueellisten ilmastostrategioiden laatimisessa on ollut ongelmana niiden sitomattomuus. Ilmastonmuutokseen varautuminen on prosessi, johon myös osallisten sitoutumisen takia olisi hyvä löytää pitkäjänteisiä resursseja ja seurantaa [20].

Yksityiskohtaisessa suunnittelussa tulisi ottaa huomioon ennen kaikkea sateiden lisääntyminen. Rakennetun ympäristön pienilmastolla on tärkeä merkitys niiden viihtyisyydelle. Viihtyvyys vaikuttaa kokonaisvaltaisesti asukkaiden hyvinvointiin ja esimerkiksi ulkona oleskelun määrään. Esimerkiksi tuulisuus voi vaikuttaa viihtyisyyteen kielteisesti, etenkin rannikoilla ja talvisin. Samoin sateiden lisääntyminen voi heikentää rakennetun ympäristön viihtyisyyttä. Kesällä yleistyvät hellejaksot voivat puolestaan tehdä kaupunkiympäristöistä tukialia. Rakennusten hyvällä sijoittelulla ja mitoituksella voidaan vähentää ns. tuulitunneleiden muodostumista korttelialueiden väliin ja säädellä kaduille ja aukioille tulevan lämpösäteilyn määrää [8,10,17,21].

Kortteli-, tontti- ja rakennustasolla on mahdollista luoda hyvää mikroilmastoa sekä rakenteellisilla ratkaisulla että esimerkiksi istutuksilla ja katoksilla [8]. Huomioimalla ja hyödyntämällä suunnittelussa ja rakentamisessa aiempaa voimakkaammin esimerkiksi maastonmuotoja, vallitsevia tuulioloja ja suojaavaa kasvillisuutta luodaan jo nykyoloissa viihtyisämpää elinympäristöä. Alaville alueille ja rannoille voidaan jättää vihervyöhykkeitä, jotka toimivat puskureina ja laajentumisalueina vesistö- ja meritulville.

Haavoittuvuuden vähentämisen kannalta keskeistä on huolehtia hulevesistä joko johtamalla ne tehokkaasti viemäriverkostoon tai erityisille imeytysalueille, tai pidättämällä tai imeyttämällä ne paikallisesti. Myös tiiviisti rakennetulla kaupunkialueella voidaan jättää tilaa viherympäristölle, joka tasaa sekä lämpötilan että sademäärän piikkejä. Esimerkiksi viherkatot pidättävät tehokkaasti sadevettä. Päällystetyistä maanpinnoistakin on mahdollista tehdä vettä läpäiseviä.

Yhdyskuntasuunnittelussa ja rakentamisessa varautuminen ilmastonmuutokseen mahdollistaa pitkän aikajänteen kestävä kehityksen. Muutokseen varautuminen näkyy osin vähittäisenä taloudellisena hyötynä, kuten pienempinä kiinteistöjen huolto- ja korjauskustannuksina.

Ilmastonmuutoksen huomioon ottamisesta kaavoituksessa on esitetty seuraavat periaatteet [8]:

### **Kymmenen kultaista sääntöä kaavoittajalle [8]**

1. Selvitä paikalliset ilmasto-olosuhteet ja niiden muutosennusteet, erityisesti ääri-ilmiöiden osalta.
2. Selvitä mahdolliset tulvavaara-alueet. Älä sijoita niille rakentamista, jos se ei ole turvallista ja järkevää. Selvitä myös turvalliset alimmat rakennuskorkeudet.
3. Täydennä olemassa olevaa yhdyskuntarakennetta. Älä sijoita uusia alueita irralleen olemassa olevasta rakenteesta. Vältä uuden haja-asutuksen muodostamista.
4. Suunnittele rakentamisalueet ja viheralueet ja -verkotot samanaikaisesti.
5. Muodosta hyvää mikroilmastoa ottamalla huomioon erityisesti tuulisuuden vaikutukset.
6. Suunnittele ja varmista sadevesien ohjaus myös sademäärien lisääntyessä voimakkaasti. Vähennä pintavesien valumaa vesistöihin.
7. Muodosta mieluummin rivi-, pienkerros- ja kerrostalojen yhdistelmiä sisältäviä kuin väljien suurten omakotitalojen alueita. Pyri suhteellisen tiiviiseen rakenteeseen. Edistä kauko- tai aluelämmitystä ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä.
8. Tarkista alueen joukkoliikenteen edellytykset. Muodosta alue tai rakenne niin, että se tukee joukkoliikenteen kehittämistä. Luo hyvä kävely- ja pyöräily-ympäristö.
9. Sijoita erilaiset toiminnot lähelle toisiaan. Sekoita toimintoja, älä erottele.
10. Arvioi vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin, valitse vaikutuksiltaan parhaat vaihtoehdot ja ratkaisut. Ota huomioon myös muut kestävän kehityksen näkökulmat.

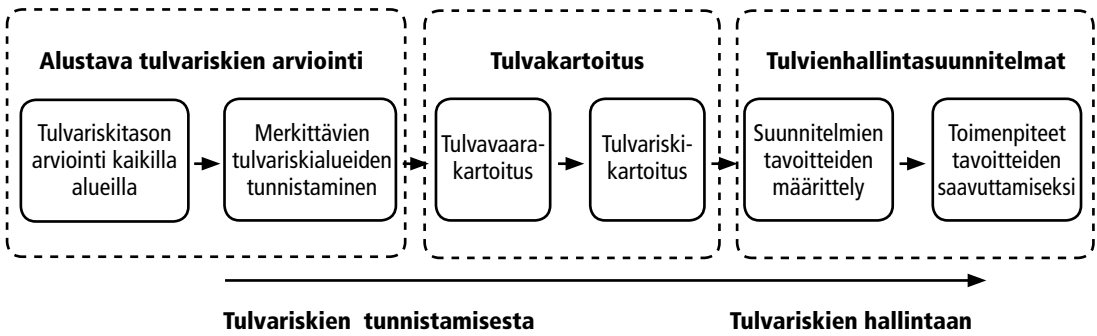
### **Erityiskysymyksiä**

#### **Tulvariskejä kartoittamalla voidaan ennakoida vahinkoja eri aikajänteillä**

Kaupungeissa tapahtuvien rankkasadetulvien lisäksi rakennettua ympäristöä uhkaavat vesistötulvat, joissa meri-, järvi- tai jokivesi kohoaa poikkeuksellisen korkealle. Tulviin pyritään varautumaan määräämällä rantarakentamisen alimmat sallitut rakennuskorkeudet riittävän korkealle keskivedenpinnan yläpuolelle. Tästä huolimatta tulvat aiheuttavat vahinkoja, sillä osa rakennuskannasta on rakennettu liian matalalle korkeudelle ennen määräyksiä. Osa uudehkoistakin rakennuksista sijaitsee syystä tai toisesta liian alhaalla ja lähellä rantaa. Ilmastonmuutoksen myötä on tullut ajankohtaiseksi pohtia myös alimman sallitun rakennuskorkeuden oikeellisuutta; nyt kaavoitettaville alueille rakennettava infrastruktuuri ehitti kokea ilmastonmuutoksen vaikutukset voimakkaina tulevana vuosikymmeninä.

Euroopan Unionissa on pyritty varautumaan tulviin säättämällä jäsenvaltioita velvoittava direktiivi tulvariskien arvioinnista ja hallinnasta vuonna 2007. Direktiivi ohjaa tulviin varautumisen periaatteita ja velvoittaa jäsenmaat tunnistamaan merkittävät tulvariskialueet ja laatimaan niille tulvavaara- sekä tulvariskikartat. Kartoituksen pohjalta laaditaan tulvariskien hallintasuunnitelmat, joiden tulee olla valmiina vuonna 2015 (kuva 3.7).





Kuva 3.7. EU:n tulvadirektiivin mukainen vesistötulvien hallinta. Tulvariskien alustava arviointi tehdään muun muassa historiatiedon, virtaamahavaintojen ja maanpinnan korkeustietojen avulla. Tunnistetuille alueille laaditaan tulvavaara- ja tulvariskikartat. Vaarakartta kuvaa toistuvuudeltaan erisuuruisten tulvien laajuuden ja veden syvyyden. Riskikartta esittää lisäksi erilaisia alueen haavoittuvuuden parametreja, kuten väestön määrä ja julkiset rakennukset sekä vaaralliset tai vaikeasti evakuoitavat kohteet. Kartat muodostavat perustan tulvariskien hallintasuunnitelmille, jotka jäsenmaiden tulee saada valmiiksi 2015 aikana. Hallinnan uudelleentarkastelu tehdään tämän jälkeen kuuden vuoden välein [23, muokattu]

Suomessa työ tulviin varautumisen parantamiseksi on aloitettu vuosia sitten direktiivin suuntaviivoja ennakoiden. ”Opas yleispiirteisen tulvakartoituksen laatimiseen” [22] esitteli menetelmät erikokoisten tulvien laajuuden ja syvyyden määrittämiseen ja esittämiseen ns. tulvavaarakarttana. Tulvariskikartat puolestaan laaditaan tulvavaarakarttojen pohjalta lisäämällä uusina karttakerroksina tietoa alueen haavoittuvuudesta. ”Tulvariskien kartoittaminen” –oppaan keskeisenä tavoitteena on ollut luoda järjestelmä, joka toteuttaa kustannustehokkaasti EU:n tulvadirektiivin vaatimat toimet Suomessa [23]. Ohjeen mukaiset tulvariskikartat esittävät tulvadirektiivin mukaisesti jokaisen tarkastellun toistuvuuden tulva-alueen asukkaiden viitteellisen määrän, alueella harjoitettavan taloudellisen toiminnan tyyppin, laitokset, jotka voivat aiheuttaa äkillistä pilaantumista tulvatilanteessa, sekä seurauksista mahdollisesti kärsivät suojelualueet. Tuloksena syntyvä kartta antaa käsityksen alueen tulvariskistä (Kuva 3.8).

Tulvariskikartoilta vaadittava tietosisältö vaihtelee suuresti sen mukaan, onko käyttäjänä esimerkiksi pelastuslaitos akuutissa tulvatilanteessa vai kaavoittaja, joka suunnittelee alueiden käyttöä kymmenien vuosien aikaperspektiivillä. Tämän vuoksi riskikartat ovat parhaimmillaan interaktiivisia, paikkatietoon perustuvia käyttäjän muokkaamia yhdistelmiä kulloinkin tarpeellisista aineistoista.

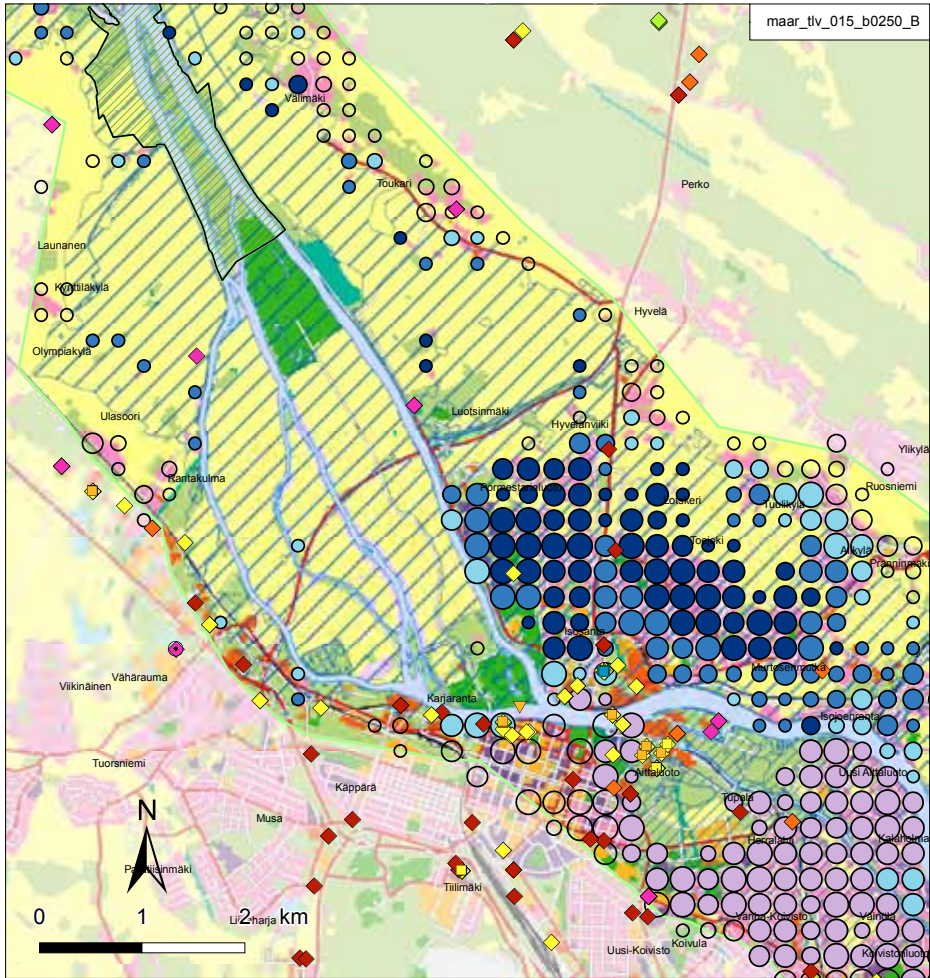
## Rakenneratkaisujen ja toteutuksen merkitys korostuu rakentamisessa

Ilmastonmuutos aiheuttaa rakennusten vaipparakenteiden ulko-osissa useiden haitallisten ilmiöiden ja vaurioiden lisääntymistä. Näitä ovat muun muassa kosteuden tiivistyminen, homeen kasvu, halkeilu, muodonmuutokset, betonirakenteiden pakkasrapautuminen sekä teräsosien korrosio. Viistosaderasitus ja homeen kasvulle otolliset olosuhteet yleistyvät koko maassa, mutta erityisesti rannikoilla ja korkeissa rakennuksissa.

Nykyisessä ilmastossa suurin osa talviaikaisista vesi- ja räntäsateista tulee Suomessa etelän- ja lännenpuoleisten tuulien vallitessa [24]. Tulevaisuudessa on mahdollista, että viistosateelle altistuvat myös sellaiset - esimerkiksi pohjoiseen suuntautuvat - seinäpinnat, jotka ovat tähän mennessä säästyneet kosteuden aiheuttamilta vaurioilta.

Lämpötilojen kohoamisen seurauksena yhä suurempi osuus talvisista sateista tulee vetenä tai räntänä, jolloin vesi pääsee entistä tehokkaammin imeytymään huokosiin materiaaleihin kuten betoniin. Homeen kasvua tapahtuu tulevaisuudessa kaikkina vuodenaikoina – myös talvella, koska lämpötila on entistä useammin nollan yläpuolella. Ulkoilman lämpenemisestä johtuen rakennuksia jäähdytetään aiempaa enemmän, jolloin lämpötila alenee vaipparakenteiden sisäpinnan lähellä lisäten homehtumisriskiä ajoittain myös rakenteiden sisäosassa.

Porin tulvariskikartta, vesistötulva HQ 1/250a (1225 m3/s), merenpinta N60+1,40 m (osa B)



- Maankäyttö**
- kerrostaloalueet
  - pientaloalueet
  - loma-asuntoalueet
  - muut vapaa-ajantoimintojen alueet
  - liiketoiminnan ja hallinnon alueet
  - teollisuus- ja varastoalueet
  - liikennealueet
  - yhdyskuntateknisen huollon alueet
  - kallio- ja maaperäainestenottoalueet
  - maatalouden maat
  - muut maat
  - vesialueet
- VPD-Natura-kohteet**
- aluemaiset
  - viivamaiset
- Pohjavedenottamo**
- EU-uimaranta
- Vesistötulva HQ 1/250a**
- tulvan peittävyys HQ 1/250a
  - tulvasuojeltu alue
  - tulvakartoitetun alueen raja

- VAHTI-kohteet**
- IPPC-luokat**
- energia-alan teollisuus
  - metallien tuotanto ja jalostus
  - mineraaliteollisuus
  - kemian teollisuus
  - jätehuolto
  - muu toiminta
- laji-luokat**
- asutusjätevedenpuhd. tai viemäröinti
  - eläinsuojat
  - jätteenkäsittely
  - kalankasvatus
  - teollisuus
  - polttainne- tai kemikaalivarasto

**Asukasmäärät ja maankäyttötyypit: I tulva-alueella HQ 1/250a II muulla tulvakartoitetulla alueella**

	kaikki syvyys- vyöhykkeet				0 m
	< 0,5 m	0,5...1 m	> 1 m		
vedensyövyys- asukkaat (ha)	10510,0	2810,0	4794,0	2912,0	22365,0
maankäyttö (ha)	3712,9	821,9	1405,1	1472,6	4686,8
a. kerrostaloalueet	25,3	6,9	15,1	2,0	72,6
b. pientaloalueet	335,9	96,5	142,6	95,3	699,2
c. loma-asuntoalueet	43,6	9,4	24,3	14,1	44,6
d. muut vapaa-ajantoimintojen alueet	118,0	21,6	40,3	57,0	66,0
e. liiketoiminnan ja hallinnon alueet	14,8	7,9	5,6	1,1	77,5
f. teollisuus- ja varastoalueet	33,5	18,0	1,4	3,8	104,7
g. liikennealueet	72,4	36,4	20,3	9,3	154,9
h. yhdyskuntateknisen huollon alueet	21,5	5,7	9,4	5,6	33,5
i. kallio- ja maaperäainesten ottoalueet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
j. muut maat	2234,7	447,3	878,6	921,8	1154,6
k. vesialueet	542,6	148,9	221,6	191,3	988,4
l. yhteensä	270,6	22,3	45,9	171,3	1290,8

Kuva 3.8. Esimerkki tulvadirektiivin vaatimukset täyttävästä tulvariskikartasta Porista kerran 250 vuodessa toistuvalla tulvalla merenpinnan ollessa 1,40 m normaalia ylempänä. EXTREFFLOOD II –hankkeen [23] yhteydessä laadittu kartta antaa tietoa muun muassa maankäyttötyypeistä, väentheydestä, vaaraa aiheuttavista kohteista ja suojelualueista. Operatiiviseen käyttöön tulisi tarjota paikkatietopohjaisia digitaalisia karttoja, joihin käyttäjä valitsee tarpeellisen sisällön tilannekohtaisesti.

Vesikatteessa ja ulkoverhouksessa materiaalien vaurioitumista voidaan ehkäistä merkittävästi muun muassa räystäillä ja pellityksillä, materiaalivalinnoilla, suojaavilla pinnoitteilla, toimivalla vedenpoistojärjestelmällä sekä säännöllisellä huollolla.

Puurakenteet ja puupohjaiset materiaalit ovat herkempiä homehtumaan, mutta toisaalta kivi- ja mineraali-pohjaisissa materiaaleissa kasvavat homeet voivat olla haitallisempia terveydelle, vaikka niiden määrä olisikin vähäisempi. Siksi homeen kasvua tulee rajoittaa kaikissa rakenteissa.

Homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät merkittävästi muun muassa tuuletetuissa yläpohjissa ja ryömintätalaisissa alapohjissa. Rakenteellisten muutosten lisäksi erilaisten teknisten laitteiden (esim. ilman-kuivaimet, lämmityskaapelit tai ohjattu koneellinen ilmanvaihto) käyttäminen saattaa tulla tarpeelliseksi homehtumisriskin vähentämiseksi. Suositeltavinta on kuitenkin pyrkiä toteuttamaan rakenteet niin, ettei teknisiä järjestelmiä tarvittaisi.

Nykyisen rakennuskannan sopeutumisella tulevaisuuden ilmastoon on paitsi rakennushistoriallista myös taloudellista merkitystä. Olemassa olevien rakenteiden kunnossa pysymisen kannalta keskeistä on ennakoiva kunnossapito.

### **Ilmastonmuutoksen vaikutukset puurakenteissa**

Puu on ollut Suomessa perinteisesti suosituin pientalojen rakennusmateriaali ja puun käyttöä pyritään lisäämään myös muussa rakentamisessa, esimerkiksi kerrostaloissa. Ilmaston muuttuessa puurakenteiden rakenneratkaisuja on tarpeen parantaa siten, että rakenteiden ulko-osissa ei esiinny merkittävää homehtumisriskiä.

Puurakenteiden julkisivumateriaalina käytetään puuverhouksen ohella myös paljon tiiltä. Sademäärien kasvaessa sadevettä imeytyy enemmän tiiliverhoukseen, josta se siirtyy rakenteen sisäosiin. Tämä lisää lahoamista sekä homehtumisriskiä myös puurakenteiden ulkoseinien sisäosissa.

Oikeilla rakenneratkaisuilla ja huolellisella toteutuksella puurakenteet saadaan kosteusteknisesti toimiviksi myös jatkossa. Puurakenteiden yhteydessä on aina huolehdittava rakenteiden riittävästä tuuletuksesta.

### **Keskeisiä sopeutumiskeinoja puurakentamisessa ovat:**

- Riittävien räystäiden ja muiden rakenteellisten suojausratkaisujen sekä liitosten toteutus saderasituksesta syntyvien haittojen pienentämiseksi.
- Vaipparakenteiden tuulettaminen sekä liitosten ja yksityiskohtien toteutus siten, että rakenteet kuivuvat esteettömästi.
- Vähemmän homehtumisherkkien materiaalien käyttö puurakenteiden ulko-osissa.
- Lämpöä eristävien ja hyvin vesihöyryä läpäisevien tuulensuojamateriaalien ja aluskatteen käyttö puurungon ulkopinnassa suojaa puurakenteita.
- Korkean, tiiliverhotun puurunkoisen seinärakenteen suojaaminen sateelta molemmilta puolilta tuuletetun teräsohutlevyn avulla.
- Maan pinnan lämpöeristäminen ryömintätalaisessa alapohjassa estää kosteuden siirtymistä ryömintätilan ilmaan ja jäähtymistä ulkoilmaa kylmemmäksi.
- Korjausrakentamisessa puurungon lisäeristäminen ulkopuolelta kuivattaa vanhaa rakennetta ja parantaa sen kosteusteknistä toimintaa.
- Rakenteiden säännöllinen kunnon tarkastaminen ja huolto ehkäisevät kosteusvaurioiden syntymistä ja vähentävät korjauskustannuksia.

### **Erityistä huomiota tulisi kiinnittää:**

- Homeiden, mikrobien ja muiden haitallisten aineiden kulkeutuminen sisäilmaan voidaan estää tehokkaasti parantamalla rakenteiden ilmanpitävyyttä. Vanhoissa rakennuksissa tämä edellyttää aina korjausten yhteydessä rakennuksen riittävän ilmanvaihdon varmistamista esim. asentamalla erilliset korvausilmaventtiilit tai koneellinen tulo-/poistoilmanvaihto.
- Rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan siten, että rakenteet ja rakennusmateriaalit suojataan saderasituksilta.

### **Ilmastonmuutoksen vaikutukset betonirakenteissa**

Suomen muuttuvat ilmasto-olosuhteet tulevat vaikuttamaan maamme laajaan betonirakennuskantaan. Ilmastonmuutoksella arvioidaan olevan vain haitallisia vaikutuksia betonirakenteiden käyttöikänsä [25].

Käytetyin julkisivu- ja parvekemateriaali 1960-luvun loppupuolelta lähtien rakennetuissa kerrostalokortteleissa sekä toimisto- ja teollisuusrakennuksissa ovat olleet betonielementit. Ikääntyvien betonirakenteiden vaurioituminen johtuu pääasiassa ilmaston aiheuttamasta säärasituksesta. Keskeisimmät julkisivu- ja parvekerakenteiden vaurioitumiseen johtavat syyt ovat raudoitteiden korroosio ja betonin pakkasrapautuminen, jotka voivat aiheuttaa esimerkiksi rakenteiden kantokyvyn ja liitosten heikkenemistä. Raudoitteiden korroosioon vaikuttaa pääasiassa betonirakenteen kosteus, kun taas pakkasrapautumisen kannalta olennaista on kostean seinärakenteen toistuva jäätyminen ja sulaminen. Talviajan ilmasto-olosuhteilla on kesää suurempi merkitys vaurioitumisen kannalta, sillä kesällä rakenteen kuivuminen on nopeaa.

Ilman suhteellisen kosteuden ja sateisuuden kasvu kiihdyttävät sekä raudoitteiden korroosiota että betonin pakkasrapautumista. Tuulen kanssa tulevan viistosateen määrällä on ratkaiseva merkitys betonirakenteiden vaurioitumisessa. Nykyisen rannikkoilmaston kaltaisten olosuhteiden leviäminen tulevien vuosikymmenien aikana sisämaahan lisää ankarien jäätymis-sulamissykliä määrää alueilla, joilla pakkasrapautuminen on toistaiseksi ollut vähäistä [26].

### **Keskeisiä sopeutumiskeinoja betonirakentamisessa ovat:**

- Suojaavien pinnoitteiden käyttö pakkasenkestävyydeltään puutteellisissa parveke- ja julkisivurakenteissa alentaa kosteusrasitustasoa.
- Pellitysten, vedeneristeiden ja sadevesijärjestelmien sekä elastisten saumausten kunnosta ja toimivuudesta huolehtiminen alentaa rakenteiden paikallista korkeaa kosteusrasitusta.
- Parvekelaattojen yläpinnan vedeneristyksellä sekä parvekelasituksella voidaan alentaa parvekkeen kosteusrasitustasoa ja hidastaa raudoitteiden korroosiota.
- Rappauspintojen käsittely suojaavalla pinnoitteella vähentää pakkasrapautumisriskiä.

### **Erityistä huomiota tulisi kiinnittää:**

- Pesubetoni- ja klinkkerilaattapintaisten julkisivujen vaurioitumiseen, sillä niiden pakkasenkestävyys on tyypillisesti varsin puutteellinen ja korjausvaihtoehdot vähäisiä.
- Parvekkeiden piellelementtien etureunoihin, jotka saavat eniten saderasitusta. Seurauksena voi olla pieli-terästen korroosiota ja betonin pakkasrapautumista. Piellelementit ovat kantavia rakenteita ja vaikuttavat koko parvekkeen käytettävyyteen/korjattavuuteen.
- 1970-luvun betonielementtituotanto yleensä puutteellisen pakkasenkestävyyden johdosta.

## Lämmitysenergian tarve vähenee

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeeseen. Rakennusten energiankulutusta on verrattu viime vuosikymmenien ja vuoden 2030 arvioidussa ilmastossa käyttäen laskelmien pohjana mahdollisimman tyypillisiä sääoloja [27]. Tulosten mukaan kahden esimerkkirakennuksen, uudispientalon ja toimistorakennuksen, tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve vähenee noin 10 % vuoteen 2030 mennessä ja jäähdytysenergian tarve kasvaa vastaavasti noin 15 %. Koska esimerkkirakennusten jäähdytystarve on melko pieni rakennusten lämmitystarpeeseen verrattuna, rakennusten kokonaisostoenergiankulutus vähenee tulosten mukaan noin 5 % vuoteen 2030 mennessä. Laskelmissa ei ole otettu huomioon rakentamismääräysten mahdollisten muutosten tuomia epäsuoria vaikutuksia.

Vuonna 2012 valmistuvan FRAME-tutkimushankkeen [3] tulosten perusteella rakennusten lämmitystarve tulee edelleen vähenemään ja jäähdytystarve kasvamaan vuosiin 2050 ja 2100 mennessä Suomessa, mikäli suurten kasvihuonekaasupäästöjen mukainen ilmastomuutoskenaario (A2) toteutuu. Rakennusten tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarve tulee vähenemään vuoteen 2050 mennessä 15–25 % ja vuoteen 2100 mennessä 30–50 % rakennustyyppistä riippuen. Vastaavasti jäähdytystarve kasvaa vuoteen 2050 mennessä 10–30 % tai vuoteen 2100 mennessä jopa 75 %. Rakennuksen vaipan lämmöneristystason lisäämisellä saavutettava energiansäästö tulee ilmastomuutoksen vaikutuksesta pienentymään ja keskeisiä rakennusten energiansäästökeinoja ovat tulevaisuudessa energiatehokkaat lämmitys- ja jäähdytysratkaisut sekä passiiviset jäähdytysratkaisut.

Rakennusten lämmitysjärjestelmien mitoituslämpötilat on määritetty Suomessa tarkastelemalla vuosikymmenien pituisten jakojen kireimpiin kuuluvia pakkasia. Yksittäisten pakkaskausien esiintyminen on aika satunnaista, mitä ilmentävät tammikuiden 1987 ja 1999 huippupakkaset. Huolimatta lämpenevästä trendistä koetaan yksittäisiä kovia pakkasjaksoja vielä tulevaisuudessakin. Siten myös lähivuosikymmeninä rakennukset tulee edelleen varustaa kunnan lämmitysjärjestelmillä [27]. Toisaalta on samalla syytä varautua jäähdytyksen tarpeen kasvuun kesällä. Ulkoilman lämpötilojen kohoaminen edellyttää huonelämpötilan hallinnan suunnittelua ja tarkoituksenmukaisten keinojen käyttämistä sisätilojen yllälämpenemisen estämiseksi. Ensisijaisesti tulisi käyttää passiivisia jäähdytysratkaisuja, kuten auringonsuojauksia ja vasta tarvittaessa koneellista jäähdytystä.

## Tutkimus- ja kehittämistarpeita

- Paikalliset ilmastomuutosennusteet sisältävät epätarkkuuksia, mutta niiden tekeminen on silti tarpeellista. Ilmastomuutoksen kiihtyminen aiemmin arvioitua nopeammin vaatii voimakkaita keinoja muutokseen varautumiseen.
- Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on kansainvälisten veloitteiden tiukentuessa yhä tärkeämpää. Ilmastomuutoksen ennusteita ja arvioita vaikutuksista tulisi kehittää rakennetun ympäristön päätöksenteon ohjaamiseen.
- Ilmastomuutoksen sopeutumista ja hillitsemistä kaavoituksessa samanaikaisesti pitää tutkia edelleen.
- Ilmastomuutoksen vaikutukset ympäristön koettuun viihtyisyyteen ja rakennetun ympäristön käyttöön.
- Alueidenkäytön suunnittelussa tulisi kehittää edelleen ilmastomuutoksen ennakointiin liittyviä aineistoja, tuulisuus- ja aurinkoisuusselvityksiä, rakennusnormeja mm. rakennusten turvallisuuden ja jalankulun turvallisuuden ja mukavuuden edistämiseksi, koulutusta, pilottihankkeiden rahoitusta, hallintoa, laadunohjausta, kaavoituksen ohjausta ja ilmastovaikutusten arviointia.
- Ilmastomuutoksen vaikutuksia vaipparakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan ja kosteusriskien kasvuun tulee tutkia sekä uudis- että korjausrakentamisessa, jotta rakennusten kosteus- ja homeongelmia voidaan jatkossa välttää. Uudisrakentamisessa on erityisen tärkeää selvittää uudentyyppisten rakennusratkaisujen toimintaa, joista ei ole vielä kokemuksia. Korjausrakentamisessa on tärkeää tutkia varsinkin lisälämmöneristämisen vaikutuksia.

- Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennuskantaan eri ilmastonmuutosskenaarioissa, jotta voidaan luoda uusia käyttökelpoisia käyttöikämalleja nykyiselle rakennuskannalle.
- Erilaisten korjaustoimien ja rakennusten käyttöasteen vaikutukset toimisto-, koulu-, ja palvelurakennusten todelliseen energiankulutukseen.
- Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennusprosessiin ja rakennustyömaiden rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan.
- Rakennusten ylläpito ja käyttö muuttuvassa ilmastossa.
- Miten ilmastonmuutoksen vaikutukset voidaan parhaiten ottaa huomioon riskien arvioinnissa ja hallinnassa sekä rakennetun ympäristön mitoitusarvoissa.
- Ilmastonmuutoksen aiheuttamat taloudelliset vaikutukset mm. rakentamismääräysten muutoksien kautta (kiristyksiset ja helpotukset).

## Viitteet

1. Heinonen, S., Kasanen, P. & Walls, M. 2002. Ekotehokas yhteiskunta. Ympäristöklusterin kolmannen ohjelmakauden esiselvitysraportti. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 598.
2. Ala-Outinen, T. Harmaajärvi, I., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuholala, M., & Törnqvist, J. 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Tiedotteita 2227. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2227.pdf>
3. FRAME-tutkimus 2009 – 2012, Future envelope assemblies and HVAC solutions, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Tampere. <http://www.rakennusteollisuus.fi/frame>
4. Wahlgren, I. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaupungin suunnittelussa. Yhdyskuntasuunnittelu 2008:1 Vol. 46. s. 55 – 71.
5. Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) ja –asetus (895/1999)
6. Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. Valtioneuvoston päätökset 30.11.2000 ja 13.11.2008
7. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)
8. Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – tapauskohtaisia tarkasteluja. Tutkimusraportti Nro VTT-R-03986-08. VTT. (ISTO) [http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT\\_Ilmastonmuutos\\_kaavoitus\\_Loppuraportti.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_Ilmastonmuutos_kaavoitus_Loppuraportti.pdf)
9. Sanders, C. 1996. IEA Annex 24: Task 2: Environmental Conditions. Leuven, Acco, International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Heat, Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts (HAMTIE), Final Report, Vol. 2. 96 p.
10. Kuismanen, K. 2008. Climate-conscious architecture - design and wind testing method for climates in change. Acta Universitatis Ouluensis C Technica 307. Väitöskirja. Oulun Yliopisto, Oulu.
11. YM 2011. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelman päivitys vuosille 2011-2012. Ympäristöministeriön raportteja 18/2011. Helsinki: ympäristöministeriö. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=127698&lan=fi>
12. Makkonen, L. & Tikanmäki, M. 2009. Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa II. EXTREMES II-hankkeen loppuraportti. VTT Tutkimusraportti VTT-R-10419-08. (ISTO) [http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT\\_R\\_10419\\_08.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_R_10419_08.pdf)
13. Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiisonen, T., Tuomenvirta, H., Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen ympäristö 31/2008, Luonnonvarat, SY31/2008. Suomen ympäristökeskus (SYKE). <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=304648&lan=fi&clan=fi>

14. Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIIM-hankkeen raportti 2009. Raportteja 2009:4. Ilmatieteen laitos. [http://ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys\\_114.html](http://ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys_114.html)
15. Raivio, t., Y. Gilbert & H. Lonka 2006. Viranomaisten varautuminen rankkasadetulatilanteisiin: Pelastustoiminnan johtokeskustyöskentelyn ja viranomaisen yhteistoiminnan kehittämistarpeet. Gaia. <http://www.pelastustoimi.fi/raportit/rankkasadetulvat/>
16. Mäntylä, K. & Saarelainen, S. 2008. Rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutoksen aiheuttamille tulvavaikutuksille, tutkimuskohteena Vantaanjoki. VTT tutkimusraportti VTT-R-04429-08. (ISTO) [http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT\\_R\\_04429\\_08.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_R_04429_08.pdf)
17. Suomalainen, M., Vehviläinen, B., Veijalainen, N., Lepistö, A. & Mäkinen, R. 2006. Effects on the hydrological cycle – inland waters. Teoksessa Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M. and Veijalainen, N. 2006. Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute Mimeographs 336, Helsinki. 5-13. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=53794&lan=en>
18. Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatuki, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R. & Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005. 275 s.
19. Suomen ympäristökeskus 2011. Tulvat <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=382528&lan=fi>
20. Haanpää, S., R. Tuusa & L. Peltonen 2009. Ilmastonmuutoksen alueelliset sopeutumisstrategiat. REA-DNET-hankkeen loppuraportti. Aalto-yliopisto, YTK sarjat C 75. (ISTO) <http://lib.tkk.fi/Reports/2009/isbn9789522482686.pdf>
21. Kuismanen, K., & Wahlgren, I. 2009. Oulun Länsi-Toppilan asemakaava. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja huomioon ottaminen. Oulun kaupunki. Oulu.
22. Sane, M., Alho, P., Huokuna, M., Käyhkö, J., Selin, M., 2005. Opas yleispiirteisen tulvavaarakartoituksen laatimiseen Ympäristöopas 127. 73 s. Suomen ympäristökeskus.
23. Alho, P., Sane, M., Huokuna, M., Käyhkö, J., Lotsari, E. & Lehtiö, L. (2008). Tulvariskien kartoittaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2008. 99 s. Suomen ympäristökeskus ja Turun yliopisto.
24. Lahdensivu, J., Tietäväinen, H. & Pirinen, P. 2011. Corrosion of reinforcement in existing concrete facades. 12th International conference on durability of building materials and components. Porto, Portugal. Pp. 1155-1162.
25. Lahdensivu, J., 2010: Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa. Suomen Ympäristö 17/2010.
26. Lahdensivu, J., Tietäväinen, H., Pirinen, P. 2011. Durability properties and deterioration of concrete facades made of insufficient frost resistant concrete. Nordic Concrete Research. 2/11, Publication no. 44, Pp. 175-188.
27. Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Ruosteenoja, K., Jokisalo, J., Hyvönen, R., Ilomets, S., Saku, S. ja Hutila, A. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Ilmatieteen laitos raportteja 2011:6

### 3.4 Terveys ja hyvinvointi

Reija Ruuhela, Heikki Henttonen, Harri Lindholm, Timo Partonen, Karoliina Pilli-Sihvola, Hannu Rintamäki, Jouni Tuomisto ja Olli Vapalahti

*Merkittävä osa ilmastonmuutoksen yhteiskunnallisista vaikutuksista ilmenee suoraan tai välillisesti ihmisten terveydessä ja hyvinvoinnissa. Toisaalta terveys ja hyvinvointi voivat olla merkittävä motivaatio sekä hillintä- että sopeutumistoimille, ja näiden toimien priorisoinnissa ihmisen terveys tulisi olla tärkeä sektorit ylittävä arviointikriteeri. Ilmastonmuutoksesta johtuvia terveysvaikutuksia on Suomessa tutkittu toistaiseksi vain vähän, mutta nykyisen tiedon perusteella voidaan tehdä arvioita yleisellä tasolla. Ilmaston lämmetessä helteen aiheuttamat terveysongelmat voivat yleistyä ja kylmyyteen liittyvät terveysongelmat vähentyä. Rankkasateiden yleistyminen voi lisätä talousvesien pilaantumisen riskiä, ja hyönteisten tai muiden eläinvälitteisten tautien levinneisyydessä ja epidemiologiassa voi tapahtua muutoksia. Talvisin pilvisuus lisääntyy ja lumipeite vähenee; aiempaa synkemmät talvet voivat pahentaa mielenterveysongelmia. Ilmastonmuutoksen kielteisiin terveysvaikutuksiin voidaan varautua kehittämällä mm. varoitusjärjestelmiä, toimintatapoja ja terveydenhuollon toimia riskialttiiksi tunnistetuissa säätilanteissa sekä rakennuskantaa. Lisäksi tietoisuutta terveys- ja toimintakykyhäihteistä on tarpeen lisätä tekemällä potentiaaliset vaaratilanteet ja riskirajat helposti tunnistettaviksi.*

#### **Yleistä**

Suurimmat ilmastonmuutoksen aiheuttamat terveyteen ja hyvinvointiin liittyvät haitat kohtaavat kehittyviä maita, joilla on huonoin kyky vastata näihin haasteisiin. Niiden välilliset vaikutukset voivat heijastua nopeasti kaikkialle maapallolla mm. talouden tai pakolaisuuden kautta. Ilmastonmuutoksen terveysvaikutuksia arvioitaessa on tärkeää tarkastella samanaikaisesti sopeutumisen ja hillinnän vaikutuksia. Oleellista olisi pyrkiä identifioimaan ns. win-win toimia, jotka sekä torjuvat ilmastonmuutosta että edistävät kansanterveyttä, ja toisaalta välttää sellaisia toimia, jotka torjuvat ilmastonmuutosta kansanterveyden kustannuksella. Huomattava osa järkevän ilmastonmuutospolitiikan kustannuksista voidaan saada takaisin parantuneena kansanterveytenä [1].

Tärkeimpiä ilmastonmuutoksen terveyteen vaikuttavia tekijöitä ovat 1) muutokset ääriämpötiloissa (helteiden yleistyminen, kireiden pakkasten vähentyminen), 2) siitepölyjen lisääntyminen, 3) ilmansaasteet erityisesti maastopalojen mahdollisuuden kasvaessa, 4) talousveden mikrobikontaminaatioiden yleistyminen mm. rankkasateiden seurauksena, 5) syanobakteerien (sinileväkukintojen) lisääntyminen uimavesissä, 6) säähän liittyvät tapaturmat (rajuilmat, tulvat, nollakeli), 7) muutokset zoonoottisten (eläimistä suoraan tai vektorin välityksellä tarttuvien) ja muiden infektioita aiheuttavien mikrobien yleisyydessä, 8) kaamoksen syveneminen lumipeitteen vähentyessä ja pilvisyyden lisääntyessä.

#### **Helteet ja kylmyys**

##### **Lämpötilan ääripäät lisäävät rasitusta**

Sään ja ilmaston terveysvaikutuksista parhaiten tunnetaan kuolleisuuden lämpötilariippuvuus, joka on U-muotoinen, siten että lämpötilan molemmat ääripäät – helle ja kylmyys – lisäävät kuolleisuutta pääasiassa



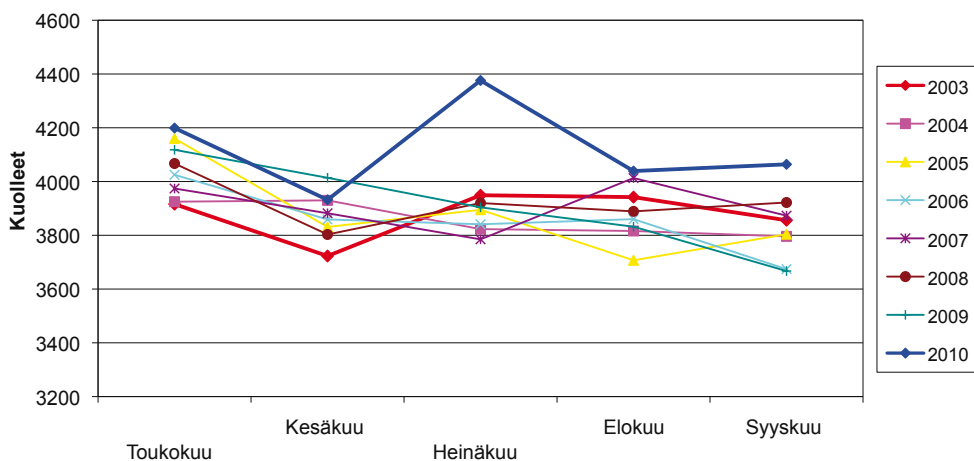
sydän- ja hengitystiesairauksien seurauksena. Kuuma kuormittaa ennen kaikkea sydäntä ja saattaa vaikeuttaa nestetasapainon ylläpitoa. Sydämen työmäärä kasvaa lisääntyneen pintaverenkierron ylläpitämiseksi ja pitkäkestoisessa kuumassa palautuminen on riittämätöntä. Äärikuumassa myös veren viskositeetti voi kohota ja lisätä siten riskiä verenkierron häiriöihin. Kylmällä säällä verisuonet supistuvat, mikä nostaa verenpainetta ja sydämen lisärasitusta. Kuolleisuudessa on nähtävissä myös selkeä vuodenaikaisvaihtelu siten, että kuolleisuus on keskimäärin korkeampi talvipuolella vuotta kuin kesäaikana. Kuolleisuuden kasvua talvisin selitetään myös hengitystieinfektioilla.

Suomen nykyisessä ilmastossa helteen arvioidaan aiheuttavan keskimäärin 100–200 ja kylmyyden 2000–3000 ylimääräistä kuolemantapausta vuodessa [2]. Kuolemaan johtavan lämpösairauden vaaran on arvioitu lisääntyvän väestötasolla 35 % jokaista 1 asteen nousua kohden, kun lämpötila ylittää 32 °C [3]. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan ikääntyvän väestön kuolleisuus nousee 5 % jokaista tavanomaisen kesälämpötilan ylittävää astetta kohden [4]. Päivän maksimilämpötilan nousu noin 5 °C:lla hellejakson aikana lisäsi työssä ilmenneiden lämpösairauksien esiintyvyyttä 42 % [5]. Lämpöolot voivat vaikuttaa myös olemassa olevien sairauksien hoitotasapainoon. Tietoja lämpökuormituksen vaikutuksista tavallisia kansansairauksia potevien tai lääkitystä käyttävien toimintakykyisyyteen tai työn tuottavuuteen ei ole käytössä.

Ihmiset myös sopeutuvat omaan ilmastoonsa; lämpimään ilmastoon totuneet ovat herkempiä kylmyydelle kuin suomalaiset ja toisaalta helteen vaikutus kuolleisuuteen alkaa näkyä Suomessa alemmissa lämpötiloissa kuin lämpimämmissä ilmastoissa. Suomessa kuolleisuus on pienimmillään vuorokauden keskilämpötilan ollessa n. 14 astetta [2]. Ääriämpötilojen potentiaalinen vaikutus riippuu myös yksilön altistuksesta ja yksilöllisestä herkkyydestä, johon puolestaan vaikuttavat mm. ikä ja terveydentila. Erityisen sääherkkiä ovat ikääntyneet, pienet lapset, kroonisesti sairaat sekä lämmönsietoa heikentäviä lääkkeitä käyttävät. Tavallista selvempiä vaikutuksia nähdään myös, kun vuodenajat vaihtuvat ja ensimmäinen kylmä tai kuuma jakso alkaa. Tähän on syynä fysiologisen sopeutumisen puuttuminen: sopeutuminen vie aikaa noin kaksi viikkoa.

Ilmastonmuutoksen seurauksena helleaaltojen aiheuttamien kuolemantapausten ennakoidaan lisääntyvän tulevaisuudessa, vaikka ihmiset sopeutuvatkin jossain määrin muuttuvaan ilmastoon. Toisaalta ilmastonmuutoksen myönteisenä seurauksena kylmän sään aiheuttamien terveysongelmien odotetaan jonkin verran vähenevän [6].

Heinäkuun 2010 helleaallon arvioidaan lisänneen kuolleiden määrää noin 400:lla (Kuva 3.9) Helleaalto oli poikkeuksellinen monella tavoin. Sen aikana mitattiin uusi lämpöennätys ja uusia heinäkuun keskilämpötilaennätyksiä. Terveysvaikutusten kannalta huomattavaa oli, että laajoilla alueilla lämpötila kohosi useana päivänä peräkkäin yli 30 asteen.



Kuva 3.9. Kuolleiden määrä kuukausittain touko-syyskuussa 2003–2010. Lähde: Tilastokeskus.

## Lämpötasapaino on monen tekijän summa

Ihmisen lämpötasapainoon vaikuttaa kolme päätekijää: ympäristön lämpöolot, elimistön lämmöntuotanto (perusaineenvaihdunta ja lihastyö) ja vaatehuollon lämmöneristävyys. Vaatehuollon ja lihastyön määrää vaihtelemalla pystytään toimimaan laajasti vaihtelevissa olosuhteissa. Kylmässä alkaa toimintakyky rajoittua ensin raajojen kirkkiosien jäähtyminen ja raskaassa työssä ylähengitysteiden supistuminen. Havaintojen perusteella pitkäkestoisen kylmätyön uskotaan aiheuttavan tai pahentavan tuki- ja liikuntaelimistön oireita, mutta kylmän ja oireiden yhteyttä vaikeaa osoittaa oireiden pitkän kehityksiajan vuoksi. Työelämässä kylmätyön rajana pidetään 10 °C lämpötilaa, jossa ääreisosat alkavat jäähtyä kevyessä työssä. Kylmässä kevyt työ on riskialtista, koska lämmöntuotanto on vähäistä. Kylmän haittoja torjutaan asianmukaisella kylmänsuojausvaatteilla ja lämmittelytauoilla.

Kuumassa puolestaan raskas työ on erityisen riskialtista sen aiheuttaman lämmöntuotannon vuoksi. Raskas työ voi kohottaa lämmöntuotantoa jopa yli 10-kertaiseksi perusaineenvaihduntaa verrattuna. Kuumatyön rajana pidetään 28 °C lämpötilaa. Sen yläpuolella täytyy pitää useampia ja pitkäkestoisempia taukoja. Suomessa on puutteita sisätilojen toimivasta jäähtymisestä hellejaksojen aikana. Jos ei ole varauduttu sisätilojen jäähtymiseen, fyysisistä työtä tekevien työympäristön lämpötila voi olla jopa korkeampi kuin ulkoilmassa. Jos lämpötila pääsee nousemaan yli 28 °C:n, on tarvittavien taukojen määrä 30–35 % työajasta ja jos työ on fyysisesti raskasta, taukojen määrä on noin 50 % työajasta [7,8]. Vaikutukset korostuvat, jos asuin- ja työympäristöön ei ole työn jälkeen palauttavaa, ja tällöin riski kohdistuu ennen kaikkea sosioekonomisesti alempiin väestön osiin kasvattaen terveyseroja. Tämän vuoksi tulisi ilmastointi- ja muihin kuumantorjuntaratkaisuihin kiinnittää aiempaa enemmän huomiota.

## Lämpöolot ovat hyvinvoinnin yksi perusta

Sekä kylmä että kuuma vaikuttavat terveyteen erityisesti riskiryhmillä. Lämpöolojen vaikutukset hyvinvointiin ja toiminta-/työkykyyn koskevat kuitenkin huomattavasti laajempia väestöryhmiä ja myös terveitä henkilöitä. Yksilölliset erot lämpötasapainon hallinnassa ovat suuria ja esim. tarkimminkin säädettyssä sisäilmastossa enintään 85 % tutkittavista kokee olonsa lämpöviihtyisäksi. Kun mennään kohti ääriolosuhteita, hyvinvointi, toimintakyky ja tuottavuus laskevat. Koetun työhyvinvoinnin ja työn tuottavuuden heikkenemisellä on havaittu yhteyksiä työympäristön lämpöoloihin myös muissa kuin fyysisissä töissä. Suomessa osataan lämmittää, mutta työtilojen viilentämiseen järkevästi ja taloudellisesti kannattavasti ei ole varauduttu.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista tarvitaan lisää tietoa töissä, joissa kuuma- tai kylmästressi ovat mahdollisia. Tällaisia ovat useimmat fyysisesti raskaat ulkotyöt, kuljetusala, pelastus- ja huoltotyöt, joita täytyy tehdä myös äärioloissa. Tietoa tarvitaan lämpöolojen vaikutuksesta toimintakykyyn, kuormittumiseen ja palautumiseen sekä tarvittavista suojaustoimenpiteistä. Saatavilla oleva tutkimustieto keskittyy pääosin miehiin. Kuitenkin paljon naisia työskentelee aloilla, joissa lämpökuormitus on mahdollista, esim. palvelu-, hoiva-, turva- ja siivousaloilla. Lisää tutkimustietoa tarvitaan myös ilmansaasteiden ja lämpöolojen yhteisvaikutuksista. Lämpötilan kohoaminen lisää ilman epäpuhtauksien - esim. pienhiukkasten, rikkidioksidin ja otsonin - haitallisia terveysvaikutuksia [9].

## Mielenterveys ja kognitiivinen suoriutuminen

Kansainvälisesti on raportoitu hellejaksojen aikana mielenterveysongelmista kärsivien lisääntyneitä sairastuvuutta. Suomesta ei tästä ole selkeitä tilastoja olemassa. Työympäristön lämpöoloilla tiedetään olevan vaikutuksia kognitiiviseen suoriutumiseen, mutta laajoja työväestöä koskevia tutkimuksia ei ole. Todennäköisesti terveen lämpösopeutuneen työntekijän kognitiivinen selviytyminen ei kuitenkaan heikkene, jos työskentely ei

tapahdu äärioloissa ja tauotuksesta sekä nesteytyksestä huolehditaan asianmukaisesti. Unen laatu heikkenee ja palautuminen on hitaampaa, jos elimistö ei pääse jäähtymään yölläkään. Myös pitkään jatkuva kylmyys, jos siltä ei asianmukaisesti suojauduta, heikentää kognitiivista suoriutumista ja laskee mielialaa [10].

## **Sopeutumiskeinoja**

Ilmaston muuttuessa keskilämpötila kohoaa niin hitaasti, että muutokset rakennuskannassa, vaatetuksessa, muussa suojautumisessa ja työtavoissa riittävät sopeuttamaan suomalaiset keskimäärisiin olosuhteisiin ilman haitallisia vaikutuksia terveyteen tai toimintakykyyn. Sen sijaan äärimmäiset ja/tai pitkät kylmät ja kuumat jaksot voivat olla terveysriski.

Iso osa hellekuolemista tapahtuu sairaaloissa, vanhainkodeissa, palvelutaloissa ja muissa julkisesti ylläpidetyissä kohteissa, sillä helteelle herkäät vanhuksat ja sydänsairaat usein ovat tällaisissa laitoksissa. Tämän vuoksi laitoksissa tulisi kiinnittää erityistä huomiota lämpökuorman ehkäisyyn ja hoitamiseen. Rakennustekniikalla voidaan estää sisälämpötiloja nousemasta liian suuriksi, tärkeimpiin huoneisiin voidaan lisätä koneellista ilmastointia, ja henkilökunta voi valistaa ja huolehtia, että asiakkaat muistavat juoda riittävästi nesteytyksen varmistamiseksi.

Tehokkaalla työpaikkoihin kohdistuvalla lämpösairauksien ehkäisyohjelmalla pystytään vähentämään työhön liittyviä lämpösairauksia vaativissakin lämpöoloissa liki 80 % ja vakavia lämpösairauksia 50 % [11].

Ilmatieteen laitos on aloittanut kesällä 2011 hellevaroituspalvelun. Kolmiportaiset varoituskriteerit perustuvat helteen terveysvaikutuksiin ja ilmastotilastoihin. Pakkasvaroitusten kriteerit perustuvat ilmastotilastoihin, sillä kylmästä säästä johtuvat kielteiset terveysvaikutukset alkavat suomalaisittain jo varsin tavanomaisissa lämpöoloissa. Pakkasvaroituksissa otetaan huomioon lämpötilan lisäksi tuulen vaikutus [12].

Helle- ja kylmyysvaroitukset ja niihin liittyvä muu tiedottaminen lisäävät kansalaisten tietoisuutta kielteisistä terveysvaikutuksista, mutta sen lisäksi tulevaisuudessa on tarpeen parantaa terveydenhuollon toimintaa helleaallojen ja pitkien kovien pakkasjaksojen aikaan. Usean Euroopan maan yhteishankkeessa, EuroMOMO-projektissa, on kehitetty monitorointimenetelmiä kuolleisuuden seuraamiseen [13]. Hankkeessa on selvitetty muun muassa helteiden ja muiden akuuttien kuolleisuutta lisäävien tekijöiden kuten influenssaepidemioiden merkitystä.

## **Muut terveyteen vaikuttavat tekijät**

### **Siitepölyt ja allergiat muuttuvat**

Ilmastonmuutos vaikuttaa kasvilajistoon, kukinta-aikoihin ja niiden kestoan, siitepölyn määrään ja sitä kautta siitepölyallergioihin. Vaikutuksia ei kuitenkaan tunneta tarkasti ilmiöiden monimutkaisuuden takia. Osa niistä on geologisia tai maantieteellisiä ja siten ilmastonmuutoksesta riippumattomia. Siksi muutoksen suuntakin on epävarma ja voi vaihdella kasvilajeittain [14]. Tärkeimmät siitepölykasvit Suomessa ovat koivu, heinät, leppä ja pujo, ja tulevaisuudessa mahdollisesti pujon sukulaiskasvit tuoksukit. Nämä sitkeät kasvit ovat peräisin Etelä-Euroopasta, mutta niitä on jo todettu Etelä-Ruotsissa. On mahdollista, että tuoksukit leviävät myös Suomeen.

Ilmaston muuttuminen voi aiheuttaa kolmenlaisia muutoksia: 1) lyhytaikaisia vaikutuksia siitepölyn päästöihin ja leviämiseen [15] 2) kasvukauden aikaisia muutoksia meteorologiassa, jotka vaikuttavat kukintaan [16] 3) pitkäaikaisia muutoksia kasvien levinneisyydessä tai kukinnassa [14]. Todennäköisesti siitepölyn määrä yleensä lisääntyy, ja tämä lisäänee hengitysteiden allergiaoireita ja lääkitystä.

Allergeenialtistumisen tiedetään pahentavan oireita herkistyneillä ihmisillä, mutta siitepölyillä - tai allergeeneilla ylipäänsä - näyttää olevan varsin rajallinen rooli allergian ja astman synnyssä. Niinpä ei ole odotettavissa, että siitepölypitoisuuksien muutokset lisäävät allergisia sairauksia sinänsä, vaikka oireilu allergikoilla voikin lisääntyä.

## Maastopalojen mahdollisuus kasvaa

Pienhiukkaset<sup>10</sup> ovat nykyään tärkein ympäristöterveysongelma länsimaissa [17]. Lyhytaikainen altistus yhdistyy lisääntyneeseen hengitystie- ja sydänsairastuvuuteen ja -kuolleisuuteen [18,19]. Kaukokulkeutunut maastopalon savu aiheuttaa säännöllisesti pienhiukkasepisodeja myös Suomessa [20]. Myös yksittäinen episodi voi aiheuttaa merkittävästi lisääntynyttä kuolleisuutta väestössä [21].

Fossiilisten polttoaineiden pienhiukkasten vaarallisuus on osoitettu [22], mutta maastopalojen tuottamia pienhiukkasia on tutkittu niukasti. Ne ovat kemialliselta koostumukseltaan erilaisia kuin esimerkiksi liikenteen pienhiukkaset ja voivat siten aiheuttaa erilaisia haittoja.

## Talous- ja uimavesien pilaantuminen

Rankkasateiden ja tulvien yleistyminen voi aiheuttaa talous- ja uimavesien saastumista; uutiskynnyksen ylittävien ongelmien lisäksi runsaat sateet voivat aiheuttaa paikallisia pienempiä terveysongelmia pintavesien päästessä saastuttamaan kaivoja. Lämmenneet järvi- ja merivedet voivat edistää syanobakteerien (sinilevien) kasvua ja kukintaa. Osa syanobakteereista erittää myrkyjä, jotka voivat aiheuttaa iho-oireita uimareille sekä vakavampia hermosto- tai muita oireita, jos vettä käytetään talousvetenä. Vaikka isompia terveyshaittoja ei Suomessa ole todettu, uimavesien laatu on tärkeä hyvinvointikysymys.

Sateet ja lumien sulamisvedet ovat maailmanlaajuisesti elintärkeitä juomaveden lähteitä. Pohjoisessa ilmastossamme kuitenkin myös vesiepidemiat johtuvat tyypillisesti joko lumen sulamisvesistä tai syksyn rankkasateista [23]. Nämä johtuvat maanalaisen, yleensä pienen juomavesilähteen saastumisesta mikrobipitoisilla pintavalumilla. Myös jätevesihaverien aiheuttamat juomavesilähteiden saastumiset ovat yleisiä. Suurimman osan vesiepidemioista aiheuttavat norovirukset tai kampylobakteerit; Euroopassa myös alkueläimet giardia ja cryptosporidium ovat merkittäviä [23,24].

Kansallisen vesihuollon merkittävin uhka koskee pohjavesilaitosten jakaman juomaveden turvallisuutta, ja siksi tarve järjestelmäkehitykseen on suuri. Talusvedestä n. 60 % osuus tuotetaan pohjavesilaitoksissa ja tavoitteena on pohjaveden käytön lisääminen. Suomalaiset pohjavedet ovat hyvin haavoittuvia. Usein uskotaan, että maaperä suojaa pohjavesiä ja ettei muuta suojaa tarvita. Todellisuudessa pohjavedenottamoiden sijainti mm. mäkien rinteissä ja hiekkamontuissa sekä yleensä ohut suojaava pintakerros altistavat ne likaantumiselle. Vuosien 1998–2008 aikana Suomessa on esiintynyt 59 vesiepidemiaa, joissa on sairastunut noin 27 000 henkilöä [25]. Vesiepidemioiden lisäksi erityisesti rankkasateet ovat aiheuttaneet joka vuosi lukuisia kontaminaatiotilanteita (20–40 kpl/vuosi).

Juomaveden hyvään mikrobiologiseen laatuun tulisi pyrkiä raakaveden laadun huomioon ottavalla riittävän tehokkaalla vedenkäsittelyllä. Pintavesilaitoksilla saostustekniikka, aktiivihiihi-suodatus ja desinfiointi ovat vesiepidemioista saadun kokemuksen perusteella tehokkaita tapoja mikrobien poistamiseen. Pohjavesilaitoksilla veden pääasiallinen käsittely tapahtuu itsestään maaperässä, minkä toivotaan poistavan pintavesien kautta maaperään joutuvat epäpuhtaudet. Tämä ei välttämättä toteudu. Ilmastonmuutos tuo tulevaisuudessa merkittävän haasteen pohjavesien turvallisuudelle. Riskinarvioinnin ja -hallinnan kannalta on tärkeää varautua erityisesti yleistyviin rankkasateisiin.

<sup>10</sup> pienhiukkaset PM<sub>2,5</sub>, aerodynaaminen halkaisija alle 2.5 mikrometriä

Koko Euroopan alueella on tarpeen kehittää vedenlaadunhallintaa sellaisissa herkissä pohjavesikohteissa, joiden haavoittuvuus sään ääri-ilmiöille on merkittävä ja joiden harjurakenne on yksilöllinen. Erityisesti pienet vedenottamot ovat vaarassa, koska niitä ylläpidetään vähäisillä resursseilla. Todellisen pohjaveden lisäksi rantaimetyiskohteissa pintaveden laadun vaihtelut heijastuvat vesilaitoksella pahimmillaan prosessien toistuvina poikkeustilanteina. Monet suuret vesilaitokset käyttävät pintavettä toisena raakavesilähteenään, jolloin vaatimukset prosessien säädölle ja reagoitiherkkyydelle kasvavat entisestään.

Ilmastonmuutos aiheuttaa paineita järjestelmällisten riskinarviointien ja riskinhallintatoimien kehittämiseen. Erityisesti sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia mikrobiriskejä pitäisi arvioida ja niihin varautua mm. vesiturvallisuuksuunnitelmin. Vedenlaadun jatkuva seuranta korostuu, jotta vakavat ongelmat tunnistetaan, ennen kuin ne ehtivät aiheuttaa terveyshaittaa. Jatkossa vedenottamoinvestointeihin tulisivat liittää automaatiojärjestelmän ulottaminen myös pohjavesikohteisiin ja niiden ympäristöön.

## Tapaturmat

Ilmastonmuutos voi vaikuttaa myös joidenkin tapaturmien määrään. Esimerkiksi liukas keli aiheuttaa nykyisin noin 50 000 tapaturmaa jalankulkijoille talvikauden aikana [26]. Ilmaston muuttuessa voidaan suuressa osassa maata odottaa nollakelien yleistymisen lisäävän liukastumistapaturmien riskiä vielä lähivuosikymmeninä, mutta etelästä alkaen riski alkaa myöhemmin pienentyä talvien lyhetessä. Varsinkin talvikaudella säällä on suuri vaikutus tieliikenneonnettomuuksien määrään ja kesäkaudella veneilyonnettomuuksien määrään. (kts. luku 3.1.1. Liikenne ja tietoliikenne).

Myös maa-alueilla voimakkaat, puuskaiset tuulet voivat lisätä tapaturmariskiä esim. puiden kaatuessa. Heinä-elokuun 2010 rajuilmat aiheuttivat suoranaisesti Suomessa yhden kuolemantapauksen ja useita kymmeniä loukkaantumisia [27].

## Eläinten välittämät taudit eli zoonoosit

### Hyönteisten välittämät taudit

Ilmasto ja ilmastonmuutos vaikuttavat niin vektorivälitteisten (niveljalkaisten levittämien) kuin myös joidenkin suoraan eläimistä tarttuvien tautien esiintymiseen ja leviämiseen. Niveljalkaisvälitteisten mikrobien elinkierto on usein hyvin monimutkainen ja eri tautien, niiden vektorien ja isäntälajien riippuvuudet ilmastosta ja muista tekijöistä ovat erilaisia. Levinneisyyden muutokset liittyvät erityisesti hyttysvälitteisillä infektioilla usein globalisaatioon ja kasvavaan mannertenväliseen kauppaan ja matkailuun, joiden myötä sekä vektorit että taudinaiheuttajat voivat nopeasti siirtyä uusille alueille. Hyttyset ja polttiaiset kulkeutuvat myös tuulen ja puutiaiset muuttolintujen mukana. Ilmastolliset edellytykset esimerkiksi chikungunya-viruksen ja -kuumeen laajemmalle leviämislle Euroopassa ovat periaatteessa olemassa ja ilmastonmuutos tulee mahdollistamaan *Ae. albopictuksen*-hyttysen selviämisen pohjoisempaan. Kesällä 2011 esiintyi ensi kertaa myös dengue-kuumetta Euroopassa kotoperäisenä tämän hyttyslajin myötä. Kyseisen hyttyslajin ja näiden tautien leviämistä Suomen korkeudelle pidetään kuitenkin edelleen epätodennäköisenä [28]. Malarian esiintyminen liittyy pääasiassa muihin seikkoihin kuin ilmastoon, ja malarian kierto Suomessa on katkaistavissa hoitamalla tartunnankantajat. Ilmasto tai vektorien puute sinänsä ei ole este malarian kierrolle Suomessa [29].

Tärkeimmät tunnetut Suomessa nyt esiintyvät hyttysvälitteiset taudit ovat tularemia eli jänisrutto (aiheuttaja *Francisella tularensis* -bakteeri) ja pogostantauti (aiheuttaja *Sindbis-virus*). Pogostantautia tai sen aiheuttajaa ei ollut Suomessa vielä 1960-luvulla, vaan se tuli Pohjoismaihin todennäköisesti muuttolintujen mukana ja levisi

vähitellen aiheuttaen ensimmäisen todetun epidemian Suomessa v. 1974. Pogostantaudin esiintyvyys riippuu muun muassa ilmastotekijöistä, jotka edesauttavat vektorihyttysten lisääntymistä, kuten lumen syvyydestä edellisenä talvena tai kesän sateisuudesta lisääntymistä [30]. Sateisuuden mahdollisesti lisääntyessä taudin leviämismahdollisuudet voisivat parantua. Toisaalta, lumen väheneminen voi vaikuttaa päinvastoin sulamisvesilätäköihin, joissa hyttysten toukat keväällä lisääntyvät. Jänisruton reservuaarina Suomessa ovat myyrät, ja taudin esiintyminen ihmisissä liittyy myyrien runsaudenvaihteluihin, vaikka tartunta ihmisiin tapahtuu useimmiten hyttysten välityksellä.

Perusongelmana Suomessa on, että ihmisiä pistävien hyönteisten lajikirjo ja levinneisyys tunnetaan huonosti, eikä niissä esiintyviä mikrobeja järjestelmällisesti seulota. Asiaa on kartoitettu jonkin verran laajemmin viimeksi 1960-luvulla. Näin ollen ilmastomuutoksen aiheuttamien todellisten muutoksien havaitseminen esimerkiksi hyttyslajikirjossa on hankalaa.

### **Puutiaisvälitteiset taudit**

Ilmastomuutoksen ehkä herkimpiä indikaattoreita ovat puutiaisvälitteiset taudit, mutta monet muut tekijät vaikuttavat näiden tautien esiintymiseen. Ilmasto rajaa puutiaisen (*Ixodes ricinus*) esiintymistä sekä etelässä että pohjoisessa; se viihtyy 5–25 °C:n lämpötilassa ja mahdollisimman kosteassa. Kovin ankarasta talvesta puutiainen ei selviä; esiintymisen pohjoisraja rajoittuu kasvukauden mukaan. Esimerkiksi Ruotsissa puutiaista (ja borreliaa) esiintyy alueilla, joissa on lumipeite enintään 150 vrk tai kasvukausi vähintään 170 vrk [31]. Käytännössä puutiaisen esiintymisen pohjoisraja näyttää kiertävän nykyään Pohjanlahden ympäri lähellä rannikkoa. Kosteuden ja lämpötilan vaihtelu paikallisesti (korkeuserot ja ilmansuunta) vaikuttaa huomattavasti puutiaisten määrään ja esiintymiseen. Ilmaston lämmitessä kasvukausi pitenee ja puutiainen voi levitä kohti pohjoista. Puutiaishavaintoja on nykyään Suomessa selvästi pohjoisempaa (esim. Tornionjoelta) kuin 1960-luvulla, jolloin puutiaisen esiintymisen pohjoisraja kulki Kokkola–Ilomantsi-linjalla.

Ilmastomuutos voi osittain selittää sosioekonomisten tekijöiden ohella puutiaisavokuumeen räjähdysmäistä lisääntymistä Baltian maissa 1990-luvulla [32] jolloin puutiaisavokuumesta eli TBE:stä tuli lyhyessä ajassa yleisin neurologinen infektio mm. Latviassa. Keski-Euroopassa TBE:n esiintymisalueet ovat jatkuvasti siirtyneet ylemmäksi vuoristoissa ja viime vuosina puutiaisavokuumetta on tavattu Suomessa uusilla alueilla (mm. Närpiö, Kotka, Kuopio, Varkaus, Simo) [33], yhä pohjoisempana ja yhä enemmän. Vuonna 2011 tapauksia oli ennätyskellinen määrä. Pahimmassa tapauksessa meillä on alkamassa samanlainen TBE:n lisääntymisvaihe kuin Baltiassa pari vuosikymmentä aiemmin, tosin ilman samanlaista tartunnoille altistavaa sosioekonomista muutosta.

Puutiaisen levittämällä taudeilla, erityisesti borrelioosilla ja TBE:llä, on myös muita ilmastoriippuvuuksia. Mikrobin selviytymistä puutiais-jyrsijä-kierrossa parantaa, jos puutiaisen kolmivaiheisen kierron nuorimmat sukupolvet – larva- ja nymfimuodot – ovat yhtä aikaa aktiivisina. Larvat aktivoituvat vasta, kun lämpötila nousee keväällä yli kymmenen asteen, nymfit jo seitsemässä asteessa. Jos kevätlämpötilat nousevat tarpeeksi nopeasti alle seitsemästä yli kymmeneen asteeseen, larvat ehtivät yhtä aikaa ateriomaan nymfiensa kanssa. TBE on näin ollen herkkä paikallisille lämpötiloille.

Puutiaisen esiintymisen ilmastoriippuvuutta ja ilmastomuutoksen vaikutusten arviointia monimutkaistaa vielä se, että tavallisen eurooppalaisen *Ixodes ricinus* -puutiaisen lisäksi Suomesta löytyy sen itäisempi sukulainen taiga- eli siperianpuutiainen (*Ixodes persulcatus*). Tämä näyttää esiintyvän Suomessa pohjoisempana kuin *Ixodes ricinus*, ja on mahdollista, että Siperiassa yleisesti esiintyvä taigapuutiainen on kylmänkestävämpi kuin *Ixodes ricinus* puutiainen. Sekä puutiaisen että sen levittämien tautien maantieteellisen esiintymisen seuranta on kuitenkin hajanaista. On myös todennäköistä, että muita puutiaisvälitteisiä infektioita, joita nyt tavataan etelämpänä, leviää Suomeen ja tullaan diagnosoimaan useammin Suomessa.

## Muut zoonoosit

Suoraan elämistä ihmiseen tarttuvilla infektioilla on myös ilmastoriippuvuuksia. Ilmasto määrää eliöyhteisöjen rakenteen sekä saalis- ja petoryhmien määrän, jotka vaikuttavat yhteisö- ja lajidynamiikkaan. Monimuotoisuus vakauttaa, kun taas ekologisten ryhmien vähäinen määrä saa aikaan aikaviiveitä ja kannanvaihteluita. Ankarat talvet ja paksu lumipeite suosivat myyräsyklejä ja myyriin erikoistuneita petoja kuten lumikkoja. Ilmaston lämpenemisen myötä yhteisörakenteiden ennustetaan monimuotoistuvan, mikä lisää populaatiodynamiikan vakautta. Ilmasto voi vaikuttaa myös suoraan patogeenin säilymiseen. Esimerkiksi myyräkuumeen aiheuttaja, Puumala-virus, säilyy infektiivisenä huoneenlämmössä kaksi viikkoa, mutta meidän talvisissa olosuhteissamme varmasti paljon pitempään. Myyräkuume onkin tärkein Suomessa esiintyvä luonnosta tarttuva tauti ja laboratoriovarmistettuja tapauksia voi myyrävuosina olla jopa yli 3000. Puumala-virusta levittää metsämyyrä, ja tautitapausten määrä noudattaa myyrien 3-4 vuoden sykleissä kannanvaihtelua parin kuukauden viiveellä. Vuosisadan loppua kohti eteläisemmästä Suomesta myyräsyklit saattavat ilmastonmuutoksen myötä heikentyä tai jopa hävitä leudompina talvina myötä [34] ja samalla myyräkuume vähentyä.

Vaihtelevat sääolot voivat muuttaa ihmisten ja jyräjien kontakteja ja muokata epidemioita alueilla, jossa myyräkuume esiintyy. Esimerkiksi Pohjois-Ruotsissa oli v. 2007 pahin myyräkuume-epidemia koskaan, kun myyrähuiipun aikaan lumisena alkaneen talven keskeytti pitkä lämpöjakso, jolloin lumi sulii, ja sitä seurasi tammikuussa kova pakkas, jolloin maa jäättyi ja metsämyyrät hakeutuivat ihmisasumusten liepeille [35]. Ilmastonmuutoksen myötä lauhtuvat talvet ja äkilliset lämpö- ja pakkaskaudet voivat aiheuttaa yllätyksiä. Talvien leudontuminen ja märkyys voi edesauttaa myös *Leptospira*-bakteerien runsastumista, joiden aiheuttamat leptospiroositartunnat yleensä liittyvät sateisiin ja vesiolosuhteisiin.

Ilmaston lämpenemisestä johtuva biologisen tuotannon kasvu lisää myös nk. yleispetojen, kuten kettujen kantoja. Kun pääisännän kanta kasvaa, niin niiden levittämät loiset ja patogeenit runsastuvat. Myyräkinokokin määrä Saksassa ja muualla Keski-Euroopassa nousi rajusti kettukannan kasvun myötä, ja kettu- ja supikoirakannan ennustettu kasvu lisää suuresti tämän vaarallisen loisen Suomeen leviämisen todennäköisyyttä. Samaan aikaan mahdollisesti tapahtuva myyrien, väli-isäntien, kantojen vakaantuminen lisää leviämisen mahdollisuutta. Kettu- ja supikoirien runsastuminen ilmastonmuutoksen myötä lisää rabieksen leviämisen ja pysyvän endeemisen tilanteen riskiä.

Matkailun myötä suomalaiset voivat altistua myös monille zoonoottisille sairauksille, joita Suomessa ei muutoin esiinny. Terveystieteiden toimivuus ja varautuminen sekä nopea diagnostiikka, hoito tai rokotukset voivat tehokkaasti ehkäistä zoonoosien leviämisen aiheuttamaa tautipainetta, kunhan asia tiedostetaan ja sen vaatimiin toimiin ryhdytään.

## Kaamosoireet

### Kaamosoireet ovat yleisiä koko maassa

Suomessa päivän valoisa aika on talvella lyhyt koko maassa ja 85 aikuista sadasta huomaa vuodenaikojen vaihtumisen vaikuttavan käyttäytymiseensä. Kaamosoireista tai talvisin masennusoireista kärsivien henkilöiden lukumäärä on asukasmäärään suhteutettuna yhtä suuri eri puolilla Suomea. Jopa 40 henkilöä sadasta kokee vuosi toisensa jälkeen hyvinvointia heikentäviä oireita kuten unihäiriöitä, ruokahalun ja painon vaihteluita [36]. Myös muutokset sosiaalisuudessa, mielialassa ja toimintatarmossa sekä kognitiivisessa suoriutumisen tasossa ovat yleisiä [37]. Joka kymmenes suomalainen kärsii näiden kaamosoireiden lisäksi myös masennusoireista talven aikana. Jokatalviseen kaamosmasennukseen sairastuu yhdeksän suomalaista tuhannesta.

## **Kaamosoireet altistavat myös fyysisille sairauksille**

Sisätilavalalaistus vaikuttaa siihen, missä määrin ruokahalu ja paino pyrkivät vaihtelevaan vuoden aikana. Etenkin lihominen toistuvasti aina talven aikana voi muutamassa vuodessa johtaa huomattavaan ylipainoon. Kaamosoireilu kasvattaakin metabolisen oireyhtymän riskiä [38]. Tämän takia keskivartalon liikalihavuutta, heikentynyttä sokerinsietoa ja korkeaa verenpainetta vastaan on mahdollista taistella paitsi kuntoa kohentavan liikunnan keinoin, myös kaamosoireita lievittävän valon avulla. Sisätilojen valaistusolosuhteilla on siten merkitystä myös ylipainon ja siitä johtuvien haitallisten terveysvaikutusten ehkäisylle [39].

## **LVI-suunnittelu ja valaistus**

Kun luonnon antamat aikamerkit joko puuttuvat, kuten pimeinä talviaamuina, tai kun elimistö lukee niitä epätäsmällisesti, kuten masentuneilla, sisäisen kellon toiminta kärsii rytmihäiriöistä. Valo on myös nopea ja tehokas keino kaamosoireita aiheuttavien sisäisen kellon rytmihäiriöiden estämisessä. Tästä huolimatta sisätilojen valaistus suunnitellaan niin uudisrakentamisen kuin korjausrakentamisen aikana edelleen vain visuaalisiin tarpeisiin. Näiden tarpeiden ohella valon terveysvaikutusten, jotka välittyvät silmien verkkokalvolta aivoille näköaistihavainnoista riippumatta, ymmärtäminen avartaisi valaistussuunnittelua ja antaisi keinoja vaikuttaa laajamittaisesti terveyteen ja hyvinvointiin ihmisten arkiympäristössä. Tämän vuoksi rakennustekniikassa tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota valaistukseen siten, että aamun tunteina valaistusvoimakkuus voisi olla säädettävissä nykyistä selvästi suuremmaksi niissä kohdin rakennusta, joissa henkilö kulloinkin on.

## **Itsemurhat kertyvät kevääseen**

Juuret itsemurhan yritykseen saattavat juontaa kaukaa henkilön taustasta, vaikka useimmiten on löydettävissä myös ajankohtaisia selittäviä tekijöitä. Yhtä syytä itsemurhan yritykselle ei useinkaan ole, vaan tavallisesti kyse on useammasta yhtäaikaa ilmaantuneesta ja pitkään kestäneestä syystä. Itsemurhien tärkeimmät syyt ovat mielenterveydellisiä, mutta myös sää ja ilmasto vaikuttavat laukaisevina tekijöinä itsemurhien ajoittumiseen. Itsemurhayritykset ovat Suomessa tavallisimpia keväällä ja itsemurhat alkukesällä. Sekä miehillä että naisilla itsemurhien vuodenaikaisvaihtelu korostuu sitä enemmän, mitä pienempi itsemurhien vuosittainen määrä on. Kun itsemurhia tehdään suhteellisen vähemmän, vuodenaikojen merkitys ja niihin liittyvien biologisten taustatekijöiden vaikutus tulee selvemmin esille. Eräs tällainen altistava tekijä saattaa talvikuukausina olla niukka valo, sillä mitä vähemmän ulkona on auringonsäteilyä, sitä runsaammin itsemurhakuolemia talvikuukausina on [40].

Sitä vastoin keväisin ilmenevän itsemurhakuolleisuuden huipun tarkemmat syyt ovat edelleen tuntemattomia. Altistava tekijä kevätkuukausina saattaa vuorostaan olla valon runsaus, etenkin uni-valverytmin häiriöille altistava illasta pitenevä valoisa aika [41]. Serotoniinin käyttö hermosolujen kemialliseen viestinsiirtoon on laiskinta talven aikana, mutta vilkastuu nopeasti auringonpaisteen voimistuessa keväällä, mikä voi johtaa mielialan heilahduksiin ja aistiharhoihin. Epäsuotuisissa olosuhteissa ilmaantuessaan ne suurentavat itsemurhariskiä.

## **Taloudelliset arviot**

Ilmastonmuutoksen ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen terveyteen liittyvät taloudelliset vaikutukset Suomessa tunnetaan huonosti. Aihetta on tutkittu maailmanlaajuisestikin hyvin vähän. Joitain arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista globaalilla tasolla on, mutta ne perustuvat pieneen määrään aineistoa, rajallisiin terveysvaikutuksiin ja Suomen kannalta epärelevantteihin vaikutuksiin, kuten muutoksiin malarialaisten kantavien hyttysten esiintymisessä. Edellä kuvattujen sairauksien sää- ja ilmastoriippuvuuksien perusteella muuttuva ilmasto voi aiheuttaa huomattavia taloudellisia vaikutuksia terveyssektorilla myös Suomessa. Helleaallot voivat aiheuttaa



myös työtehokkuuden vähenemistä. Lumipeitteen vähenemisen ja lisääntyvän pilvisyyden vuoksi talvet voivat pimentyä nykyisestä, mikä vaikuttaa kaamosmasennukseen ja sitä kautta ihmisten työkykyyn. Tällä voi olla merkittäviäkin kansantaloudellisia vaikutuksia. Näiden vaikutusten vähentäminen voi olla kustannustehokas sopeutumiskeino. Tämänhetkisenkin tilanteen taloudellisten vaikutusten selvittäminen hyödyttäisi arvioiden tekemistä tulevasta tilanteesta.

Talvikausien liukastumistapaturmista aiheutuvia kustannuksia voidaan vähentää jalkakäytävien tehokkaamalla kunnossapidolla ja lisäämällä jalankulkijoiden tietoisuutta pito-ominaisuuksiltaan hyvistä jalkineista ja liukuesteistä. Katujen kunnossapito aiheuttaa luonnollisesti myös kustannuksia.

## **Ilmastonmuutoksen hillintä, sopeutuminen ja terveysvaikutukset**

Monet nyky-yhteiskunnan valtatrendeistä sekä edistävät ilmastonmuutosta että huonontavat kansanterveyttä, esimerkkinä runsas yksityisautoilu lyhyillä matkoilla. Siirtyminen nykyistä enemmän kävelemiseen tai pyöräilyyn torjuisi ilmastonmuutosta ja vähentäisi muitakin päästöjä, mutta suurin kansanterveyshyöty tulisi lisääntyneestä liikunnasta ja alentuneesta sydän- ja verisuonitautiriskistä. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi pyritään lisäämään uusiutuvan energian käyttöä. Puun pienpoltto asuntojen lämmityksessä lisää kuitenkin voimakkaasti pienhiukkaspäästöjä ja siten sydän- ja verisuonitautiriskejä. Jos puu poltettaisiin kokonaan ja puhtaasti voimalaitoksissa, joissa on tehokas hiukkaspäästöjen puhdistus, päästöt voitaisiin pitää kurissa [42]. Toisaalta rajuilmojen aiheuttamien sähkökatkosten varalta kannustetaan hajautettuihin energiaratkaisuihin ja omavaraisuuteen.

## **Tutkimus- ja kehittämistarpeita**

1. Ilmasto- ja hyvinvointipoliittinen keskustelu on kytkettävä paremmin toisiinsa ja tarvitaan arviointeja sosiaalisista ja terveysvaikutuksista.
2. Väestötasolla tarvitaan lisää tietoa siitä, miten voidaan ennustaa, tunnistaa ja torjua säähän liittyviä terveysriskejä. Tiedetään, että erityisen sääherkkiä ovat ikääntyneet, pienet lapset, kroonisesti sairaat sekä lämmönsietoa heikentäviä lääkkeitä käyttävät. Lämpökuormituksen vaikutuksia tavallisia kansansairauksia potevien tai lääkehoitoa saavien toimintakykyyn tai työn tuottavuuteen ei kuitenkaan tunneta. Lämpötilan ohella myös riittämättömällä sisävalaistuksella ja valoisuudella on vaikutusta terveyteen ja hyvinvointiin.
3. Tutkimusta tarvitaan myös ilmansaasteiden ja lämpöolojen yhteisvaikutuksista, ilmastonmuutoksen vaikutuksista siitepölyjen ja muiden allergeenien sekä eläin- ja vesivälitteisten tautien esiintyvyyteen ja niiden torjuntatarpeeseen.
4. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja sopeutumista on tutkittava töissä, joissa kuuma- tai kylmästressi ovat mahdollisia, kuten fyysisesti raskaat ulkotyöt sekä kuljetusala, pelastus- ja huoltotyöt, joita täytyy tehdä myös äärioloissa. Tietoa tarvitaan lämpöolojen vaikutuksesta toimintakykyyn, kuormittumiseen ja palautumiseen sekä tarvittavista suojaustoimenpiteistä.
5. Lisätietoa tarvitaan myös sisäilman laadun muutoksista liittyen lämpötiloihin ja kosteuteen.
6. Tutkimustietoa tarvitaan myös ilmastonin terveys- ja toimintakykyvaikutuksista, sekä myönteisistä että kielteisistä. Vaihtoehtoisten passiivisten kuumantorjuntakeinojen, kuten auringon säteilylämmön torjuntakeinojen optimaalista käyttöä tulisi myös selvittää.
7. Zoonoottisten patogeenien vektorien tämänhetkinen lajikirjo ja levinneisyys sekä monien patogeenien esiintyvyys niin vektori- kuin reservuaarilajeissa on puutteellisesti tunnettu: ilmastonmuutoksen vaikutuksen mahdollinen havaitseminen myöhemmin ja ennustaminen on vaikeaa ilman lähtötilanteen määrittämisestä.

## Viitteet

1. IPCC, Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 8: Human health. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch8.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch8.html)
2. Näyhä, S. 2005 Environmental temperature and mortality. *Int J Circumpolar Health* 64(5):451-458
3. Keim SM, Mays MZ, Parks B, Pytlak E, Harris RM, Kent MA. 2007. Heat fatalities in Pima County, Arizona..*Health Place*. 13:288-92.
4. Rocklöv J, Forsberg B. 2010. The effect of high ambient temperature on the elderly population in three regions of Sweden. *Int J Environ Res Public Health* 7: 2607: 2619.
5. Bonauto D, Anderson R, Rauser E, Burke B. 2007 Occupational heat illness in Washington State, 1995-2005. *Am J Ind Med* 50:940-50.
6. Hassi, J., Rytönen, M. 2005. Climate warming and health adaptation in Finland. FINADAPT Working Paper 7, Finnish Environment Institute Mimeo-graphs 337, Helsinki, 22 pp.
7. ISO 7243. Hot environments -- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). International Organization for Standardization, Geneva 1989.
8. Kjellström, T., Holmér, I., Lemke, B. 2009. Workplace heat stress, health and productivity - an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. *Global Health Action* 2009. DOI: 10.3402/gha.v2i0.2047.
9. Dennekamp M, Carey M. 2010. Air quality and chronic disease: why action on climate change is also good for health. *NSW Publ Health Bull* 21: 115-122.
10. Mäkinen TM 2007. Human cold exposure, adaptation, and performance in high latitude environments. *Am J Hum Biol* 19:155-164.
11. Joubert D, Thopmsen J, Harrison O. 2011 Safety in the heat: A comprehensive program for prevention of heat illness among workers in Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Am J Publ Health* 101: 395-398.
12. <http://ilmatieteenlaitos.fi/tietoa-varoituksista>
13. Euromomo-projektin kotisivu <http://www.euromomo.eu/>
14. Ranta, H., Hokkanen, T., Linkosalo, T., Laukkanen, L., Bondestam, K., Oksanen, A. (2008) Male flowering of birch: Spatial synchronization, year-to-year variation and relation of catkin numbers and airborne pollen counts. *Forest Ecol and Management*, 255, 643-650.
15. Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., Rantio-Lehtimäki, A. (2006) Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study. *Int J. on Biometeorology*, DOI 10 1007/s00484-006-0027-x, 50, 392-402.16.
16. Siljamo, P., Sofiev, M., Ranta, H., Linkosalo, T., Kubin, E., Ahas, R., Genikhovich, E., Jatczak, K., Jato, V., Nekovar, J., Minin, A., Severova, E., Shalaboda, V. (2008) Representativeness of point-wise phenological *Betula* data observed in different parts of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 17(4), 489-502, DOI: 10.1111/j.1466-8238.2008.00383.x.
17. European Union, Clean Air for Europe (CAFÉ) Programme, 2005. <http://ec.europa.eu/environment/air/cafe/index.htm>
18. Halonen JI, Lanki T, Yli-Tuomi T, Kulmala M, Tiittanen P, Pekkanen J. Urban air pollution, and asthma and COPD hospital emergency room visits. *Thorax*. 2008 Jul;63(7):635-41.
19. Lanki T, Pekkanen J, Aalto P, Elosua R, Berglind N, D'ippoliti D, Kulmala M, Nyberg F, Peters A, Picciotto S, Salomaa V, Sunyer J, Tiittanen P, von Klot S, and Forastiere F. Associations of traffic-related air pollutants with hospitalisation for first acute myocardial infarction. The HEAPSS study. *Occup Environ Med* 2006a; 63:844-851.

20. Niemi JV, Saarikoski S, Aurela M, Tervahattu H, Hillamo R, Westphal DL, Aarnio P, Koskentalo T, Makkonen U, Vehkamäki H, Kulmala M. Long-range transported episodes of fine particles in Southern Finland during 1999-2007. *Atmospheric Environment* 2009; 43:1255-1264.
21. Hänninen O, Salonen RO, Koistinen K, Lanki T, Barregård L, Jantunen M. Population exposure to fine particles and estimated excess mortality in Finland from an East-European wildfire episode in 2002. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2009; 19:414-422.
22. Lanki T, de Hartog JJ, Heinrich J, Hoek G, Janssen NAH, Peters A, Stölzel M, Timonen KL, Vallius M, Vanninen E, Pekkanen J. Can we identify sources of fine particles responsible for exercise-induced ischemia on days with elevated air pollution? The ULTRA study. *Environ Health Perspect* 2006b; 114:655-660.
23. Miettinen et al. 2001. Waterborne epidemics in Finland in 1998-1999. *Water Sci Technol.* 43:67-71.
24. Pitkanen T, Miettinen IT, Nakari UM et al. 2008. *Journal of Water and Health* 6: 365-76
25. [www.thl.fi](http://www.thl.fi)
26. Ruuhela, R., Ruotsalainen, J., Kangas, M., Aschan, C., Rajamäki, E., Hirvonen, M. ja Mannelin, T., 2005. Kelimallin kehittäminen talvijalankulun turvallisuuden parantamiseksi: Loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2005:1, Helsinki, 47 s.
27. Onnettomuustutkintakeskus tutkintaselostus S2/2010Y, Heinä-elokuun rajuilmat
28. Sane J, Kurkela S, Vapalahti O. Chikungunya, uusi maailmanlaajuinen epidemia? *Katsaus. Duodecim* 2011; 127:457-63
29. Reiter P, Climate Change and Mosquito-Borne Disease, *Environmental Health Perspectives* 2001, 109 Suppl 1
30. Brummer-Korvenkontio M, Vapalahti O, Kuusisto P, Saikku P, Manni T, Koskela P, Nygren T, Brummer-Korvenkontio H, Vaheeri A. Epidemiology of Sindbis virus infections in Finland 1981-96: possible factors explaining a peculiar disease pattern. *Epidemiol Infect* 2002;12:335-45
31. Jaenson TGT, Ejsen L, Comstedt P, Mejlon HA, Lindgren E, Bergström S, Olsen B. Risk indicators for the tick *Ixodes ricinus* and *Borrelia burgdorferi sensu lato* in Sweden *Medical and Veterinary Entomology* (2009) 23, 226–237
32. Sumilo D, Bormane A, Asokliene L, Vasilenko V, Golovljova I, Avsic-Zupanc T, Hubalek Z, Randolph SE. Socio-economic factors in the differential upsurge of tick-borne encephalitis in Central and Eastern Europe. *Rev Med Virol.* 2008 Mar-Apr;18(2):81-95.
33. Jääskeläinen, Tonteri E, Sironen T, Pakarinen L, Vaheeri A, Vapalahti O. European Subtype tick-borne encephalitis virus in *Ixodes persulcatus* ticks. *Emerg Infect Dis*, 2011 Feb 17(2):323-5.
34. Henttonen, H. 1991. Ilmastonmuutos ja pienriistakannat. - *Suomen Riista* 37:79-85.
35. Evander M, Ahlm C. Milder winters in northern Scandinavia may contribute to larger outbreaks of haemorrhagic fever virus. *Glob Health Action.* 2009 Nov 11;2. doi: 10.3402/gha.v2i0.2020.
36. Grimaldi, S., Partonen, T., Haukka, J., Aromaa, A., Lönnqvist, J. 2009. Seasonal vegetative and affective symptoms in the Finnish general population: Testing the dual vulnerability and latitude effect hypotheses. *Nord J Psychiatry* 63:397-404.
37. Merikanto I, Lahti T, Castaneda AE, Tuulio-Henriksson A, Aalto-Setälä T, Suvisaari J, Partonen T. 2011. Influence of seasonal variation in mood and behavior on cognitive test performance among young adults. *Nord J Psychiatry* 2011 [Epub ahead of print; doi:10.3109/08039488.2011.633618].
38. Grimaldi, S., Englund, A., Partonen, T., Haukka, J., Pirkola, S., Reunanen, A., Aromaa, A., Lönnqvist, J. 2009. Experienced poor lighting contributes to the seasonal fluctuations in weight and appetite that relate to the metabolic syndrome. *J Environ Public Health* 2009:165013.
39. Grimaldi, S., Partonen, T., Saarni, S. I., Aromaa, A., Lönnqvist, J. 2008. Indoors illumination and seasonal changes in mood and behavior are associated with the health-related quality of life. *Health Qual Life Outcomes* 6:56.

40. Ruuhela, R., Hiltunen, L., Venäläinen, A., Pirinen, P., Partonen T. 2009. Climate impact on suicide rates in Finland from 1971 to 2003. *Int J Biometeorol* 53:167-175.
41. Hiltunen, L., Suominen, K., Lönnqvist, J. Partonen, T. 2011. Relationship between daylength and suicide in Finland. *J Circadian Rhythms* 2011;9:10.
42. Pekkanen J: Suomen Lääkärelehti 2010 (65): 43: 3469.

## Lisätietoja

THL:n ylläpitämässä verkkotyötila Opatnetissä ([http://fi.opasnet.org/fi/Ilmastonmuutoksen\\_terveysvaikutukset\\_Suomessa](http://fi.opasnet.org/fi/Ilmastonmuutoksen_terveysvaikutukset_Suomessa))

## 3.5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutuminen Itämerellä

Jari Haapala

Ilmastonmuutoksen seurauksena tapahtuva Itämeren veden suolaisuuden lasku ja lämpötilan nousu vaikuttavat koko ravintoverkon rakenteeseen ja toimintaan planktonista pohjaeläimiin, kaloihin, lintuihin ja merinisäkkäisiin. Jäällä pesivät halli ja etenkin norppa kärsivät jääpeitteen vähenemisestä ja jäätalven keston lyhenemisestä. Norpan lisääntyminen edellyttää pitkäaikaista ajojäää ja lunta, jotta poikaset selviävät lumipesissään. Halli voi lisääntyä myös rannoilla, mutta tällöin poikaskuolleisuus on huomattavasti korkeampi kuin ajojällä pesittäessä.

Sadannan lisääntyminen voi vaikuttaa Itämereen huomattavasti enemmän kuin lämpeneminen. Nykyiselläänkin Itämeren alhainen suolapitoisuus rajoittaa monien merellisten lajien esiintyvyyttä. Itämeren makeutuminen johtaisi väistämättä merellisten lajien, kuten kalastuksessa tärkeiden merikalojen, turskan ja silakan, kantojen taantumiseen. Lisääntynyt sadanta yhdessä valuma-alueen lyhentävän routa-jakson ja lumipeitteen vähenemisen kanssa aiheuttavat sen, että maalta huuhtoutuu enemmän ravinteita Itämereen, mikä lisää meriekosysteemin rehevöitymistä. Veden lämpötilan nousu, jääpeitteisyyden väheneminen ja tuulisuuden muutokset tulevat vaikuttamaan veden sekoittumiseen, ravinnekiertoon ja planktonlajistoon.

Ilmastonmuutoksen seurauksena myös vieraslajien määrä kasvaa Itämeressä. Jos vesi tulevaisuudessa lämpenee, monet uudet lajit voivat löytää sopivan ekologisen lokeron joltain Itämeren alueelta. Myös lajit, jotka ovat jo Itämeressä, mutta eivät pysty tehokkaasti lisääntymään kylmässä vedessä, voivat hyötyä ilmastonmuutoksesta ja runsastua huomattavasti. Näihin lajeihin kuuluvat muun muassa amerikankampamaneetti ja petovesikirppu. Ilmastonmuutoksesta seuraavat meriekosysteemin toiminnan ja rakenteen muutokset ovat toistaiseksi vielä pitkälti valistuneiden arvailujen tasolla. Siitä huolimatta muun muassa ravinnekuormituksen kasvusta, veden makeutumisesta ja jääpeitteen vähenemisestä johtuvat paineet aiheuttavat entistä suuremman tarpeen vähentää ihmisen toiminnasta seuraavia haittoja.

### **Sopeutuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksiin**

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Itämeren tilaan heijastuvat laajalti yhteiskuntaan, kuten merenkulkuun, rannikkorakentamiseen, kalastukseen, vakuuttamiseen ja meren virkistyskäyttöön.

Keskeisiä kysymyksiä, joihin tiedeyhteisön pitäisi pystyä vastaamaan ovat: Kuinka suuria muutokset Itämeressä ovat? Kuinka suuria niiden yhteiskunnalliset vaikutukset ovat? Koituuko muutoksista taloudellista hyötyä vai haittaa? Mitkä ovat kustannukset euroissa? Kuinka paljon muutokset vaativat tehokkaampaa rehevöitymisen torjuntaa ja luonnonsuojelua? Vaativatko muutokset merkittävää sopeutumista yhteiskunnalta?

Meren virkistyskäyttöön ilmastonmuutos vaikuttaa monella tavoin. Rehevöitymisen myötä keskikesien leväkukinnat voimistuvat juuri parhaaseen loma-aikaan. Leväpuurossa purjehtiminen tai uiminen ei houkuttele ja merellä lomailun sijasta vapaa-aikaa voidaan aiempaa enemmän viettää sisävesillä ja ulkomailla. Suomenlahdella ja Saaristomerellä moni kesäasunnon ostaja tiedustelee mahdollisten leväkukintojen todennäköisyyttä kotirannassa.

Suuremmat muutokset kohdistuvat jääpeitteisyyden vähenemisen myötä talvikalastukseen ja -virkistyskäyttöön. Suomen rannikolla on pitkät perinteet jäältä tapahtuvaan verkko- ja nuottakalastukseen. Niiden harjoittaminen vaikeutuu. Esimerkiksi talvella 2007/2008 talvikalastuskausi jäi Suomenlahdella suurimmalla osalla kalastajia kokonaan väliin jäiden puuttumisen takia. Lisäksi vuoden myrskyisin ajanjakso on juuri talvikautena, jolloin pyydyksien kokeminen on vaikeata, usein jopa mahdotonta, kovien tuulten ja korkean aallokon vuoksi. Myös rannanläheiset vedet ovat kylmempää tuulisuuden aiheuttaman jatkuvan sekoittumisen takia, eivätkä kalat liiku perinteisillä pyyntipaikoilla. Tämä pienentää osaksi kalansaaliita.

Jääpeitteen väheneminen vaikeuttaa myös meren talvista virkistyskäyttöä. Retkiluistelu, jääsurrfaus, hiihtäminen ja jäällä liikkuminen ovat suosittuja harrastuksia etenkin suurten kaupunkien läheisyydessä. Haasteena on löytää korvaavia talvikauden vapaa-ajanviettomahdollisuuksia. Pimeä ja myrskyinen meri ei ole pelkästään vähemmän houkutteleva, vaan se saattaa olla myös vaarallinen.

Taulukko 3.6. Ilmastonmuutoksen arvioidut vaikutukset Itämeren rehevöitymiseen, turvallisuuteen ja rakentamiseen, virkistyskäyttöön ja kestävään kehitykseen. Taulukossa on esitetty lämpötilan, jääpeitteen, suolaisuuden, sadannan ja vedenkorkeuden muutosten vaikutukset näihin. Värit kuvaavat sitä, aiheuttaako ilmastonmuutos haittaa (punainen, keltainen) vain onko siitä hyötyä (vihreä) tai onko sen vaikutus merkityksetön (sininen).

	Lämpötila +2	Jääpeite -40%	Suolaisuus - 1 psu	Sadanta + 10%	Veden korkeus +10cm
<b>Rehevöityminen</b>					
ravinnekuormitus					
hapettomat pohjat			matala syvä		
levähaitat					
kalakannat					
<b>Turvallisuus ja rakentaminen</b>					
meriliikenne					
yhdyskunnat					
rannikkoeroosio					
<b>Virkistyskäyttö</b>					
matkailu					
vapaa-aika	kesä talvi				
loma-asutus					
<b>Kestäväkehitys</b>					
ympäristö					
talous					
yhteiskunta					

# 4 Kansainväliset kytkennät

Hanna Mela, Mikko Halonen ja Ari Venäläinen

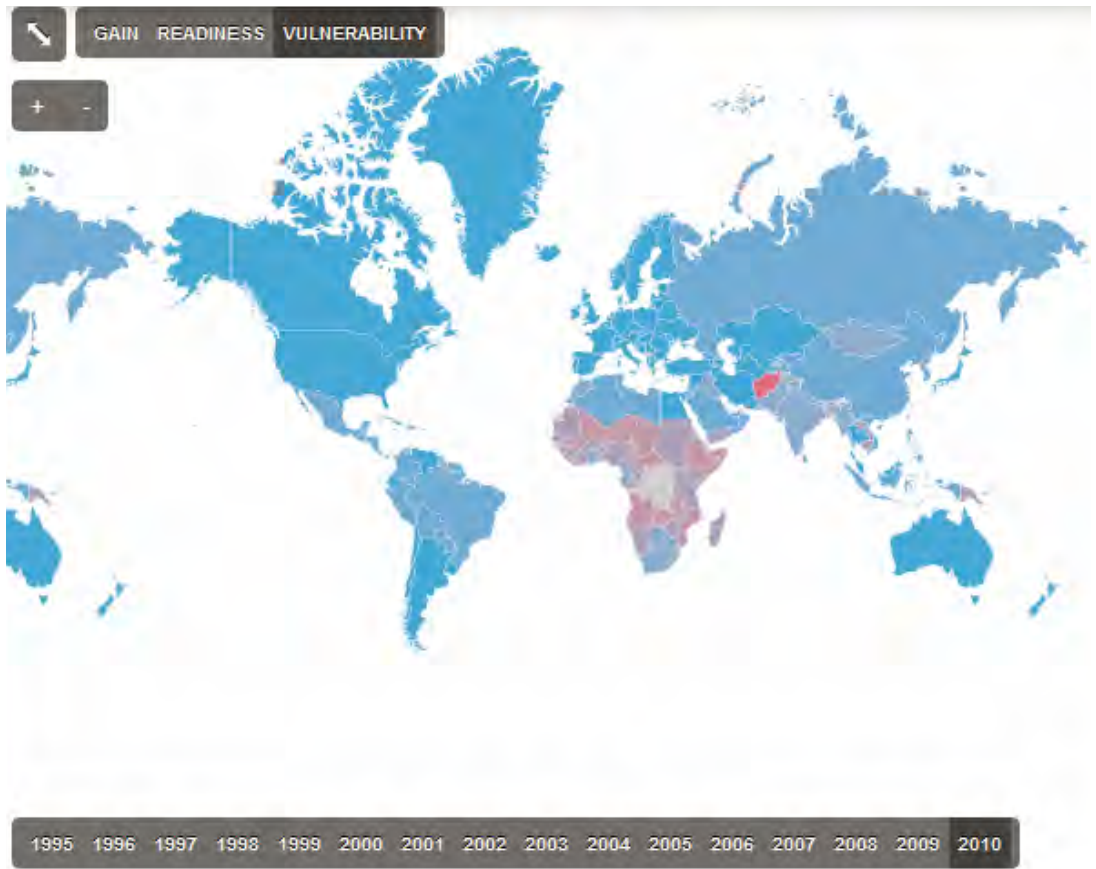
*Ilmastonmuutoksen seuraukset muualla maailmassa välittyvät Suomeen muun muassa kansainvälisen kaupan kautta. Esimerkiksi kuivuus tai tulvat voivat nostaa ruuan ja raaka-aineiden hintoja, mikä voi osittain parantaa Suomen maatalouden kilpailukykyä. Ilmastonmuutos voi lisätä Suomen houkuttelevuutta kesämatkailukohteena, kun Välimeren suosittu lomakohteet kärsivät kesäisin kuumuudesta ja kuivuudesta. Arktisen alueen merkitys merenkululle kasvaa ja energiavarojen hyödyntämismahdollisuudet lisääntyvät jääpeitteisen ajan lyhentyessä, millä voi olla vaikutusta koko Pohjois-Suomen aluekehitykseen. Ilmastonmuutos voi olla myötävaikuttamassa konflikteihin ja muuttoliikkeisiin kehittyvissä maissa, mikä tulee huomioida myös Suomen kehitysyhteistyössä. Kehittyvät maat ovat erittäin haavoittuvia ilmatoriskeille ja niiden talous on yleensä riippuvainen maataloudesta tai muusta alkutuotannosta. Sen vuoksi on tärkeää, että sopeutumistoimet tukevat myös varautumista ilmaston luonnollisesta vaihtelusta johtuviin luonnonkatastrofeihin eikä ainoastaan vuosikymmenien päässä odotettavissa oleviin tapahtumiin. Kehitysyhteistyössä tulisi ottaa huomioon ilmastonäkökulma ja vahvistaa kehittyvien maiden yhteiskunnan ja elinkeinojen sopeutumiskykyä.*

## 4.1 Globaalien vaikutusten heijastuminen Suomeen

### **Globaali talous ja kansainvälinen politiikka vaikutusten välittäjinä**

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen ympäristöön ja yhteiskuntaan on tutkittu jo melko paljon. Sen sijaan globaaleiden vaikutusten heijastuminen välillisesti Suomeen on jäänyt tutkimuksessa toistaiseksi vähälle huomiolle [1]. Muun muassa kaupan, raaka-aineiden hintojen ja kansainvälisen politiikan kautta myös muualla maailmassa koetut ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat kuitenkin vaikuttaa myös Suomeen ja olla joillakin toimialoilla huomattaviaakin. Sektoreita, jotka ovat alttiita ilmastonmuutoksen globaaleille vaikutuksille, ovat Suomessa etenkin maa- ja metsätalous, vesivarat, matkailu, liikenne, energia ja vakuutusala [2].

Maapallon eri alueiden haavoittuvuutta ilmastonmuutokselle on pyritty havainnollistamaan kehittämällä ilmatorisikikarttoja ja indeksejä. Kuvassa 4.1 on esimerkki haavoittuvuusindeksistä, joka kuvaa kunkin maan alttiutta ja herkkyyttä ilmastonmuutoksen negatiivisille vaikutuksille sekä valmiutta selvittää niistä ja sopeutua niihin. Indeksillä ottaa huomioon myös maiden yleisen ruoka- ja vesihuollon, terveyden ja infrastruktuurin tason. Muun muassa useat Suomen kehitysyhteistyökumppanimaista ovat indeksin mukaan erittäin haavoittuvia ilmastonmuutoksen vaikutuksille.



Kuva 4.1. Esimerkki ilmastonmuutoksen haavoittuvuusindeksistä vuodelta 2010. Mitä punaisempi alue, sitä korkeampi haavoittuvuus [3].

### Globaalit satomenetykset voivat heijastua Suomen maatalouden kilpailukykyyn

Maatalouden tuotanto-olosuhteiden ennustetaan ilmastonmuutoksen seurauksena heikentyvän monilla maailman alueilla, kuten osissa Afrikkaa, Etelä-Amerikkaa ja Lähi-itää [4]. Muutokset maataloustuotannossa ja ilmastosta johtuvat satomenetykset voivat vaikuttaa ruuan hintoihin ja siten muuttaa Pohjois-Euroopan ja Suomen kilpailuasemaa muuhun maailmaan nähden. Globaali ruuan hinnan nousu näkyy kuitenkin myös Suomessa elintarvikkeiden hinnoissa, millä voi puolestaan olla sosiaalisia vaikutuksia.

Maatalouden kilpailukykyyn vaikuttavat ratkaisevasti myös muut kuin ilmastoon liittyvät tekijät, kuten EU:n maatalouspolitiikan ja biopolttoaineiden tuotannon kehittyminen [5]. On mahdollista, että ilmastonmuutos voi parantaa Suomen kilpailukykyä maataloustuottajana. Tarve maatalousmaalle voi tulevaisuudessa lisääntyä, mikä voi tehostaa maataloutta Etelä-Suomessa [6]. Maatalouden menestyminen muuttuvassa ilmastossa riippuu kuitenkin olennaisesti muun muassa Suomen oloihin sopivien lajikkeiden jalostamisesta.



## **Yhä globaalimpi metsätalous on kytköksissä vaikutuksiin eri puolilla maailmaa**

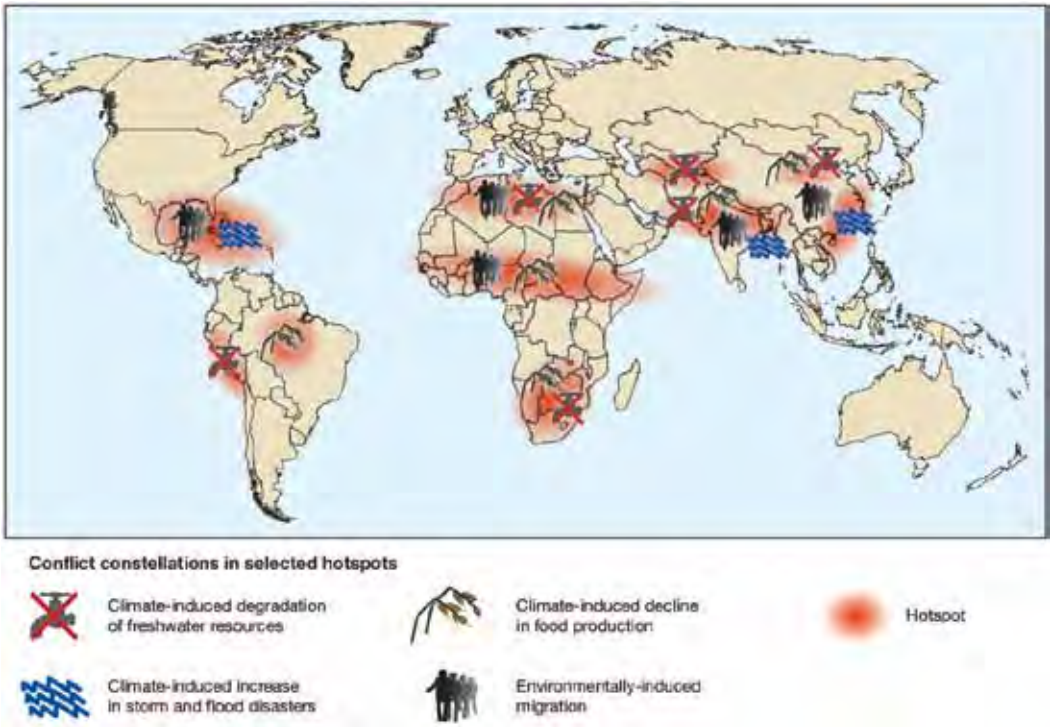
Suomen metsätalous on kokenut suuria muutoksia viime vuosikymmenien aikana. Metsäteollisuuden viennin arvo on pudonnut, ja samalla suomalaisen metsäteollisuuden ulkomaiset investoinnit ovat kasvaneet merkittävästi. Viime vuosina suomalainen metsäteollisuus on investoinut suuriin sellutehtaisiin ja puuplantaaseihin Etelä-Amerikassa. Tehtaat ovat riippuvaisia läheltä saatavasta raaka-aineesta. Ilmastonmuutos voi heikentää raaka-aineen paikallista saatavuutta, millä voi olla negatiivinen vaikutus näihin investointeihin. Muita metsäteollisuuden trendejä, joiden oletetaan jatkuvan tulevaisuudessa, ovat muun muassa yritysten muuttuminen yhä suuremmiksi ja globaalimmiksi, ympäristökysymysten huomioiminen nykyistä enemmän, tuotannon sijoittuminen globaalisti lähelle raaka-aineita, uusien tuotteiden kehittäminen sekä muutokset kulutuksessa. Puuraaka-aineen käyttö nykyisten tuotteiden kohdalla tulee laskemaan Suomen metsäteollisuudessa. On kuitenkin epäselvää, kohdistuuko väheneminen suomalaiseen vai ulkomaiseen raaka-aineeseen. Ilmastopolitiikka voi vaikuttaa Suomen metsäsektoriin esimerkiksi lisäämällä uusiutuvan energian ja siten puun energiakäyttöä, mikä voi heijastua puuraaka-aineen hintoihin ja sitä kautta muun muassa metsä- ja rakennusteollisuuteen. Metsien käyttö hiilinieluinä voi myös aiheuttaa muutospaineita Suomen metsänhoitokäytäntöihin ja metsätalouteen [7,8,9,10].

## **Matkailun painopiste siirtyy pohjoisemmaksi**

Matkailu Pohjois-Euroopasta Välimerelle on suuruudeltaan maailman merkittävimpiä yksittäisiä matkailuvirtoja [11]. Lämpötilan nousun ja vesivarojen niukkenemisen Välimeren alueella arvioidaan vaikuttavan kielteisesti alueen kesäajan matkailuun. Kun Euroopan pohjoisosien samalla ennustetaan lämpenevän, Suomen suhteellinen houkuttelevuus kesämatkailukohteena voi kasvaa [12]. Myös Alppien talvimatkailun edellytysten ennustetaan heikkenevän lumipeitteisen ajan lyhentyessä, mikä voi osaltaan lisätä Pohjois-Suomen talvimatkailun kilpailukykyä. Vaikutukset matkailusektoriin riippuvat siitä, miten matkailijat reagoivat muutoksiin ja toisaalta miten matkailuelinkeino pystyy sopeutumaan.

## **Ilmastonmuutos vaikuttaa muuttoliikkeisiin ja voi lisätä pakolaisuutta**

Erilaisten luonnononnettomuuksien uhrien määrä on noussut huomattavasti viime vuosikymmeninä, mikä kertoo haavoittuvuuden lisääntymisestä. Osittain tämä johtuu väestönkasvusta, mutta tärkeämpi syy on ihmisten keskittyminen haavoittuville alueille, joiden yhteiskunnat ovat heikosti varautuneita erilaisiin luonnonkatastrofeihin ja sään ääri-ilmiöihin. Ilmastonmuutos voi olla myötävaikuttamassa myös erilaisiin konflikteihin maiden sisällä ja välillä. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat negatiiviset ympäristömuutokset yhdistettynä köyhyyteen, väestönkasvuun ja poliittiseen epävakauteen lisäävät riskiä konflikteille ja niistä aiheutuville muuttoliikkeille. Ilmastonmuutoksen vaikutukset muun muassa vesivaroihin ja maataloustuotantoon voivat edesauttaa konfliktien syntyä ja johtaa pakolaisuuteen joillakin alueilla. Ilmastonmuutoksen ja konfliktien väliset syy- ja seuraussuhteet ovat kuitenkin monitahoisia, ja on vaikeaa osoittaa, missä määrin ilmastotekijät vaikuttavat konfliktien syntyyn ja muuttoliikkeisiin [13]. Vaikka muuttoliikkeiden syyt ovat ensisijaisesti taloudellisia tai poliittisia, ilmastonmuutos voi lisätä painetta muuttaa tietyiltä alueilta esimerkiksi kuivuuden ja nälänhädän seurauksena. Eräät tutkimukset ovat pyrkineet kartoittamaan ilmastonmuutosta mahdollisena konfliktien osatekijänä tai synnyttäjänä ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia ruokaturvaan ja muuttoliikkeisiin (Kuva 4.2).

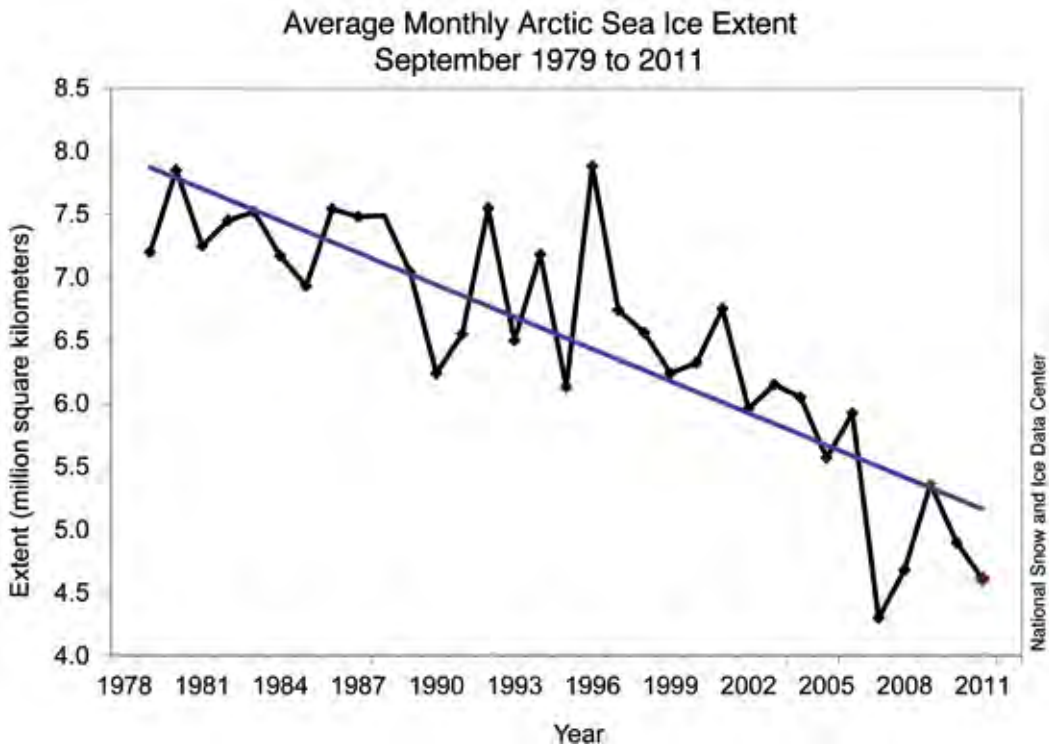


Kuva 4.2. Alueet, joilla ilmastonmuutosperäisten konfliktien riski on suurin [14].

Kaupunkien väkiluku kasvaa maailmanlaajuisesti, ja tämän muuttoliikkeen erottaminen ympäristötekijöistä johtuvasta muuttoliikkeestä on vaikeaa. Kaupunkiväestö ja etenkin kaupungeissa asuvat köyhät ihmiset ovat jo haavoittuvia ilmastonmuutokselle. Kehittyvissä maissa on alavilla rannikkoalueilla sijaitsevia megakaupunkeja, jotka ovat haavoittuvia merenpinnan nousulle. Lisääntyvä muuttoliike näihin kaupunkeihin voi pahentaa ongelmia ja muuttajat ovat erityisen haavoittuvassa asemassa [15,16]. Vaikka ympäristöpakolaisuudelle ei ole olemassa virallista määritelmää, YK:n pakolaisjärjestön UNHCR:n [17] arvion mukaan maailmassa on useita miljoonia ihmisiä, jotka ovat paenneet erilaisia luonnonkatastrofeja tai ihmisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. On todennäköistä, että ympäristöperustaisten pakolaisten määrä kasvaa ilmastonmuutoksen myötä tulevaisuudessa. Paineet kohdistuvat ensisijaisesti haavoittuvien maiden muihin osiin ja niiden lähialueisiin.

### Arktisten alueiden merenkulku lisääntyy

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa jo arktisen merialueen jääpeitteeseen. Kuvassa 4.3 näkyy arktisen jääpeitteen kehitys vuodesta 1979 lähtien. Lämpenemisen jatkuessa pohjoisten merireittien ennustetaan soveltuvan yhä paremmin väliaikaiseen merenkulkuun, ja merikuljetusten matka-ajat Euroopan ja Itä-Aasian välillä voivat lyhentyä jopa puolella. Myös arktisten alueiden luonnonvarojen, kuten öljyn ja maakaasun, hyödyntämisen odotetaan lisääntyvän jääpeitteisen ajan lyhentyessä [18]. Tällä voi olla huomattava geopolitiittinen merkitys ja vaikutus koko Arktisen alueen kehitykseen. Esimerkiksi nykyistä suurempi osuus Venäjälle suuntautuvasta liikenteestä voisi kulkea Pohjois-Suomen kautta. Itämeren merkitys merenkulun kannalta voi muuttua Pohjanlahden yhteyksien parantuessa osan vuodesta aikana. Luonnonvarojen lisääntyvä käyttö Jäämerellä voi myös vaikuttaa koko Pohjois-Suomen aluekehitykseen ja -suunnitteluun.



Kuva 4.3. Arktisen jääpeitteen laajuus syyskuussa vuosina 1979 – 2011 [19].

## 4.2 Kehittyvien maiden tukeminen

Kehittyvien maiden talous on yleensä erittäin riippuvainen maataloudesta tai muusta alkutuotannosta. Näissä maissa lämpö ja auringonpaiste yleensä riittää, mutta veden vähyys tai toisaalta liian runsaat sateet voivat tuhota sadon. Keinokastelujärjestelmiä ei juuri ole käytössä, joten kansantalouksien ja ihmisten hyvinvoinnin riippuvuus sään ja ilmaston vaihteluista korostuu. Ilmastonmuutoksen vaikutusten arvioidaan pääasiassa heikentävän kehitysmaiden maatalouden toimintaedellytyksiä. Sään ääri-ilmiöiden, kuten kuivuuden ja rankkasateiden, yleistymisen seurauksena voivat nälänhätä ja pakolaisuus lisääntyä. Haitallisten sääilmiöiden vaikutusta lisää kehitysmaiden puutteellinen meteorologinen ja hydrologinen infrastruktuuri. Havaintoverkostojen ja tehokkaiden ennakkovarointijärjestelmien puuttuessa ei satojen epäonnistumiseen ja sitä seuraavaan ruuan puutteeseen aina ennätetä varautua ajoissa. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen on siis erityisen tärkeää juuri kehitysmaissa. Sopeutuminen ei saa rajoittua ainoastaan haitallisten vaikutusten minimointiin vaan myös mahdollisia hyödyllisiä vaikutuksia tulee tunnistaa ja hyödyntää. Tehokkaat sopeutumistoimet vaativat taustakseen runsaasti moni- ja poikkitieteistä tutkimusta, jonka toteuttamiseen kehitysmaiden aineelliset ja henkilöresurssit eivät välttämättä vielä riitä.

Tässä luvussa esitetyt tulokset pohjautuvat lähinnä kahteen ulkoministeriölle tehtyyn selvitykseen, jotka käsittelevät olosuhteita kolmessa Suomen kehitysavun kohdemaassa [20,21]. Olosuhteet vaihtelevat eri maissa, mutta on kuitenkin perusteltua olettaa, että olosuhteet näissä kolmessa maassa kuvaavat tämällyyppisten kehitysmaiden tilannetta myös laajemmin.

## Sopeutumistarve on tiedostettu

Ilmastonmuutos ja tarve sopeutua meneillään olevaan muutokseen on enenevässä määrin hyvin tiedostettu myös kehitysmaissa. Viime vuosina laaditut vähiten kehittyneiden maiden sopeutumis suunnitelmat (National Adaptation Plans of Action, NAPA) ovat olleet omiaan lisäämään tietoisuutta ja tunnistamaan kansallisia prioriteetteja ja rahoitustarpeita. Syksyyn 2011 mennessä on laadittu jo 46 NAPA:a, joiden yhteenlaskettu rahoitustarve on noin 1,7 miljardia USD.<sup>11</sup> Kansainvälisen ilmasto rahoituksen piirissä erityisesti LDCF (Least Developed Countries Fund), SCCF (Special Climate Change Fund) ja AF (Adaptation Fund) ilmasto rahastot ovat rahoittaneet ilmastonmuutoksen sopeutumiseen liittyviä hankkeita – niin kehitysmaiden valmiuksien kasvattamista kuin konkreettisia prioriteettihankkeita.<sup>12</sup> Myös kansainvälisten toimijoiden aloitteet ja vaateet valtavirtaistaa ilmastonmuutokseen sopeutuminen (ja hillintä) osaksi kahden ja monenvälisiä toimintaansa ovat lisänneet kehitysmaiden tietoisuutta ja valmiuksia sopeutumistoimien käynnistämiseen. Ilmaston valtavirtaistamisen edistämiseksi monet kansainväliset toimijat ovat viime vuosina laatineet useita työkaluja ja lähestymistapoja [22], ja myös Suomen ulkoasiainministeriö on ottamassa käyttöön oman työkalunsa varmistukseksi, että suomalainen kehitysyhteistyö vahvistaa partnerimaiden kykyä sopeutua ilmastonmuutokseen. Tämä on välttämätöntä, sillä monista edistysaskeleista huolimatta kehitysmaiden valmius jalkauttaa tarvittavia sopeutumia on edelleen heikko, eikä luvattu rahoitus vielä laajassa mittakaavassa virtaa prioriteettikohteisiin kehitysmaissa.

Vaikka ilmastonmuutos pääosin tunnistetaan haasteeksi hallinnon eri tasoilla, käytettävissä olevan tiedon ja sopeutumistoimien jalkauttaminen ruohonjuuritasolle vaatii vielä hyvin paljon toimenpiteitä kehitysmaissa niin tietoisuuden lisäämisessä, poliittisen tason yhteistyön parantamisessa kuin sopeutumista tukevan tutkimustiedon tuottamisessa. Sään ja ilmaston vaihtelut ovat kautta aikojen aiheuttaneet nälänhätää ja suuria vaikeuksia kehitysmailla ja tämä näkökulma toimii usein voimakkaampana motiivina toimenpiteille kuin ennakoitut vaikutukset 2000-luvun lopulla. Tämän vuoksi on tärkeää, että suunnitellut sopeutumistoimet tukisivat myös varautumista sään ja ilmaston luonnollisesta vaihtelusta aiheutuviin luonnonkatastrofeihin eikä ainoastaan vuosien ja vuosikymmenien päässä odotettavissa oleviin tapahtumiin. On vaikeaa motivoida esimerkiksi maanviljelijää varautumaan kymmenien vuosien päästä tapahtuvaan, kun jo meneillään olevan satokauden onnistuminen on usein hyvin epävarmaa. Onkin tärkeää etsiä sopeutumiskeinoja, joilla voidaan lievittää sekä nykyilmaston vaihtelusta johtuvia kielteisiä vaikutuksia että samalla parantaa yhteiskunnan ja elinkeinojen sopeutumiskykyä tulevaisuuden ilmastossa.

## Perustiedot ja -taidot puuttuvat

Tehokkaiden sopeutumistoimenpiteiden tulee pohjautua tutkimustuloksiin. Kehitysmaissa tutkimusresurssit ovat hyvin rajalliset. Suuri osa ilmastonmuutokseen liittyvästä tutkimuksesta on ulkomaisten tutkimuslaitosten ja tutkijoiden tekemää. Usein tutkimukset myös kohdistuvat esimerkiksi koko Afrikkaan tai johonkin suuren mantereiden osaan. Kansallisen tason hankkeita on hyvin vähän. Etenkään vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita ei juurikaan julkaista. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta keskeisiä tarpeita ovat:

- Pitkät homogeeniset ilmastohavaintoajakaavat, jotka mahdollistaisivat nykyilmaston kattavan analysoinnin ja kuvauksen ilmaston luonnollisesta vaihtelusta sekä antaisivat pohjan ilmastonmuutosarvioille.
- Resurssit tuottaa maakohtaiset luonnonolot huomioon ottavia ilmastokenaarioita, joko itse mallintaen tai muualta saatuja mallituloksia hyödyntäen.

<sup>11</sup> [http://unfccc.int/cooperation\\_support/least\\_developed\\_countries\\_portal/submitted\\_napas/items/4585.php](http://unfccc.int/cooperation_support/least_developed_countries_portal/submitted_napas/items/4585.php)

<sup>12</sup> UNFCCC:n 15. osapuolikokouksessa Kööpenhaminassa v. 2009 teollisuusmaat lupasivat kehitysmaalle seuraavien kolmen vuoden (2010–2012) ajalle uutta ja lisäistä (additional) rahoitusta 21 miljardia euroa (ns. fast start-rahoitus) ilmastonmuutoksen hillintään, siihen sopeutumiseen, teknologian siirtoon, metsäkadosta aiheutuvien päästöjen vähentämiseen (REDD) sekä kehitysmaiden kapasiteetin kasvattamiseen. Vuoteen 2020 mennessä vuosittaisen summan luvattiin kohoavan 70 miljardiin euroon. Cancunin ilmastokokous joulukuussa 2010 vahvisti nämä lupaukset ja toi ne osaksi YK:n sopimusjärjestelmää.

- Monitieteiset, kunkin maan oloja kuvaavat ilmastonmuutosvaikutusmallit, sillä kehittyneistä maista suoraan siirrettyjen mallien soveltaminen voi johtaa väärin tuloksiin.
- Sosio-ekonomisia analyysejä tarvitaan arvioitaessa eri sopeutumisvaihtoehtojen vaikuttavuutta.
- Ilmastotietojen lisäksi runsaasti muita tietoja kuten tilastoja kasvihuonekaasupäästöistä.

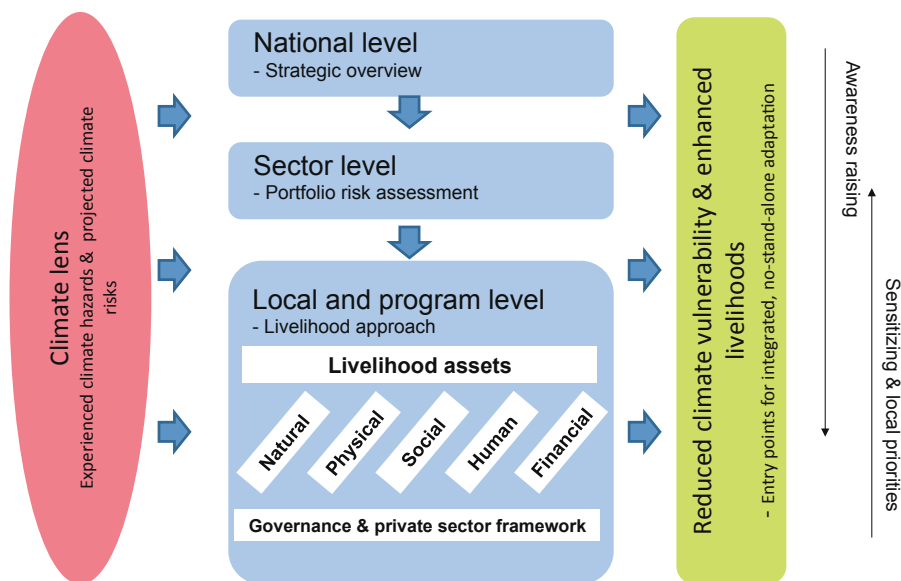
## Tukea tarvitaan

Ilmastonmuutokseen sopeutumisen toteutuminen edellyttää mm. riittäviä tutkimusresursseja, joita kehitysmaissa ei tällä hetkellä ole. Onkin perusteltua, että kunkin maan tutkimus- ja ympäristönseurantavalmiuksia tuetaan niin, että maat pystyisivät vastaamaan mahdollisimman itsenäisesti ja pitkäjänteisesti ilmastonmuutoksen asettamiin haasteisiin. ISTO-ohjelmaan osallistui Suomessa 17 tutkimuslaitosta. Tämä laaja osallistujajoukko kuvaa tarvittavan tietotaidon monipuolisuutta. Tämän tietotaidon hyödyntäminen suomalaisessa kehitysyhteistyössä hyödyttäisi kehitysmaakumppaneita ja auttaisi myös Suomen kehitysyhteistyötavoitteiden toteuttamista. Yksi mahdollinen yhteistyön toteutusmalli on Instituutioiden välisen yhteistyön instrumentti (IKI), joka mahdollistaa valtion laitosten ja virastojen osallistumisen kehitysyhteistyöhön. Hankkeiden tavoitteena on kehitysmaiden valtiollisten toimijoiden kuten ministeriöiden, laitosten ja yliopistojen osaamisen vahvistaminen. Toimintatapana on eräänlainen twinning: kehitysmaan toimijan yhteistyö suomalaisen valtion laitoksen tai viraston kanssa. Tätä instrumenttia on käytetty esimerkiksi kansallisten sää- ja ilmastopalveluiden toiminnan tukemiseen. Myös alueelliset hankkeet, joissa yhteistyötä tehdään alueellisten organisaatioiden, kuten eteläisen Afrikan eli SADC-alueen (Southern African Development Community) kanssa, sopivat ilmastonmuutokseen sopeutumisen tukemiseen. Alueellisten hankkeiden etuna on se, että usein alueen maiden kokemat haasteet ovat samansuuntaisia, ja yhdistämällä rajalliset resurssit on mahdollista hyötyä naapurimaiden kokemuksista ja jakaa aineistoja ja mallitietoja. Tällä tavoin saavutetut tulokset voivat olla laajemmat kuin vain kansallisen tason yhteistyössä.

## Ilmatoriskien hallinta osana Suomen kansainvälistä yhteistyötä

Suomen kehityspolitiikan ensisijaisina tavoitteina on köyhyyden poistaminen, ympäristöllisesti kestävä kehityksen toteuttaminen ja maailmanlaajuisen kumppanuuden luominen. Tavoitteiden saavuttaminen tulee edellyttämään ilmastohaasteen systemaattista ja läpileikkaavaa huomioimista kaikessa kehityspoliittisessa toiminnassa. Pyrkiäkseen edistämään ilmastonäkökulman systemaattista huomioon ottamista Suomen kehitysyhteistyössä sekä vahvistamaan kohdemaaksi valitun Etiopian sopeutumiskykyä, tarkasteltiin Etiopian kansallista sopeutumiskapasiteettia sekä erityisesti kolmea Suomen rahoittamaa kehitysyhteistyöhanketta ilmastonäkökulmasta [20].

Gaia CliMan lähestymistapaa sovellettiin kehitysyhteistyöhankkeisiin tarkastellen ilmatoriskejä ja niiden hallintaa erityisen ”ilmastolinssin” läpi (kuva 4.4). Erityisesti vesisektoriin kohdistuneiden hankkeiden tarkastelu osoitti, että ilmastonmuutos ei muodosta merkittävää riskiä kyseisten hankkeiden tavoitteiden saavuttamiselle. Sen sijaan useat hankkeiden komponentit, muun muassa vesihuollon, sanitaation, vesivarojen kestävä hallinnan tai monitoroinnin lisäksi, voivat samanaikaisesti vahvistaa paikallisten ihmisten sopeutumiskykyä ja luovat parempia edellytyksiä alueellisen ja kansallisen tason sopeutumista koskevalle päätöksenteolle. Tarkastelun perusteella voitiin myös tunnistaa keinoja parantaa ilmastonäkökulman huomioon ottamista niin kehitysyhteistyön suunnittelussa ja hankevalmistelussa kuin jo käynnissä olevien hankkeiden toteuttamisessa.



Kuva 4.4. Kehitysyhteistyön ja ilmatoriskien suhdetta tarkasteltiin ”ilmastolinssin” läpi.

## Viitteet

1. Kankaanpää, S. & Carter, T. (julkaisematon). Implications of international climate change impacts for Finland (IMPLIFIN). ISTO-hanke. Hankkeessa tehtiin kirjallisuuskatsaus, jonka tavoitteena oli tunnistaa kytkennät Suomen ulkopuolella tapahtuvien ilmastonmuutosten vaikutusten ja niiden Suomelle mahdollisesti aiheuttamien seuraamusten välillä. Luku 3.1. pohjaa pitkälti hankkeen tuloksiin.
2. Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatukia, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R. & Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisu 1/2005.
3. Global Adaptation Institute 2011. Gain – Global Adaptation Index. <http://gain.globalai.org/> Viitattu 17.11.2011.
4. Easterling, W.E., Aggarwal, P.K., Batima, P., Brander, K.M., Erda, L., Howden, S.M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J.-F., Schmidhuber, J. and Tubiello, F.N. 2007: Food, fibre and forest products. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds)] Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.
5. Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R. and Carter, T.R. 2005: Future scenarios of agricultural land use in Europe. II: Estimating changes in land use and regional allocation. Agriculture, Ecosystems & Environment, 107, 117-135.
6. Hildén, M., Lehtonen, H., Bärlund, I., Hakala, K., Kaukoranta, T. and Tattari, S. 2005. The practice and process of adaptation in Finnish agriculture. FINADAPT Working Paper 5, Finnish Environment Institute Mimeographs 335, Helsinki, 28 pp.

7. Seppälä, R. 2000. Suomen metsäklusteri tienhaarrassa. Metsäalan tutkimusohjelma WOOD WISDOM, Vammalan kirjapaino, Vammala.
8. Seppälä, R. 2000. Onko metsäklusterilla tulevaisuutta? Päätäjien metsäakatemia 3. jatkokseminaarin julkaisu.
9. Rytkönen, A. 2001. Kestävät kilpailutekijät ja skenaarit. Päätäjien metsäakatemia 4. jatkokseminaarin julkaisu.
10. Hetemäki, L., Harstela, P., Hynynen, J., Ilvesniemi, 1 H. and uusivuori, J. (eds.) 2006. Suomen metsiin perustuva hyvinvointi 2015. Katsaus Suomen metsäalan kehitykseen ja tulevaisuuden vaihtoehtoihin. Metlan työraportteja 26, Metsätutkimuslaitos, Helsinki.
11. Commission of the European Communities 2007a. Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius. The way ahead for 2020 and beyond. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2007) 2 final, Brussels, 10.1.2007.
12. Amelung, B. & Moreno A. 2009. Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA-Tourism study. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies. <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC55392.pdf>
13. Lind, J., Ibrahim, M. and Harris, K. 2010. Climate Change and Conflict: Moving Beyond the Impasse. IDS In Focus Policy Briefing, Institute of Development Studies, University of Sussex, UK, 4 pp.
14. WBGU German Advisory Council on Global Change 2007. World in Transition. Climate Change as a Security Risk. Summary for policy-makers. WBGU, Berlin.
15. Nordås, R. and Gleditsch, N.P. 2007: Climate change and conflict. *Political Geography*, 26, 627-638.
16. UNFPA 2007. State of the World Population 2007. United Nations Population Fund, New York. [http://www.unfpa.org/swp/2007/presskit/pdf/sowp2007\\_eng.pdf](http://www.unfpa.org/swp/2007/presskit/pdf/sowp2007_eng.pdf)
17. UNHCR 2006. The State of the World's Refugees 2006. Human displacement in the new millennium. United Nations High Commission for Refugees <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/template?page=publ&src=static/sowr2006/toceng.htm>
18. UNEP 2007. Global Outlook for Ice and Snow. United Nations Environment Programme, Nairobi, 235 pp.
19. National Snow and Ice Data Center (NSIDC) 2011. Arctic Sea Ice News and Analysis. <http://www.nsidc.org/arcticseaicenews/2011/100411.html>
20. Halonen, M., Nikula, J., Pathana, A., Rinne, P. 2009. Climate Risk Management in Finnish Development Cooperation: Ethiopia Adapting to Climate Change. Climate Screening Assessment, Final report 2009. Gaia Consulting Oy. Selvitys ulkoministeriölle.
21. Luomaranta, A., Venäläinen, A., Ruuhela, R. 2011. Adaptation to climate change, A review of activities in Mozambique and Zambia. Final report. Ilmatieteen laitos. Selvitys ulkoministeriölle.
22. Hammill, A. and Tanner, T., 2011. Harmonising Climate Risk Management: Adaptation Screening and Assessment Tools for Development Co-operation, OECD Environment Working Papers, No. 36, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5kg706918zvl-en>

## 5 Lämpileikkaavat kysymykset

### 5.1 Ilmatoriskien arvioinnin ja hallinnan menetelmät

Riitta Molarius, Mikko Halonen ja Adriaan Perrels

*Ilmatoriskien arviointi ja hallinta ja toisaalta hyväksyttävän riskitason määrittäminen ovat oleellinen osa päätöksentekoa kaikilla toimialoilla sekä yksityisellä että julkisella sektorilla ja hallinnon eri tasoilla. Muuttuvassa ilmastossa myös riskien toteutumisen todennäköisyydet muuttuvat ja tarvitaan aiempaa perusteellisempaa riskien arviointia, jossa otetaan huomioon nykyisen ilmaston lisäksi myös ilmastomuutoksen vaikutukset. Ilmatoriskejä voidaan arvioida eri lähestymistavoin. Luonnon järjestelmiin liittyviä uhkia painottavat lähestymistavat keskittyvät ilmatoriskin fysikaalisiin ominaisuuksiin, ja yhteiskunnan haavoittuvuutta painottavat lähestymistavat ilmatoriskien sosiaalisiin ja taloudellisiin ominaisuuksiin. Ilmatoriskien analyysissä käytetään asiantuntija-arvioita ja riskianalyysijä, joka yhdistävät ilmastotapahtuman todennäköisyyden ja sen seurausvaikutusten todennäköisyyden. Riskien hallintakeinoja ovat tapahtumien ehkäiseminen ja tapahtuneiden vaurioiden rajoittaminen ja korjaaminen.*

#### 5.1.1 Ilmatoriskin määritelmä

Ilmatoriskin käsite on otettu ilmastopoliittisessa keskustelussa käyttöön kuvaamaan ilmastotapahtumien aiheuttamien menetysten mahdollisuutta. Käsitteenä ilmatoriskille ei yleisessä keskustelussa ole muodostunut vakiintunutta määritelmää vaan termiä on käytetty eri yhteyksissä hieman eri tavalla. Ilmastotutkimuksen piirissä ilmatoriski on perinteisen riskimääritelmän mukaisesti yleensä määritelty seuraavasti:

***Ilmatoriski = Ilmastotapahtuman todennäköisyys x Tapahtuman vaikutukset***

Tätä ilmatoriskin yleistä määritelmää on käytetty monissa alan tutkimuksissa, myös ISTO-tutkimusohjelman piirissä, joissa on pyritty arvioimaan ilmatoriskin suuruutta, arvottamaan vaikutuksia sekä tunnistamaan erilaisia keinoja riskien hallitsemiseksi. Tyypillisiä riskien hallinnan keinoja ovat tapahtumien ehkäiseminen sekä jo tapahtuneiden vaurioiden rajoittaminen, korjaaminen sekä kompensointi taloudellisesti, esimerkiksi vakuutuksin.

Ilmatoriskin arvioinnissa on huomattava erityisesti eri tekijöiden väliset vahvat kytkennät sekä ilmastotapahtuman todennäköisyyteen ja vaikutuksiin liittyvät epävarmuudet. Esimerkiksi tapahtuman vaikutuksen suuruuden arvioinnissa on olennaista tunnistaa yhteiskunnan ja luonnonjärjestelmän herkkyydet, sopeutumiskyky ja haavoittuvuus. Riskien arvioinnin ja arvottamisen menetelmät voivat tarjota jäsennellyn tavan eri sidosryhmille, kuten tiedeyhteisölle, poliittisille päätöksentekijöille, yksityiselle sektorille ja kansalaisille, keskustella ilmastomuutokseen liittyvistä epävarmuuksista, mutta ennen kaikkea punnita riskien hallinnan eri keinoja.

Ilmatoriskien hallintatoimia pohdittaessa on huomattava, että eri yhteiskunnilla on erilaisia tapoja käsitellä riskiä. Se, mitä pidetään hyväksyttävänä riskinä, riippuu muun muassa kulttuurillisista lähtökohdista ja ajan käsityksestä. Eräs tärkeä tekijä ilmatoriskien hyväksyttävyyden ja hallinnan kannalta on se, missä määrin



yhteiskunnat ja sidosryhmät voivat itse vaikuttaa ilmastonmuutokseen. Tässä mielessä kunkin yhteiskunnan tai sidosryhmän käytettävissä olevat resurssit ja vaikutusvalta ovat olennaisia, kun aletaan poliittisella tasolla käsitellä ilmatoriskiä osana ilmastotavoitteiden asettamista.

Koska ilmatoriski-termi on uusi, sen käytöstä ja soveltamisesta on monenlaisia näkökantoja. Tämän sopeutumistutkimuksen yhteenvedon yhteydessä tehdyn kyselyn perusteella vastauksista heijastuu tutkijoiden edustaman tieteenalan näkökulmat ja käytännöt. Luonnontieteellisen ja teknisen alan tutkijat ajattelevat enemmän riskien arviointia tietyn säästä tai ilmastosta riippuvan tapahtuman todennäköisyyden ja vaikutusten kautta, ja hallintaa haitallisten vaikutusten pienentämiseen liittyvänä päätöksentekona. Yhteiskuntatieteellinen tutkimus puolestaan hakee laajempaa johtamisnäkökulmaa.

Tässä raportissa ilmatoriskillä tarkoitetaan kaikkia niitä yhteiskunnan toimintoja uhkaavia tekijöitä, jotka aiheutuvat ilmastosta tai sen muuttumisesta. Ilmatoriskit koostuvat muun muassa seuraavista osatekijöistä:

- sääolosuhteista tietyille toimialoille ja kansalaisille johtuvat riskit eli riskit, jotka ovat olemassa myös nykyisessä ilmastossa
- vuodenajoille tyypillisten sääolosuhteiden muuttuminen ja äärimmäisten sääilmiöiden todennäköisyyden muuttuminen ilmastonmuutoksen takia ja näiden muutoksien aiheuttamat riskit (mahdollisesti) riittämättömän varautumisen yhteydessä
- ilmastonmuutoksen aiheuttama ennakoitavuuden heikkeneminen.

Yleisessä kielessä ”riski” on monimerkityksinen sana, jota usein käytetään ”vaaran” tai ”uhkan” synonyyminä. Yleisesti riskiin kuuluu kaksi olottuvuutta: epätoivottu tapahtuma, joka aiheuttaa menetyksiä, tai jopa voittoja, ja epävarmuus, joka liittyy itse tapahtuman toistuvuuteen [1,2,3,4]. Jos tapahtuman esiintymisen todennäköisyys on nolla, ei tapahtumaa eikä riskiä ole. Jos tapahtuman esiintymisen todennäköisyys on 1 eli se tapahtuu varmasti, ei voida enää puhua riskistä vaan kyseessä on varma tapahtuma. Eräissä tutkimustilanteissa tehdään arvioita yhden tapahtuman toteutumisesta, kuten esimerkiksi ydinvoiton aiheuttaman riskin arviointi, ja silloin riskiä ilmaistaan vain arvioimalla tilanteen esiintymisen taajuutta. Uusin riski-standardi (ISO 31000:2009) määrittelee riskin olevan ”epävarmuuden vaikutus kohteeseen” [effect of uncertainty on object]. Standardi kuvaa myös riskinhallintaprosessin kuvan 5.1 esittämällä tavalla.

Standardi antaa mahdollisuuden soveltaa sekä laadullisia että määrällisiä riskinarviointimenetelmiä kuitenkin unohtamatta sitä, että riskiin sisältyvät sekä seuraukset että epävarmuus. Määritelmän mukaan tapa, jolla seurauksia ja todennäköisyyttä kuvataan, riippuu riskin tyypistä, saatavilla olevasta tiedosta, ja siitä, missä riskianalyysin tuloksia tullaan käyttämään. Seurauksia voidaan arvioida muun muassa vahinkotapahtumina, henkilövahinkoina, rahallisina kustannuksina, välillisinä seurauksina, välittöminä seurauksina, luontoarvoina, toiminnallisina häiriöinä jne. Tapahtumataajuudet voidaan antaa todennäköisyyksinä 0-1 välillä, toistuvuus-aikoina, tai erilaisina sanallisina luokitteluina, kuten IPCC:n antamat luokittelut.

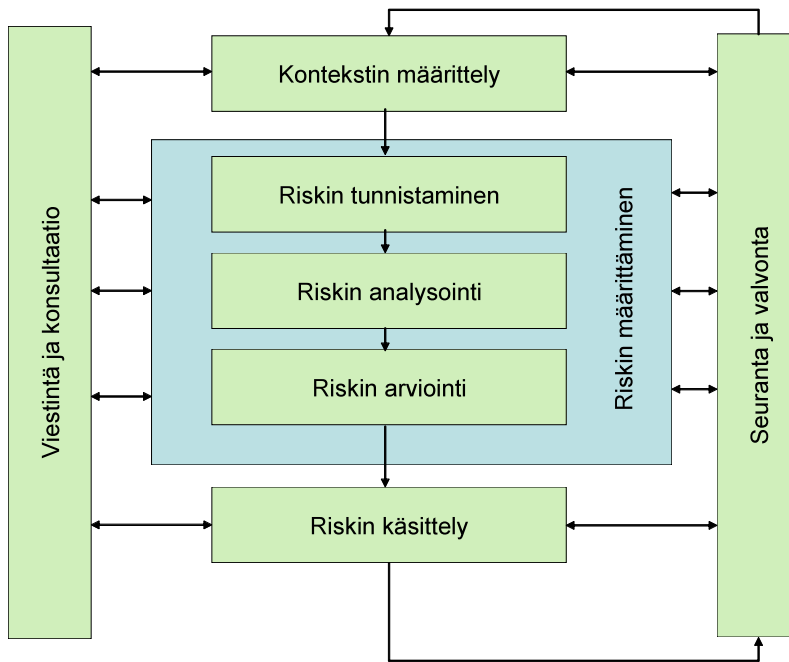
**Riskin tunnistaminen** tarkoittaa prosessia, jolla uhkaa aiheuttavat tilanteet tunnistetaan.

**Riskin analysointi-vaiheessa** tunnistetulle riskille arvioidaan seurauksia (normaaleja, pahimpia) ja arvioidaan niiden esiintymistäajuuksia ennalta päätetyn kriteeristön mukaisesti.

**Riskin arviointi** tarkoittaa päätöksentekoprosessia, jossa määritellään suojaudutaanko riskiltä, ja jos suojaudutaan, niin miten.

**Riskin käsittely** tarkoittaa kaikkien niiden toimenpiteiden tekemistä, joilla riskiltä suojaudutaan.

Sopeutumistutkimuksen yhteenvedon yhteydessä tehdyn kyselyn perusteella käytössä olevia ilmatoriskien arviointi- ja hallintamenetelmiä ei juuri tunneta.



Kuva 5.1. Riskinhallintaprosessi ISO 31000:2009 standardin mukaan.

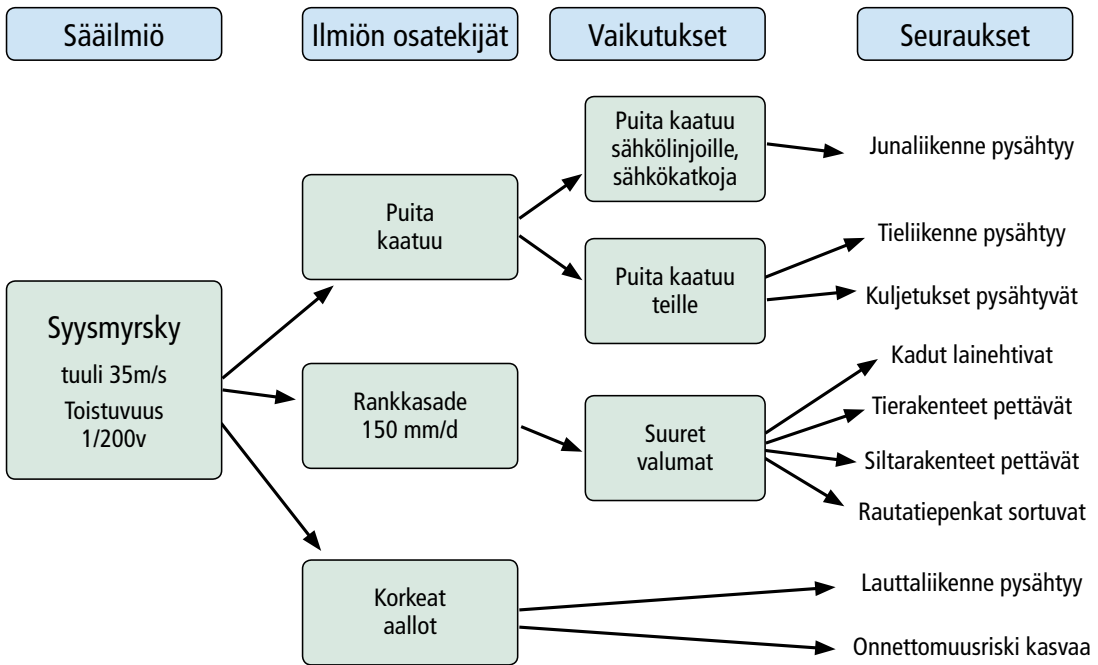
### 5.1.2 Ilmatoriskit

Ilmatoriskiä voidaan hahmottaa konkreettisesti kuvan 5.2 esimerkin avulla. Se esittää mitä seurauksia voimakkaasta myrskystä voi olla liikenteelle. Jotta riskin suuruus voitaisiin arvioida systemaattisesti, tulee jokaiselle tapahtumaketjulle määrittää vaiheittain todennäköisyys ja luokitella seuraukset esimerkiksi onnettomuuslukuina tai kustannuksina.

Loppuseurausten esiintymistaajuuteen vaikuttaa ainakin seuraavat tekijät:

- sääilmiön todennäköisyys
- ilmiön osatekijöiden todennäköisyys haavoittuvassa kohteessa (osuuko haavoittuvaan kohteeseen)
- vaikutusten todennäköisyys (esim. puiden kaatuminen riippuu puuston määrästä ja iästä)
- seurausten todennäköisyys (riippuu infrastruktuurin yleisestä kunnosta)
- varautumisen tasosta.

Kun edellisen mukaisesti voidaan arvioida riskien suuruus tämän hetken yhteiskunnassa, ilmatoriskien osalta mukaan tulee vielä aikaulottuvuus. Ilmastosta johtuvien riskien taajuus ja voimakkuus muuttuvat ajan myötä. Kuvassa 5.3 on esitetty tämä ajasta riippuva epävarmuus. Vaikka tuntisimme tietyn ilmiön aiheuttaman riskin suuruuden tämän päivän yhteiskunnassa, sen muuttumiseen tulevaisuudessa vaikuttavat itse ilmastosta johtuvien tekijöiden lisäksi mm. yhteiskunnan kehitys ja sen varautuminen riskin muuttumiseen.



Kuva 5.2. Esimerkki tietyn sääolosuhteen aiheuttamista riskeistä liikenteelle.

Koska ilmastosta tulevaisuudessa aiheutuvat seuraukset ovat tuntemattomia, niitä arvioidaan riskianalyysin keinoin. Tällöin yksi arviointikriteeri on mahdollisten seurausten epävarmuus. Etenkin taloudellisia seurauksia määritettäessä tämä epävarmuus on aina otettava huomioon.

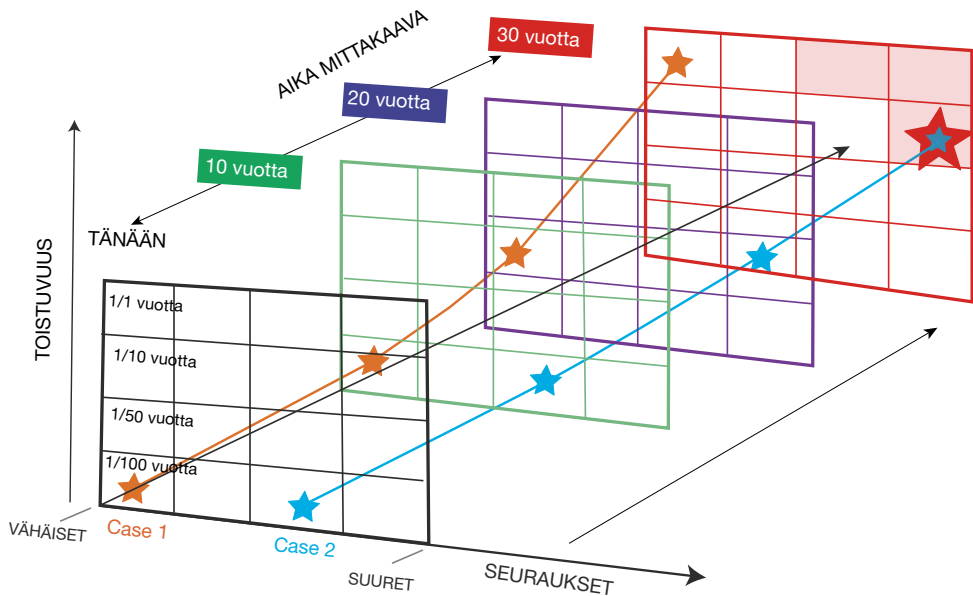
Kuvassa 5.2. esitetty tapahtumapuu kuvaa tiettyä luonnonilmiötä, ja se havainnollistaa kyseisen ilmiön mahdollisia seurauksia. Tällainen lähestymistapa on hyödyllinen esimerkiksi varoituspalvelujen yhteydessä. Jos kuitenkin esimerkiksi tehtaan- tai kiinteistönomistaja haluaa ymmärtää, minkälaiset luonnonilmiöt aiheuttavat heidän omassa ympäristössään taloudellisia, ja mahdollisesti jopa kasvavia riskejä, on sovellettava toisenlaista, integroivaa analyysitapaa. Tällöin arvioidaan esimerkiksi kokonaisriskiä sille, että kyseisen kohteen arvo vähenee ilmastonmuutoksen myötä. Tällöin omistajien ei ole välttämätöntä tietää yksityiskohtaisesti, mitkä eri asiat aiheuttavat riskin kasaantumista, mutta itse kokonaisriski ja sen kehittyminen ovat keskeiset tunnistettavat asiat. Lisäksi riskien vähentämiseksi tehtävien suojausvaihtoehtojen ymmärtäminen ja analysoiminen ovat tärkeitä. Samankaltainen kokonaisriskin näkökulma on tärkeä myös esimerkiksi kaupungin turvallisuuden tai kansanterveyden osalta, jolloin käsitteinä puhutaan näiden haavoittuvuudesta (katso luku 5.2).

### 5.1.3 Ilmatoriskien arvioinnin menetelmiä

#### Lähestymistapoja

Ilmatoriskiä tarkastelevat arvioinnit voidaan jakaa lähestymistapansa perusteella karkeasti kahteen pääluokkaan, jotka ovat 1) luonnon järjestelmiin liittyviä uhkia ja 2) yhteiskunnan haavoittuvuutta painottavat lähestymistavat.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. UNDP, GEF, 2005.



Kuva 5.3. Sääriskien toistuvuuden ja seurausluokkien muuttuminen ja sen huomioiminen riskien arvioinnissa.

Luonnon järjestelmiin liittyviä uhkia painottavat lähestymistavat (natural hazard-based approach) kohdistavat huomion ilmatoriskien biologisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Lähtökohtana on, että nämä uhat, esimerkiksi tietyn vaaratason ylittävä tulva tai myrsky, kyetään määrittelemään. Lisäksi oletetaan, että ilmiöiden keskeiset syyt sekä vaikutukset ovat tunnistettavissa, minkä pohjalta ilmatoriskistä voidaan tarkastella tapahtuman todennäköisyyden ja vaikutusten funktiona.

Yhteiskunnan haavoittuvuutta painottavat lähestymistavat (vulnerability-based approach) puolestaan tarkastelevat ensisijaisesti ilmatoriskien sosiaalisia ja taloudellisia ominaisuuksia. Tätä lähestymistapaa puolustaa se, että luonnonjärjestelmäuhkien selvä määrittelemisen voi olla hankalaa, sillä useat vaikutukset sekä takaisinkytkennät vaikeuttavat uhkien taustatekijöiden määrittelemistä. Yhteiskunnan haavoittuvuuden tarkastelemisen lähtökohtana on määritellä kriittinen taso haitoille ja riskiä arvioidaan suhteessa todennäköisyyteen ylittää tämä määritelty kriittinen haavoittuvuuden taso.<sup>14</sup>

Osa ilmatoriskistä tarkastelevista lähestymistavoista on näiden kahden eriaisteisia yhdistelmiä eikä kaikkia lähestymistapoja luonnollisesti voida kategorisoida kyseisellä jaottelulla. Kansainvälisissä tutkimuksissa ilmatoriskistä on useimmiten tarkasteltu luonnonjärjestelmäuhkia painottavin lähestymistavoin. ISTO-tutkimusohjelman eräänä ansiona voidaan pitää juuri sitä, että se on vahvistanut suomalaista tutkimuspohjaa ja osaamista liittyen yhteiskunnan haavoittuvuuden tarkasteluun.

## Ilmatoriskien tunnistaminen

Ilmatoriski on paikkasidonnainen, kulttuurisidonnainen ja jopa laitos- tai yksilösidonnainen. Ilmiön tunnistaminen lähtee näin ollen liikkeelle uhatusta, haavoittuvasta kohteesta. Kohde voi olla yhtä hyvin valtion rautatiejärjestelmä, kunnan vesihuoltojärjestelmä, tehtaan kemikaalivarastot tai jokaisen oma asumus. Jokaisella,

<sup>14</sup> Ilmatoriskien käsittely ilmatoriskien asettamisessa. Ympäristöministeriön käyttöön laadittu taustamuistio 2005. Mikko Halonen, Juha Vanhanen, Harriet Lonka, Gaia Group Oy.

joka on sidoksissa uhattuun kohteeseen, on omat näkemyksensä uhkaavista sääsidonnaisista ilmiöistä, kuten vedenpinnan nousu, ukkonen, jää, routa, lumi tai tuulivahingot.

Kattavaa riskien tunnistamista varten tarvitaan useita kohteen hyvin tuntevia, monen alan ammattilaisia, sillä nykyiset järjestelmät ovat niin moniulotteisia ja teknisesti kompleksisia, että yhden henkilön on vaikea käsittää kaikkia vikaantumismahdollisuuksia.

Useimmissa riskianalysimenetelmissä riskien tunnistaminen tapahtuu aivoriihissä, joissa asiantuntijat pohtivat yhdessä mahdollisia riskiä aiheuttavia tekijöitä. Ilmastoriskien tunnistamisessa tarvitaan tietoa ilmaston luontaisesta vaihtelusta, sään ääri-ilmiöiden todennäköisyyksistä ja ilmastomuutoksen vaikutuksesta niihin. Ilmastoasiantuntijat ovat tässä merkittävässä roolissa.

Kun kriittiset säätekijät on tunnistettu, siirrytään pohtimaan niiden merkitystä kohteen kannalta. Tätä varten on suositeltavaa rakentaa esimerkiksi kuvan 5.2 kaltaisia tapahtumapuita, jotta kaikki merkittävät uhat tulisi otettua huomioon. Kun kaikki mahdolliset tekijät on tunnistettu, analyysin tekijöillä on kattava kuva kohteen haavoittuvuudesta. Joissakin tapauksissa riskianalyysiä ei enää jatketa varsinaiseen riskien arviointiin asti, vaan haavoittuvuuden perusteella tehdään arviot kohteen suojaamisesta. Tietyissä tilanteissa tämä on järkevää, mutta se voi joskus johtaa virhebudjetoointeihin tai ylilyönteihin varautumisessa. Jotta päättäjillä säilyisi käsitys myös uhkien todennäköisyydestä, jonkinasteinen taajuudenarviointi olisi kuitenkin syytä suorittaa. Etenkin kunta- ja aluehallintosektorilla riskien hallintaan on pureuduttu alueellisen haavoittuvuuden kautta. Haavoittuvuus-käsitteestä ja alueellisesta haavoittuvuudesta on kerrottu enemmän luvussa 5.2.

## Ilmastoriskin todennäköisyyden määrittäminen

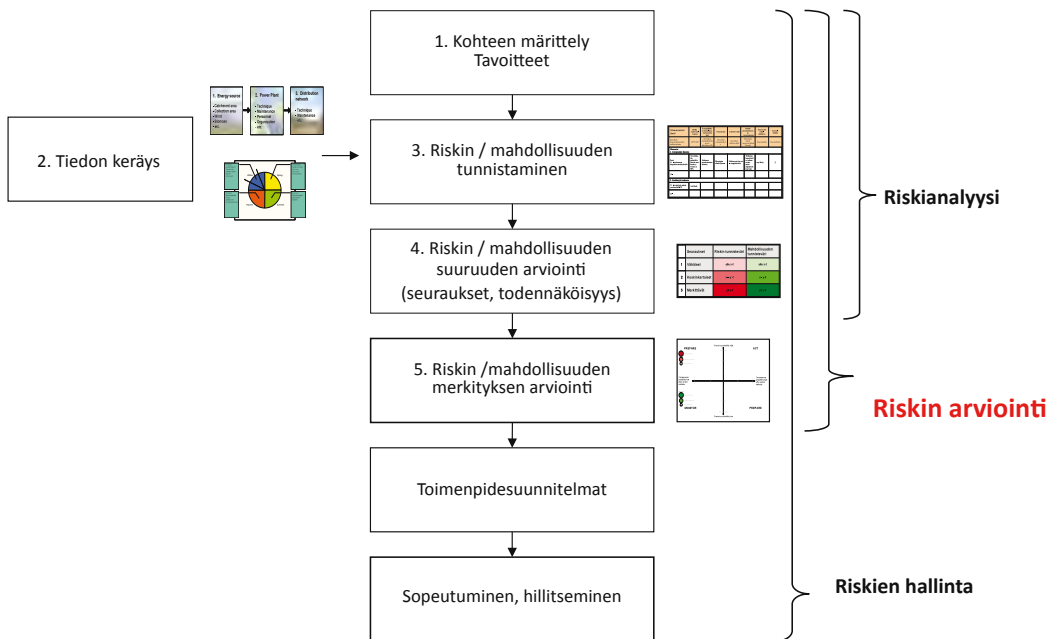
Ilmastoriskin toteutumisen todennäköisyyteen vaikuttaa kaksi tekijää: itse ilmiön todennäköisyys sekä ilmiöistä seuraavien seurausvaikutusten todennäköisyys. Sääilmiöiden todennäköisyyttä arvioidaan nykyisessä ilmastossa havaintoihin perustuvien tilastojen avulla ja sääilmiöiden todennäköisyydessä ilmaston lämpenemisen seurauksena tapahtuvia muutoksia ilmastomallien avulla. Tavanomaisten ja harvinaisten tapahtumien todennäköisyysarvioissa riittää muutaman vuosikymmenen mittainen havaintoajaksarja, usein käytetään 30 vuoden mittaista vertailukautta. Poikkeuksellisen harvoin esiintyvien ilmiöiden todennäköisyyslaskentaa varten tarvitaan kuitenkin tätä pidempiä yhtenäisiä havaintoajaksarjoja.

Kun itse ilmastotapahtuman todennäköisyys on saatu arvioitua, seurausvaikutusten todennäköisyyden arviointi tarvitsee tuekseen monien eri asiantuntijoiden yhteistyötä. Puiden kaatumisen todennäköisyyden parhaita määrittäjiä ovat metsäalan ammattilaiset, tulvien nousuennusteiden ympäristöasiantuntijat, terveysvaikutusten terveydenhuollon ammattilaiset jne. Tietoja äärimmäisten sääilmiöiden muuttumisesta tulevaisuudessa on luvussa 2.

### 5.1.4 Esimerkkejä ilmastoriskianalyseista

**Energialaitosten ilmastoriskien**<sup>15</sup> analysoinnin yhteydessä kehitetty riskianalysikehys yhdistää samaan kokonaisuuteen sekä ilmastotapahtuman todennäköisyyden että sen seurausvaikutuksen todennäköisyyden ja siinä käytetään ilmastomuutosskenaarioita ja perinteistä teknistä järjestelmien riskianalyysiä [5]. Analyysin avulla on mahdollista arvioida sekä ilmastomuutoksesta aiheutuvaa riskiä että sen tuomia mahdollisuuksia. Lisäksi sen avulla voidaan analysoida tutkimuskohteen haavoittuvuutta selvittämällä, onko kohteen mahdollista varautua uhkaan ja estää riskin toteutuminen. Kuvassa 5.4 on esitetty hanketta varten muokattu riskiarviointikehys. Riskin tunnistamista ja etenkin ilmastotapahtuman taajuuden muutoksen arviointia varten menetelmään luotiin omat työvälineet, joiden avulla ilmastoskenaariot saatiin kytkettyä riskienarviointiin.

<sup>15</sup> CES-hanke, Climate and Energy systems, Pohjolan ministerineuvosto



<sup>1</sup>  
Mukaillen: IEC 60300-3-9 2000 Teknisten järjestelmien riskianalyysi

Kuva 5.4. Menettelytapa ilmastonmuutoksesta tekniselle järjestelmälle koituvan riskin arvioimiseksi [5].

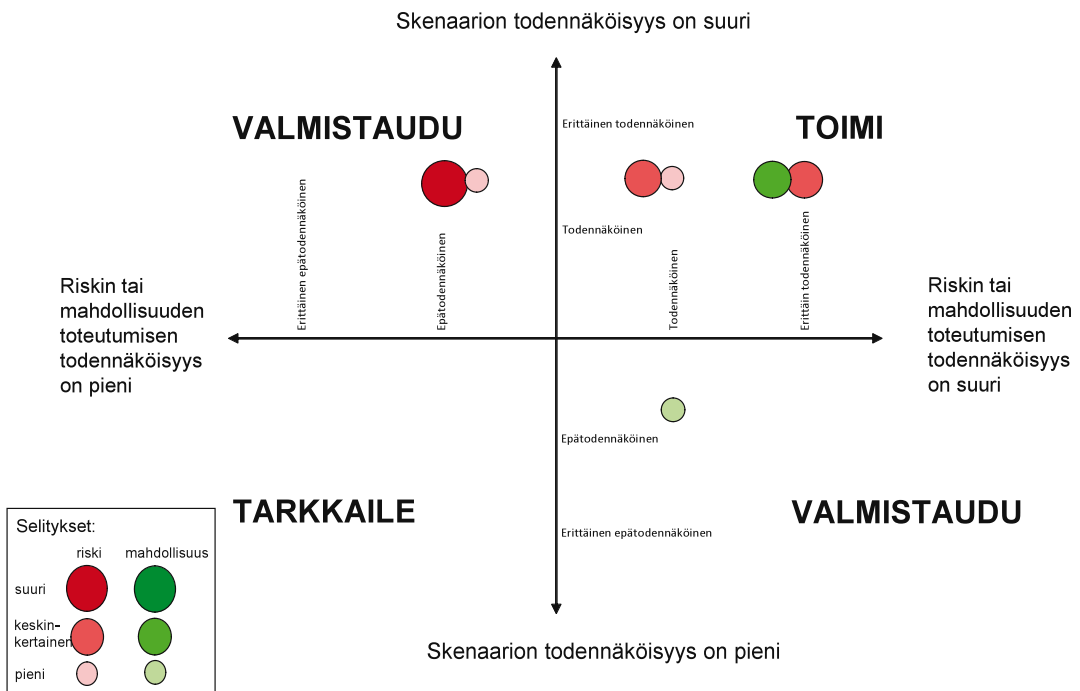
Kuvassa 5.5 on esitetty riskianalyysimenetelmän tulokset nelikenttäkuvauksena, joka havainnollistaa kahden epävarmuuden, ilmastoskenaariot ja riskin toteutumisen, käsittelyä. Menetelmän käyttö edellyttää asiantunte-  
musta tarkastella ilmastoskenaariota ja ympäristömalleja sekä tulkita niitä paikallisten olosuhteiden mukaisesti. Suomessa tarvittavaa asiantuntemusta on saatavilla mm. Ilmatieteen laitokselta (ilmastoskenaariot), Suomen Ympäristökeskuksesta (hydrologisia malleja) ja Itä-Suomen Yliopistosta (metsän kasvuennusteita ja malleja).

Sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia onnettomuus-, kunnossapito- ja kuljetusten viivekustannuksia on viimeaikoina tutkittu mm. **Euroopan liikenneverkostossa**<sup>16</sup> [10]. Tulosten mukaan pelkkä sääilmiön intensiivisyys ei selitä yhteiskunnan haavoittuvuutta, vaan kyseessä on monen tekijän summa [6]. Ilmastovyöhykkeet, kasvillisuus ja topografia - järvaltaat, rinteiden jyrkkyydet yms. - voivat vahvistaa tai heikentää seurauksia, ja merkittävä tekijä on myös yhteiskunnan oma varautuminen sääilmiön aiheuttamia haittoja vastaan. Riskienarviointimenetelmänä käytetään monikriteeristä matriisimenetelmää, joka ottaa huomioon niin sääilmiön sijainnin, voimakkuuden kuin ilmiön seuraukset yhteiskunnallekin. Menetelmä edellyttää asiantuntija-arvioita muun muassa seurausilmiöiden todennäköisyydestä.

Tulvariskien arvioinnissa on käytetty muun muassa monikriteeristä päätöksentekomenetelmää, jossa ilmas-  
tonskenaariot todennäköisyyden arvioivat Ilmatieteen laitoksen asiantuntijat ja hydrologisten muutosten voimakkuuden Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijat. Lisäksi tulvariskejä arvioitaessa on kiinnitetty huomiota omaisuuden arvon muuttumisen lisäksi viihtyisyysarvoihin ja terveys-arvoihin<sup>17</sup>. Näiden seurausten painoarvojen määrittämiseen yhteiskunnan kannalta osallistuivat useat asiantuntijat pilot-kohteissa [7,8]. Tulvariskien kartoitusta on käsitelty myös luvuissa 3.1.6. ja 3.3.3.

<sup>16</sup> EWENT (Extreme weather impacts on transport systems) –hanke, 2009-2012. EU 7. puiteohjelma, Transportation-call

<sup>17</sup> TOLERATE Towards LEvel of Required Adaption to cope with exTreme weather Events



Kuva 5.5. Ilmastonmuutoksesta aiheutuvien riskien ja hyötyjen esittäminen investointipäätöksenteon pohjaksi.

Ääri-ilmioihin liittyvän riskienhallinnan kustannus–hyötyanalyysin käyttöä ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnittelussa on tutkittu **Porin tulvatilanteessa**<sup>18</sup>. Tutkimuksessa ilmatoriskin todennäköisyys-komponentti arvioitiin tapahtumapuun avulla käyttäen alkutapahtumana tietyn tulvatapahtuman todennäköisyyttä, jota korjattiin ottamalla huomioon yhteiskunnan varautuminen tulvatorjuntaan. Todennäköisyys arvioitiin mm. seuraaville vaikuttaville tekijöille [9]:

- tulvavesien pidätys/ohjaus ei toimi suunnitellusti
- tulva-alueella oleva kriittinen toiminta (sähkökeskukset, teleliikennekeskukset, vedenpumppaamot, asuinrakennukset jne)
- kriittisen toiminnan suojauksen toimivuus
- pelastustoiminnan onnistuminen
- palveluketjun häiriöttömyyden varmistaminen (tuotannon joustavuus häiriöille tai sen siirrettävyys pois tulva-alueelta).

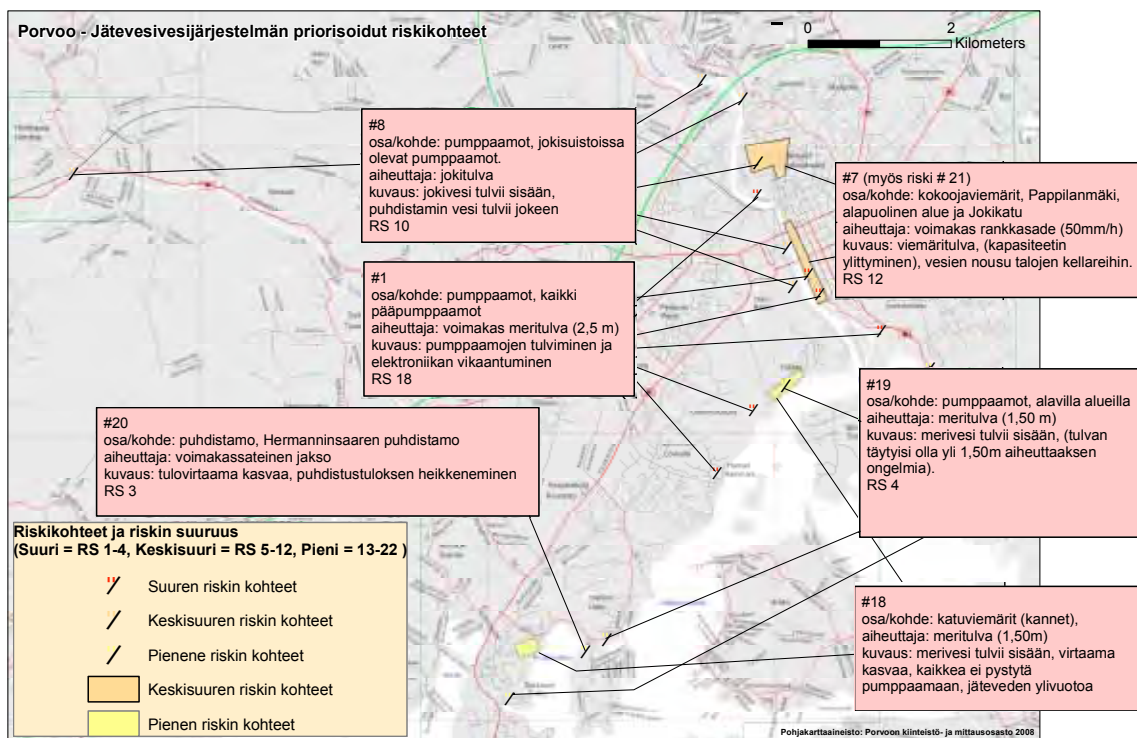
Arviot suorista taloudellisista vahingoista perustuivat aikaisempiin tutkimuksiin, kun taas makrotaloudellisia vaikutuksia simuloitiin yleisen tasapainon mallin avulla [9].

Tulvariskien seurausten arviointi edellyttää laajaa asiantuntijajoukkoa ja osaamista. Käytännössä mukaan tarvitaan mm. kaavoittajia, vakuutusyhtiöiden edustajia, pelastusviranomaisia, ministeriöiden ja valvontaviranomaisen edustajia, sähkö- ja telelaitosten edustajia. Käytetyn menetelmän katsotaan antavan hyvän pohjan tiivistää

<sup>18</sup> IRTORISKI Ilmastonmuutoksen ääri-ilmioihin liittyvän riskienhallinnan kustannus-hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa

tehokkaasti keskeiset riskit ja vaikutukset, mutta sen käyttö vaatii riskiasiantuntijoilta melkoisia ponnistuksia, jotta varmistetaan käsittelyn ymmärtävyys ja läpinäkyvyys. Menetelmän todellinen hyöty toteutuu vasta, kun on mahdollista saada tietoa käyttöön yhtenäisestä tietokannasta, johon kerätään edellisten tutkimuksien ja toteutettujen hankkeiden tuloksia. Muutoin menetelmässä käytettävän tapahtumapuun valmistelu voi olla liian työläistä ja kallista monille päätöksentekijöille. Vastaavaa tietokantaa kehitetään myös EU-tasolla (Clearing House Mechanism, CHM). Ilmasto-opas.fi voisi toimia Suomen CHM kotipesänä.

**Porvoon kaupungin vesijärjestelmien** ilmastonmuutoksen riskien ja sopeutumistoimien arvioinnissa<sup>19</sup> hyödynnettiin Ilmasto-KIHA (Gaia CliMan)<sup>20</sup> menetelmää. Sen yhteydessä tunnistettiin yli 20 kaupungin talousvesi-, jätevesi- sekä hulevesijärjestelmiin kohdistuvaa ilmatoriskia, joiden ympäristö-, henkilö- ja taloudellisia vaikutuksia arvioitiin tiiviissä yhteistyössä Porvoon asiantuntijoiden kanssa. Analyysin tulokset esiteltiin mm. karttapohjalla, joka monissa tapauksissa toimii havainnollisena keinona kommunikoida riskien merkittävydestä ja kohdentumisesta (kuvassa 5.6. esitetty jätevesijärjestelmän priorisoidut riskikohteet).



Kuva 5.6. Jätevesijärjestelmän priorisoidut ilmatoriskikohteet Porvoossa.

<sup>19</sup> Porvoon kaupungin vesijärjestelmien ilmastonmuutoksen riskien ja sopeutumistoimien arviointi. Loppuraportti, Gaia Consulting Oy. Jussi Nikula, Mikko Halonen, Riikka Lehti, Heinäkuu 2008. Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma (ISTO), tutkimushanke: Maankäyttö ja kuntatekninen suunnittelu tulvariskien hallinnassa (pr. nro 310952)

<sup>20</sup> Ilmasto-KIHA. (Gaia CliMan) Menetelmäkehitys ilmatoriskien arviointiin ja sopeutumistoimien priorisointiin, Mikko Halonen, Jussi Nikula, Iivo Vehviläinen, Tuomas Raivio & Mari Hjelt, Loppuraportti 2007. (Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelman tutkimushanke: Maankäyttö ja kuntatekninen suunnittelu tulvariskien hallinnassa, pr. nro 310952)



Tunnistetut sopeutumistoimet tarjoavat toimijoille hyvin konkreettisia mahdollisuuksia priorisoitujen ilmatoriskien hallitsemiseksi Porvoossa. Pääosa toimenpiteistä on kustannuksiltaan maltillisia (kokoluokkaa < 10 000 €). Eräät kalliimmista toimenpiteistä on mahdollista integroida jo suunnitelmassa oleviin investointeihin tai saneeraustöihin, luoden kustannustehokkaan keinon samanaikaisesti parantaa Porvoon vesijärjestelmien ilmatoriskien kestävyyttä. Esiin nousivat myös kaupunkirakenteen kehittymisen ja maankäytön muutosten vaikutukset vesihuollon riskeihin. Tavanomaisten vesihuoltoteknisten ratkaisujen sijasta voi olla mahdollista löytää kustannustehokkaampia sopeutumiskeinoja vesihuollon, maankäytön suunnittelun ja kuntatekniikan yhteistoiminnasta.

## Viitteet

1. Rowe W.D. 1997. An anatomy of Risk. ISBN 0-471-01994-1. John Wiley & Sons. New York
2. Etkin D. 1999. Risk transference and related trends: driving forces towards more mega-disasters. *Environmental Hazards* 1 (1999) 69 – 75.
3. Lough K.G., Stone R., Turner I.Y. 2005. Function based risk assessment; mapping function to likelihood. In: Proceedings of International Design Engineering technical conferences and computers and information in engineering conference. Long Beach. CA.
4. Aven T. 2008. Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities, Wiley.
5. Molarius, R.; Keränen, J; Schabel, J; and Wessberg, N. 2010. Creating a climate change risk assessment procedure - Hydropower plant case, Finland. *Hydrology Research*. Vol. 41 (2010) No: 3 - 4, 282 – 294 doi-link: 10.2166/nh.2010.123
6. Kojo, H.; Leviäkangas, P.; Molarius, R; ja Tuominen, Anu (eds.) 2011. Extreme weather impacts on transport systems 2011. VTT, Espoo. 119 p. + app. 14 p . VTT Working Papers : 168. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W168.pdf>
7. Molarius, R., Perrels, A., Porthin, M., Rosqvist, T. 2008. Testing a flood protection case by means of a group decision support system. *Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Helsinki*. 39 s. + liitt. 7 s. VATT-keskustelunaloitteita : 449.
8. Perrels, A., Veijalainen, N., Jylhä, K., Aaltonen, J., Molarius, R., Porthin, M., Silander, J., Rosqvist, T., Tuovinen, T., 2010. The implications of climate change for extreme weather events and their socio-economic consequences in Finland. *Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Helsinki*. 118 s. + liitt. 14 s. VATT Research Reports : 158/2010 [http://www.vatt.fi/file/vatt\\_publication\\_pdf/t158.pdf](http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t158.pdf)
9. Virta H., Rosqvist T., Simola A., Perrels A., Molarius R., Luomaranta A., ja Honkatukia J., 2011. Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvät riskienhallinnan kustannus-hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa. IRTORISKI-hankkeen loppuraportti. *Ilmatieteen Laitos. Raportteja 2011:3*.
10. Andrea Vajda, Heikki Tuomenvirta, Pauli Jokinen, Anna Luomaranta, Lasse Makkonen, Maria Tikankmäki, Pieter Groenemeijer, Pirkko Saarikivi, Silas Michaelides, Matheos Papadakis, Filippos Tymvios, Spyros Athanasatos, 2011. Probabilities of adverse weather affecting transport in Europe: climatology and scenarios up to the 2050s. *Ilmatieteen laitoksen raportteja. 2011:9*. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/28592>

## 5.2 Alueellinen haavoittuvuus

Lasse Peltonen

*Alueelliseen haavoittuvuuteen vaikuttavat altistumien ilmastonmuutoksen ja sään vaikutuksille, luonnon ja yhteiskunnan järjestelmien herkkyyksille ja kyky sopeutua niihin. Sopeutumistoimet on räätälöitävä niin, että ne ottavat huomioon nämä tekijät paikallisesti. Alueellisen haavoittuvuuden tutkimuksessa on oleellista eri toimialat ylittävä kokonaisvaltainen tarkastelu. Ensimmäisiä tähän soveltuvia kartoitustyökaluja on jo kehitetty. Alueellisen haavoittuvuuden tutkimus on kuitenkin Suomessa vasta alkuvaiheessa.*

Alueellisen haavoittuvuuden tarkasteluiden haasteena on horisontaalinen, sektoreita integroiva näkökulma. Alueellisessa haavoittuvuudessa on otettava huomioon nykyisen ja muuttuvan ilmaston alueellisten erojen lisäksi myös maantieteelliset ja alueiden fysikaaliset, ekologiset ja sosioekonomiset erot. Olennaista onkin huomata, että haavoittuvuus ei riipu suoraan ilmastonmuutoksesta, vaan hyvin monista muista tekijöistä kuten maankäytön muutoksista, tuotannollisesta toiminnasta ja yleisemmin yhteiskunnallisista muutoksista. Toisin kuin hillintätoimissa, joiden tapauksessa paikalliset toimet vaikuttavat osaltaan globaalin tason ongelmaan, sopeutumisessa sekä hyödyt että panostukset ovat tyypillisesti paikallisia [1]. Alueelliset ja paikalliset toimenpiteet ovat siis ratkaisevan tärkeitä sopeutumistoimien kannalta.

Haavoittuvuuden ja riskin käsitteitä käytetään limittäin monissa eri merkityksissä. Haavoittuvuuden käsitettä on käytetty monilla tieteenaloilla kuten maantieteessä, antropologiassa, insinööritieteissä, ekologiassa ja taloustieteessä. Ilmastonmuutoksen yhteydessä haavoittuvuus kattaa sekä ilmastonmuutoksen vaikutukset että yhteiskunnan mahdollisuudet sopeutua näihin vaikutuksiin. Tutkimusta jäsentävänä käsitteenä haavoittuvuus on mutkikkaampi kuin riski, joka määrittyy yksinkertaisimmillaan jonkin onnettomuuden tms. tapahtuman todennäköisyyden ja tapahtuman vaikutusten tulona. Haavoittuvuus –käsitteen moniulotteisuudessa on sekä hyvät että huonot puolet. Sen vahvuutena on kyky integroida monia erilaisia stressitekijöitä, vaikutusten kohteita (ihmiset ja muu ympäristö). Ongelmana on mutkikkaan kokonaisuuden empiirinen tutkiminen. Riskien tutkiminen on luonteeltaan rajatumpaa. Riskien hallinta on jäsentynyt omaksi käytännön alakseen (vastaavasti ei puhuta ”haavoittuvuuden hallinnasta”), joten se muodostaa oman tutkimusalaansa myös ilmastonmuutoksen sopeutumisessa [2].

### **Alueellisen haavoittuvuuden osatekijät**

Haavoittuvuus ei ole sama asia kuin ilmastonmuutoksen suuruus esim. lämpötilan tai sademäärien muutoksilla arvioituna tai ilmatorisken arvioituna ilmiön seurauksen ja todennäköisyyden avulla. Samanlaisille ilmastonmuutoksen tekijöille altistuminen aiheuttaa erilaisia vaikutuksia eri järjestelmissä ja eri alueilla. Füssel [3] on kartoittanut haavoittuvuus –käsitteen käyttöä ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyvässä tutkimuksessa ja pyrkinyt syntetisöimään erilaisista määritelmistä yleisen ja yhdenmukaisen tavan määritellä haavoittuvuutta. Füsselin mukaan jonkin tilanne voidaan määritellä haavoittuvaksi, kun voidaan täsmentää 1) kyseessä oleva järjestelmä (system), 2) sen tietty osa tai ominaisuus (attribute), jota uhkaa 3) tietty vaara (hazard) 4) sidottuna tiettyyn aikaan (temporal reference). Näin esimerkiksi haavoittuvan tilanteen (vulnerable situation) määritelmäksi kelpaa ”matkailuelinkeinon haavoittuvuus ilmastonmuutoksen vaikutuksille Pohjois-Lapissa seuraavan 30 vuoden aikana”, tai ”tietyn ekosysteemin primaarituotannon haavoittuvuus metsäpaloille vuonna 2050”. Sama täsmentämisen tarve liittyy myös sopeutumiskyvyn ja riskin käsitteisiin. Haavoittuvan tilanteen määrittely liittyy siis aina tarkasteltavaan järjestelmään, jolla on myös alueellinen ulottuvuus (esim.

maatalous, liikenne, rakennettu ympäristö). Jotkut järjestelmät ovat selvemmin alueellisia kuin toiset, mutta myös hajautetuilla järjestelmillä on alueellinen ulottuvuutensa ja paikalliset kiinnekohtansa (esim. talouden ja viestinnän verkostot).

Alueelliseen haavoittuvuuteen vaikuttavat 1) *altistuminen*: miten alueet altistuvat ilmastomuutoksen ja sään vaihtelun vaikutuksille (esim. sadanta, meriveden nousu, lämpötilat), 2) *herkkyys*: miten herkkiä alueelliset luonnon ja yhteiskunnan järjestelmät ovat muutokselle, ja 3) *sopeutumiskyky*: miten nämä järjestelmät tulevat toimeen ilmastomuutoksen vaikutusten kanssa ja palautuvat niistä. Näiden tekijöiden lisäksi haavoittuvuuteen vaikuttavat myös ihmisten tulkinnat omasta itsestään ja ympäristöstään (ks. Karen O'Brienin haavoittuvuuden määritelmä [4]). Vastaavasti sopeutumistoimet on räätälöitävä paikallisesti niin, että ne 1) vastaavat ilmastomuutoksen alueellisiin ja paikallisiin vaikutuksiin; 2) ottavat huomioon alueellisten järjestelmien (ekosysteemit, rakennettu ympäristö, aluetalous) erityispiirteet ja herkkyyden muutoksille; 3) ottavat huomioon sopeutumiskyvyn sekä lyhyellä (esim. palautuminen ääri-ilmiöiden vaikutuksista, ns. coping capacity) että pidemmällä aikavälillä (ns. adaptive capacity).

## Alueelliseen haavoittuvuuden näkökulma tutkimushankkeissa

ISTO-ohjelmaan ei sisällynyt selvää alueellisen haavoittuvuuden tutkimuskokonaisuutta, joten ohjelma ei tuottanut kattavaa kuvaa Suomen alueiden haavoittuvuudesta ilmastomuutokselle. Sen sijaan monet hankkeet sisälsivät esimerkkejä ilmastomuutoksen alueellisista vaikutuksista. Selvimmin haavoittuvuutta käsiteltiin ilmastoriskeihin liittyvissä hankkeissa. Esimerkiksi tulvariskit kohdentuvat tiettyihin vesistöihin ja näiden riskikohteisiin, joita on Suomessa kartoitettu EU:n tulvadirektiivin vaatimuksesta. Tulvakartoitukset muodostavatkin tärkeän ja systemaattisen tavan jäsentää yhtä ilmastomuutoksen sopeutumisen avainkysymystä Suomessa. Haavoittuvuus ja alueelliset erot Suomessa tunnetaan hyvin juuri vesivarojen osalta, sillä ilmastomuutoksen vaikutuksia on tutkittu vesistöalueittain; tulvien muuttuminen riippuu tarkasteltavien vesistöjen ominaisuuksista ja sijainnista [5]. Haavoittuvuuden kannalta olennaiset osatekijät, ilmastomuutoksen vaikutukset vesistöjen hydrologiaan, tästä seuraavat tulvariskit sekä tulva-alueiden maankäyttö ja riskikohteet tunnetaan hyvin.

Sektorikohtaiset hankkeet nostivat esiin näiden alueiden haavoittuvuuksiin liittyviä tekijöitä (esimerkiksi maa- ja metsätalousalueet), mutta myös ilmastomuutoksen todennäköisiä positiivisia seurauksia (esim. satoisuus ja metsien kasvupotentiaali). Näillä muutoksilla on myös aluetaloudellisia seurauksia, joita ei kuitenkaan lähemmin tarkasteltu. Lisäksi tietyt hankkeet nostivat esiin alueellisen haavoittuvuuden erityisiä teemoja; esimerkiksi ilmastomuutoksen sosiaalisten vaikutusten arviointia käsitellyt hanke tutki maaseudun asukkaita ja kylämäisten ympäristöjen alueellista haavoittuvuutta, kun taas rankkasadetulvia ja kaupunkien teknisiä järjestelmiä käsiteltiin omissa hankkeissaan. Hankkeiden maantieteellinen kohdentuminen ei kuitenkaan tuo mukanaan varsinaista alueellista tarkastelua eikä mahdollista haavoittuvuuden vertailuita alueiden välillä.

Selvimmin alueellista haavoittuvuutta on käsitelty Suomen ympäristökeskuksen CARAVAN<sup>21</sup> ja MAVERIC<sup>22</sup> -hankkeissa, joissa alueellista haavoittuvuutta arvioidaan maatalouden, ikääntyvän väestön ja matkailun osalta. CARAVAN-hanke keskittyi aluksi haavoittuvuuden bio-fysikaalisiin osatekijöihin, mutta vanhusväestön tarkastelu nosti esiin myös sosiaalisen haavoittuvuuden näkökulman. Kävi ilmi, että vanhusväestön osalta yleinen haavoittuvuus helleaalloille tunnistetaan, mutta vastuu vanhusten haavoittuvuudesta on vaikeasti määriteltävissä, eikä tietoisuuden taso ole kovin korkea [4]. Hankkeissa on noussut esille myös haavoittuvuuden muutosten ennakoinnin ongelma; nykytiedoilla saadaan tietylainen kuva haavoittuvuudesta, mutta tulevan haavoittuvuuden tarkastelussa pitäisi pystyä ilmastoskenaarioiden ohella arvioimaan myös ei-ilmastollisten tekijöiden muutoksia. Tällaisia ovat esim. demografiset muutokset (syntyvyys, kuolleisuus, ikäluokat) ja muuttoliike.

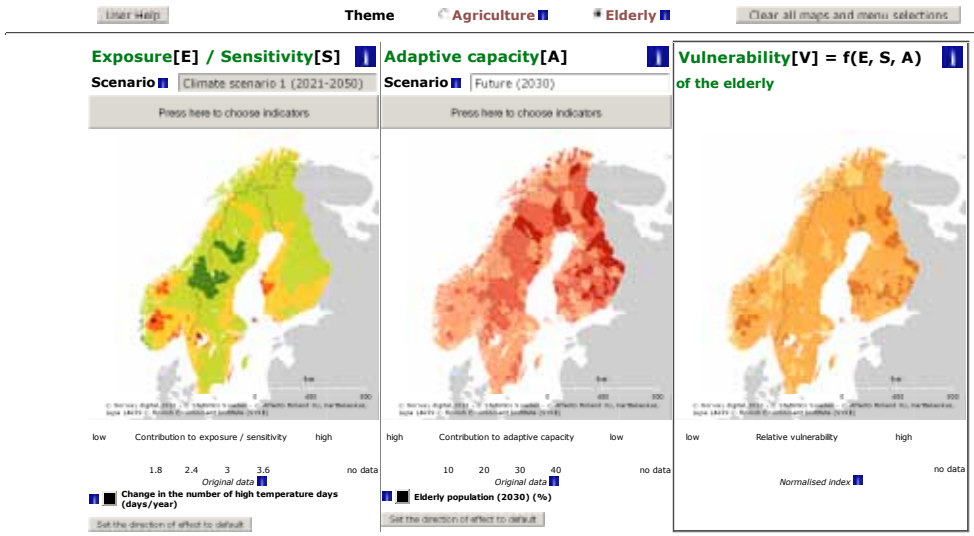
<sup>21</sup> CARAVAN = Climate change: a regional assessment of vulnerability and adaptive capacity for the Nordic countries, 2006-2009, Era-Net Circle, Suomen Akatemia

<sup>22</sup> MAVERIC = Map-based assessment of vulnerability of regional impacts of climate change, 2009-2012, Suomen akatemia



## Climate Change

A Regional Assessment of Vulnerability and Adaptive Capacity for the Nordic Countries



© Finnish Environment Institute (SYKE), CARAVAN project

[User questionnaire](#)

Kuva 5.7. Esimerkki CARAVAN–hankkeen kartoitustyökalusta. Indikaattoreista vasemmalla altistuminen/herkkyys, keskellä sopeutumiskyky, ja oikealla näiden yhdistelmänä syntyvä alueellisen haavoittuvuuden indeksi.

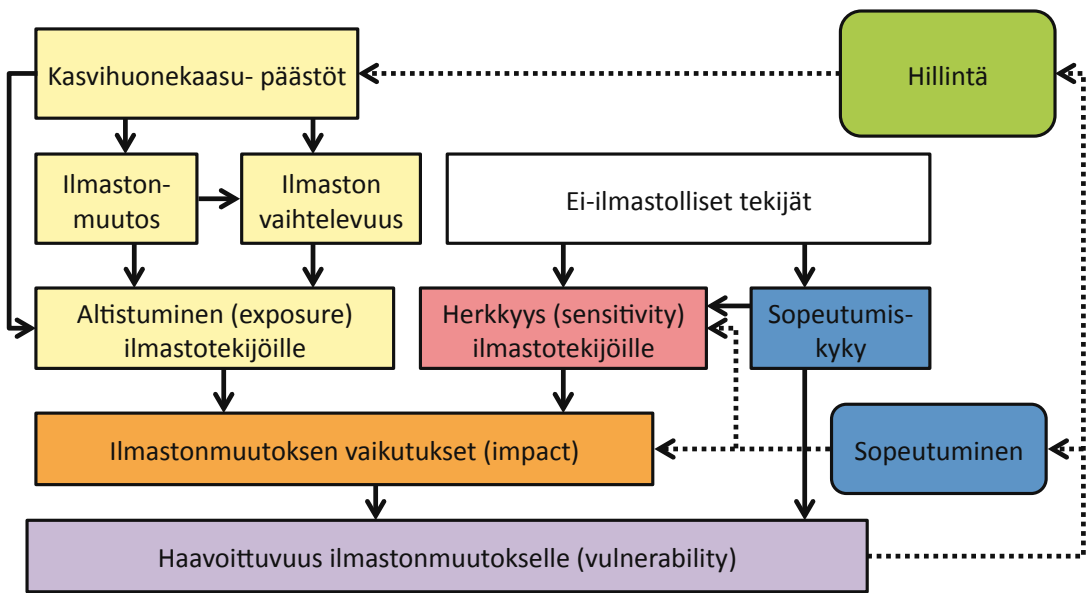
CARAVAN-hankkeessa on kehitetty myös kartoitustyökalu haavoittuvuuden tarkasteluun. Karttapohjainen työkalu mahdollistaa indikaattoreiden havainnollisen esittämisen ja se on hyödyllinen ja selkeä väline haavoittuvuuden erilaisten näkökulmien ja alueellisen ilmenemisen esittelyyn (Kuva 5.7). Kartoista voi olla hyötyä kansallisen ja alueellisen tason suunnittelun apuna, mutta karttojen tarkkuus ei vielä riitä kuntatason maankäytön suunnitteluun, jossa tarvitaan tarkempia aineistoja. Kartoitustyökalun kehittämisessä voidaan haavoittuvuuden lisäksi kiinnittää huomiota muun muassa vuorovaikutteisuuteen, epävarmuuksien käsittelyyn ja toiminnallisten esimerkkien ja sopeutumiskeinojen esittelyyn.

Euroopan tasolla alueellinen haavoittuvuus on ollut vahvasti esillä ESPON Climate –hankkeessa<sup>23</sup>, jossa Aalto-yliopiston yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskus YTK oli mukana. Hankkeessa toteutettiin alueellisen haavoittuvuuden kokonaistarkastelu indikaattoreiden avulla NUTS III –aluejaolla<sup>24</sup>, mikä mahdollistaa Euroopan sisäisten haavoittuvuuserojen tarkastelun. Hankkeen vahvuutena on kunnianhimoinen menetelmä ja Euroopan tasolla kattava haavoittuvuuden tarkastelu.

Hankkeessa toteutettiin alueellisen haavoittuvuuden indikaattoritarkastelu, johon sisällytettiin altistumisen (exposure) osalta kymmenen erilaista ilmastonmuutoksen tekijää, joista yksi tai useampia tekijöitä yhdistettiin viiteen herkkyysindikaattoriin (fyysinen, ekologinen, taloudellinen, sosiaalinen ja kulttuurinen). Altistumisen ja herkkyden yhdistelmästä saatiin kokoelma ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Nämä vaikutukset yhdistettiin edelleen sopeutumiskykyyn, jossa eroteltiin viisi ulottuvuutta: tietoisuus, talous, teknologia, infrastruktuuri ja instituutiot (kuva 5.8).

<sup>23</sup> ESPON Climate = Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies, EU ESPON-ohjelma

<sup>24</sup> NUTS III = Nomenclature of Territorial Units for Statistics, mm. Eurostat ja EU käyttävät tätä aluejakoa yleisesti



Kuva 5.8. ESPON Climate -hankkeen alueellisen haavoittuvuuden osatekijät (pohjautuu Füssel & Kleinin jaotteluun [6]).

Tulosten mukaan haavoittuvuus näyttää Euroopan alueella jakautuvan selvästi pohjois-etelä-suunnassa sekä ilmastonmuutoksen vaikutusten (altistuminen ja herkkyys) että sopeutumiskyvyn osalta. Pohjoismaiden ja Länsi-Euroopan korkea sopeutumiskyky vahvistaa jakoa. Heikoimmassa tilanteessa ilmastonmuutoksen sopeutumisen kannalta ovat Välimeren ja Kaakkois-Euroopan maat. Eurooppalaisessa tarkastelussa voidaan siis todeta, että Suomi on suhteellisen turvallinen maa sopeutumisnäkökulmasta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö Suomessa olisi aitoja sopeutushaasteita. ESPON Climate –hankkeen eurooppalainen tarkastelutaso ei kuitenkaan mahdollista tarkkoja päätelmiä alueellisista eroista Suomen sisällä.

### Miten sopeutumistoimet etenevät alueellisesti?

ISTO:n READNET –hanke käsitteli alueellista haavoittuvuutta epäsuorasti, alueellisten toimijoiden kautta. Hanke oli luonteeltaan kehityshanke, jossa neljällä kohdealueella (Uusimaa, Turun ja Tampereen seudut, Pohjois-Suomi) järjestettyjen työseminaarien kautta pyrittiin tukemaan alueellisista lähtökohdista nousseita sopeutumisaloitteita. Kohdealueilla seurattiin tarkemmin alueellisten ilmastostrategioiden laadintaprosesseja ja tarkasteltiin erilaisten toimintamallien toimivuutta sopeutumiskysymyksen käsittelyssä. Lisäksi hankkeessa käytiin läpi maakunnallisten ja seudullisten ilmastostrategioiden nykytila.

Hankkeessa todettiin, että ilmastonmuutoksen hillintä hallitsee keskustelua alueilla ja kunnissa, eikä sopeutumista välttämättä tarkastella lainkaan erillisenä haasteena. Kansallinen ilmastonmuutoksen sopeutumisstrategia ei ole juurtunut osaksi paikallisen ja alueellisen tason toimintamalleja. Hankelähtöiset sopeutumistoimet ja irralliseksi jäänyt kansallinen sopeutumisstrategia kertovat sopeutumisstrategioiden resursoinnin ongelmista. Edistyskellisimmät kunnat, seutukunnat ja maakunnat ovat kuitenkin pystyneet hyödyntämään EU:n aluekehitysrahaston (EAKR-hankkeet) tai muiden hankerahoitusten mahdollisuuksia.

Politiikka- ja toimitasuosituksina nousivat esiin 1) tukitoimet (resurssit, tietopohja, koordinaatio) seudullisten ja maakunnallisten ilmastostrategioiden tekemiseen, 2) alueellisten ilmastostrategioiden seuranta ja dokumen-

tointi; sekä 3) alueellisten ympäristöstrategioiden, maakuntasuunnitelmien ja -ohjelmien ja näihin perustuvien maakuntakaavojen sekä alueellisen elinkeinopolitiikan integrointi ilmastönäkökulmasta [7].

Toiminnallisista kehityshankkeista voidaan mainita myös Itämeren alueen BaltCICA –hanke<sup>25</sup>, jossa on käsitelty ilmastomuutoksen alueellisia vaikutuksia ja sopeutumiskeinoja aluesuunnittelun näkökulmasta Itämeren alueella. Hanketta on vetänyt Geologian tutkimuskeskus ja Suomesta niihin on osallistunut merkittävä määrä käytännön toimijoita, kuntia ja maakunnan liittoja. Tarkastelut ovat keskittyneet etupäässä Itämeren rannikkoalueisiin ja näiden aluesuunnitteluun sekä infrastruktuuriin (esim. vesihuolto) tiettyjen ilmastoriskien osalta. Hankkeessa on kiinnitetty huomiota myös alueellisten sopeutumisstrategioiden kehittämiseen ja siihen sisältyy myös taloudellisia tarkasteluita ja ilmastomuutoksen sopeutumiskeinojen tutkimusta. Hankkeessa on kehitetty ennakointiin (foresight) perustuvaa prosessia sopeutumistarpeiden tunnistamiseksi ja sopeutumistoimien kehittämiseksi paikallisissa ja alueellisissa tapaustutkimuskohteissa.

Pohjoisten alueiden erityisiä sopeutumishaasteita on tarkasteltu Clim-ATIC –hankkeessa<sup>26</sup>. Hanke on verkottanut pohjoisen alueen toimijoita kansainvälisesti, ja nostanut tietoisuutta sopeutumisesta erityisenä alueellisena haasteena. Hankkeessa pohjoisten alueiden toimijoille suunnatun kyselyn tulokset viittasivat muun muassa siihen, että sopeutumisesta kannattaa viestiä sen ympäristövaikutusten ja yhteiskunnallisten vaikutusten kautta, erityisesti korostaen hyvien käytäntöjen ja paikallisten sopeutumistoimenpiteiden merkitystä.

Toiminnallisissa hankkeissa kiinnostavana piirteenä on ollut sopeutumisstrategioiden rakentaminen yhdessä käytännön toimijoiden ja tutkimuslaitosten kesken. Tällainen yhteistyö on osoittautunut käytännön sopeutumistoimien kannalta olennaisen tärkeäksi [8,9]. Monitasohallinnan (multi-level governance) teema kytkeytyy läheisesti alueellisten ja paikallisten sopeutumistoimien etenemiseen; sopeutumisen kannalta tarvitaan sekä horisontaalista (paikalliselta EU-tasolle) että vertikaalista (sidosryhmien osallistuminen, kuntien vertaisverkot) koordinaatiota. Sopeutumistoimet etenevät alueellisesti hyvin eri tahtiin riippuen alueellisten toimijoiden osaamisesta ja resursseista – etenkin jos strategioiden resurssointi ja välitykset kansallisesta sopeutusohjelmasta alueellisten ja paikallisten toimijoiden suuntaan eivät toimi [10].

## Tutkimustarpeet

Alueellisen haavoittuvuuden tutkimustarpeissa huomio kiinnittyy sektorit ylittävän kokonaisnäkökuvan vahvistamiseen. Suomesta puuttuu edelleen kokonaisvaltainen alueellisen haavoittuvuuden tarkastelu, sisältäen (alue)taloudelliset vaikutukset. Tutkimustarpeita ovat:

- kattava (sektorit, alueet) alueellisiin indikaattoreihin perustuva haavoittuvuustarkastelu; haavoittuvuuden alueelliset tyypologiat
- aluekehityksen ja alueellisen haavoittuvuuden tulevaisuuden skenaariot
- hillinnän ja sopeutumisen alueelliset vaikutukset, yhtymäkohdat ja konfliktit
- sopeutumisstrategioiden toimeenpano ja käytännön toimet; esteet, hidasteet ja hyvät käytännöt
- sopeutumisen alueelliset ja paikalliset rahoitusjärjestelmät ja resurssit
- monitasohallinnan (multi-level governance) näkökulma alueellisen haavoittuvuuden tutkimuksessa ja haavoittuvuuden vähentämiseen liittyvissä toimissa: ohjauskeinot, strategiat, politiikat eri aluetasoilla – myös politiikkojen alueelliset vaikutukset.

<sup>25</sup> BaltCICA = Climate Change: Impacts, Costs and Adaptation in the Baltic Sea Region, INTERREG IVB –ohjelma <http://www.baltica.org/index.html>

<sup>26</sup> Clim-ATIC = Climate Change – Adapting to the Impacts by Communities in Northern Peripheral Regions. EU Northern Periphery Programme, <http://www.clim-atic.org/index.html>

## Viitteet

1. Berkhout, F. 2005: Rationales for adaptation in EU climate change policies *Climate Policy* 5, 377-391.
2. Mechler, R., Hochrainer, S., Aaheim, A., Kundezewicz, Z.K., Luger, N. and Moriondo, M. 2010: A risk management approach for assessing adaptation to changing flood and drought risks in Europe. In Hulme, M. and Neufeldt, H., editors, *Making Climate Change Work for Us: European Perspectives on Adaptation and Mitigation Strategies*, Cambridge: Cambridge University Press, 200-229.
3. Füssel, H.-M. 2007: Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17, 155-167.
4. Carter, T.R., Fronzek, S., Mela, H., O'Brien, K., Rosentrater, L. and Simonsson, L. 2010. *Climate Change Vulnerability Mapping for the Nordic Region - CARAVAN/MEDIATION Joint Workshop*, Stockholm, 9 November 2010: Summary Report, Finnish Environment Institute (SYKE) mimeograph, Helsinki, Finland, 12 pp. (MEDIATION Milestone report 5a). Available at: <http://www.environment.fi/syke/caravan>
5. Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehviläinen, B., Käyhkö, J. 2010. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391, 333-350.
6. Füssel, H.-M. and Klein, R.J.T. 2002: Assessing Vulnerability and Adaptation to Climate Change: An Evolution of Conceptual Thinking. A Climate Risk Management Approach to Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change. (Proceedings of the UNDP Expert Group Meeting on "Integrating Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change", Havana, Cuba, 17-19 June 2002): UNDP, 45-59.
7. Haanpää, S., Tuusa, R. and Peltonen, L. 2009: Ilmastomuutoksen alueelliset sopeutumisstrategiat - READNET-hankkeen loppuraportti. Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskuksen julkaisu C75. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskus
8. Hedger, M.M., Connell, R. and Bramwell, P. 2006: Bridging the gap: empowering decision-making for adaptation through the UK Climate Impacts Programme *Climate Policy* 6, 201-215.
9. Kern, K. and Bulkeley, H. 2009: Cities, Europeanization and Multi-level Governance: Governing Climate Change through Transnational Municipal Networks 47, 309-332.
10. Juhola, S., Haanpää, S., Peltonen, L. 2012 (tulossa). Regional challenges of climate change adaptation in Finland: Implementation of the National Strategy at the regional level or voluntary initiatives? *Local Environment* 17 (2012)

## 5.3 Ilmastomuutoksen taloudelliset vaikutukset ja niiden arviointi

Väinö Nurmi, Adriaan Perrels ja Karoliina Pilli-Sihvola

*Ilmastomuutoksen taloudellinen tutkimus on Suomessa ollut tähän asti melko vähäistä. Joillain toimialoilla vaikutukset tiedetään jo melko hyvin, mutta suurta epävarmuutta liittyy vielä vaikutusten voimakkuuden arviointiin. Lisäksi ilmastomuutoksen aiheuttamat fyysiset seuraukset eivät välttämättä johda samansuuruisiin ja -suuntaisiin taloudellisiin vaikutuksiin. Ilmastomuutos ei yleensä myöskään ole ainoa tai tärkein eri toimialojen kehitykseen vaikuttava tekijä. Sen vuoksi ilmastomuutoksen aiheuttamat taloudelliset vaikutukset kannattaa arvioida yhdessä muiden vaikutusten kanssa. Sään aiheuttamilta riskeiltä voidaan suojautua hajauttamalla riskiä kohteisiin, joihin sääilmiö vaikuttaa eri tavalla. Riskiltä voi suojautua myös vakuutuksella tai joillain sektoreilla sääjohdannaisilla. Suomessa myös valtion takaama sosiaaliturva toimii taloudellisena riskinhallintakeinona.*

### 5.3.1 Johdanto

Ilmastomuutos aiheuttaa monia eri vaikutuksia Suomen kansantalouteen. Se tuo Suomelle etuja, haittoja, mahdollisuuksia ja uhkia [1,2,3]. Toimialakohtaiset vaikutukset ymmärretään osittain jo hyvin (esim. maa- ja metsätaloudessa), mutta vaikutusten voimakkuuden tarkka arviointi on yleensä vielä vaikeaa ja joissain tapauksissa mahdotonta. Lisäksi on tärkeää ymmärtää, että luonnolliset (fyysiset) volyyminmuutokset Suomessa, kuten suuremmat satotasot, eivät välttämättä nosta tai alenna toimialan tulotasoa. Esimerkiksi tulevana vuosikymmeninä myös monien muiden maiden sadot ja puiden kasvuvauhti paranevat, joten vastaavien maa- ja metsätaloustuotteiden hinnat saattavat alentua. Toisaalta talvimatkailun osalta Suomen kilpailukyky saattaa parantua, koska mm. hiihtokelpoinen lumikausi lyhenee merkittävästi enemmän muualla Euroopassa. Ilmastomuutoksen myönteiset tai kielteiset fyysiset seuraukset eivät siten takaa suoraviivaisesti yhtä myönteisiä tai kielteisiä taloudellisia vaikutuksia.

Ilmastomuutoksen vaikutukset talouteen kannattaa analysoida muiden vaikutusten ja muutosten yhteydessä. Muut vaikutukset ovat usein vähintään yhtä tärkeitä ko. toimialalle kuin ilmastomuutoksen aiheuttamat vaikutukset [4]. Ilmastomuutoksen vaikutukset eivät myöskään esiinny erikseen, vaan ne ovat yhteydessä tai voimistavat jo meneillään olevia muutoksia. Taloudellisten analyysimenetelmien näkökulmasta ilmastomuutoksen aiheuttamat vaikutukset ovat osittain epätavallisia (erityisesti sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat vaikutukset), ja vaikutusten epävarmuus vaikuttaa analyysimahdollisuuksiin. Arviointimenetelmien kehittäminen on siten tarpeellista. Toisaalta on myös tärkeää ymmärtää, että raskaat analyysimenetelmät eivät ole ainoa mahdollinen vaihtoehto. Pienemmille toimijoille, kuten monille kunnille ja yrityksille, käytännölliset päätöksentekoa tukevat työkalut (esim. Gaia CliMan) toimivat usein hyvin.

Ilmastomuutos vaikuttaa kansantalouteen hyvin erilaisten mekanismien kautta. Tämän vuoksi perinteisten taloudellisten mallien ja teorioiden rinnalle ja joskus yhteyteen tarvitaan erilaisia taloudellisia teorioita ja malleja, sekä usein mallien laajennuksia ja joskus teorian korjauksia [4,5,6,7,8].

Ilmastomuutoksen taloudellinen analyysi on jo pitkään keskittynyt pääsääntöisesti hitaasti toteutuviin vaikutuksiin, kuten kasvukauden pidentymiseen tai sademäärien muutoksiin. Vasta viime vuosina myös äärimmäisten sääilmiöiden voimistuminen ja yleistymisen on saanut enemmän huomiota. Puutteet menetelmissä ja tiedoissa kuitenkin hidastavat ääri-ilmiöiden taloudellisten arviointien tekemistä. Ilmastomuutoksen vaikutukset ovat myös erilaisia riippuen siitä, millä aikataululla fyysikaalinen muutos tapahtuu.



### 5.3.2 Ilmastonmuutoksen kansantaloudelliset vaikutukset Suomelle

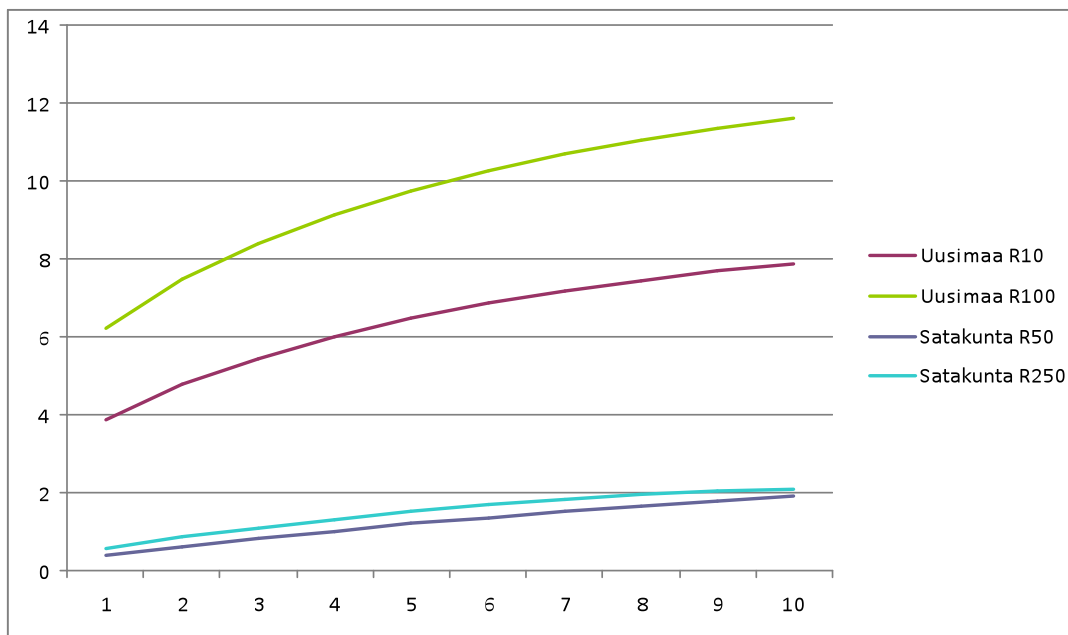
Käsitys ilmastonmuutoksen kansantaloudellisista vaikutuksista Suomelle on vielä suurin piirtein sama kuin FINADAPT:n tiivistelmäkuvauksessa [3]. Hitaasti etenevät muutokset, kuten keskilämpötilan nousu ja siihen liittyvä kasvukauden pidentyminen, tuovat ajan myötä potentiaalisia hyötyjä luonnosta riippuvaisille toimialoille, kuten maataloudelle, metsätaloudelle ja ulkomatkailulle. Edellä mainittujen toimialojen potentiaalinen yhteenlaskettu hyöty edustaisi noin 0,2 % BKT:sta [3]. Tämä luku ei sisällä ilmastonmuutokseen liittyviä riskejä, kuten vieraslajien ja tautien tuloa Suomeen, ja toisaalta hyödyt syntyvät vain jos toimialat sopeutuvat riittävästi uusiin olosuhteisiin [9,10,11]. Samassa FINADAPT:n raportissa mainitaan myös toimialoja, jotka kärsivät ilmastonmuutoksesta. Tällainen on esimerkiksi energian tuotanto lämmitystarpeen vähentymisen takia. Tämä on esimerkki vaikutuksesta, joka on haitta yhdelle toimialalle (energianhuolto), mutta hyöty toiselle (energiankuluttajille). Jos lisäksi otetaan huomioon mahdolliset lisäkustannukset kotitalouksille, ilmastonmuutoksen arvioituiden kansantaloudelliset hyödyt ja haitat ovat keskimäärin yhtä suuria. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kaiken kaikkiaan ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen kansantalouteen olisi pieni. Ongelma on, että laskennalliset keskimääräiset muutokset edustavat huonosti tai eivät lainkaan ilmastonmuutoksen voimistavia ääritilanteita, eivätkä ne edusta sääolosuhteiden kasvavaa vuodenaikaista vaihtelua. Tähänastiset kansantaloudelliset laskelmat eivät myöskään ota huomioon sitä, miten äärimmäiset tilanteet muissa maissa vaikuttavat Suomen kansantalouteen. ISTO-ohjelman IMPLIFIN-hanke [12] hanke loi alustavan pohjan näiden riskien arvioimiseksi.

Sään ääri-ilmiöistä aiheutuvat vahingot voivat olla Suomessa melko suuria. Välittömät kustannukset tulvasta, jonka todennäköisyys on 0,4 %, voivat olla yli 100 miljoonaa euroa. [4,6]. Tilanteesta ja paikasta riippuen ilmastonmuutos nostanee kustannuksia ja kustannuksien odotusarvoa. Esimerkiksi Porissa ilmastonmuutos voi nostaa tulvakustannuksia noin 20 % vuoteen 2050 mennessä. On tärkeää ottaa huomioon, että kyse on mahdollisesta tapahtumasta. Kun halutaan verrata riskiä alentavan investoinnin kustannuksia ja vältettyjä tulvakustannuksia, jälkimmäisestä täytyy soveltaa odotusarvoa. Esimerkiksi jos tulvan vuosittainen todennäköisyys on 2,5 %, todennäköisyys että se esiintyy vähintään kerran 25 vuoden aikana, on lähes 50 %. Jos tällaisen tulvan vahingot tietyllä alueella nousevat yli sataan miljoonaan euroon ja tarkastelujakso on 40 vuotta, vahinkojen odotusarvo on noin 63,7 miljoonaa euroa. Vertailu tällä hetkellä tehtävän investoinnin kanssa vaatii vielä odotusarvon nykyarvon laskemista. Jos käytetään 5 % vuosittaista diskonttokorkoa ja jakson kestonä mediaania, vahinkojen nykyarvo on 24 miljoonaa euroa. Jos otetaan huomioon vain välittömät kustannukset, tämä olisi suurin summa, mikä lisäsuojeluun kannattaa investoida<sup>27</sup>. Ilmastonmuutoksen vaikutus tulvan voimakkuuteen (+20 %) aiheuttaa sen, että investoinnin kannattava maksimimäärä kasvaa myös 20 prosentilla.

Äärimmäisen sääilmiön välilliset vaikutukset kansantalouteen voivat olla suurempia kuin välittömät vaikutukset. IRTORISKI-hankkeessa arvioitiin kumulatiiviset välilliset vaikutukset Satakunnassa (Porin jokitulvan yhteydessä) ja Uudellamaalla (Helsingin rankkasadetulvan yhteydessä). Vahinkojen kerroinvaikutusten vuoksi taloudelliset vaikutukset voivat olla kymmenen vuoden jakson aikana kaksinkertaiset välittömiin kustannuksiin verrattuna<sup>28</sup>, mutta ne voivat olla myös merkittävästi enemmän (kuva 5.9). Helsingin ja Uudenmaan keskeinen rooli Suomen kansantaloudessa selittää osittain isomman heijastusvaikutuksen. Toisaalta muihin tutkimuksiin verrattuna Uudenmaan luvut ovat hyvin (ja ehkä liian) korkeita. Muut tutkimukset arvioivat kerroinvaikutukset kaksin- tai kolminkertaisiksi [5,13]. Kuvasta 5.9 nähdään myös, että suuremmat alkuvahingot tarkoittavat suurempia kerroinvaikutuksia. Tästä löytyy samansuuntaisia tuloksia muualta [5, 13]. Yhteiskunnallisesta nä-

<sup>27</sup> Käytännössä on usein vielä sivuvaikutuksia (+ ja -) ja ylläpitokustannuksia, jotka vaikeuttavat laskelmaa mikäli osaa vaikutuksista ja kustannuksista on vaikea kvantifioida.

<sup>28</sup> Välittömien ja välillisten kustannusten erottelu on tärkeää. Ensimmäinen käsite edustaa fyysisiä vahinkoja, jotka syntyvät (heti) tapahtuman takia. Usein ne koskevat pääomakantaa. Toisaalta välilliset kustannukset edustavat sitä, miten pääoman vähennys, mahdolliset infrastruktuurin rajoitukset ja katastrofin jälkeen nouseva korjausbuumi vaikuttavat talouteen muutamien vuosien aikana (kuvassa 5.9 10 vuotta). Lukujen yhteenlaskeminen tarkoittaa tuplalaskemista.



Kuva 5.9. Vahinkojen kertautumisen vaikutukset vuosittain. Kertoimet vastaavat nykyistä rahanarvoa. Diskonttauskorko on 5 %. [6]. R10 tulvalla tarkoitetaan tulvaa, joka esiintyy keskimäärin kerran kymmenessä vuodessa. Vastaavasti R50 tulva esiintyy keskimäärin kerran 50 vuodessa, R100 kerran sadassa ja R250 on harvinainen, keskimäärin kerran 250 vuodessa esiintyvä tulva.

köklmästä katsottuna tulokset viittaavat siihen, että kansantaloudellisten vaikutusten huomioon ottaminen todennäköisesti nostaisi suojeluinvestointeja.

IRTORISKI-hankkeen mallisimuloinnit osoittivat myös, että taloudellinen elpyminen ei ole neutraali prosessi, vaan taloudellinen rakenne muuttuu pysyvästi [6]. Samankaltaisia vaikutuksia on löydetty empiirisestä tutkimuksesta myrskyjen alueellisista vaikutuksista EU:ssa [7]. Myös kansantalouden tilanne ja rakenne katastrofin hetkellä vaikuttavat siihen, miten kansantalous toipuu äärimmäisen sääilmiön aiheuttamista vahingoista.

Mallisimuloinnit tuottavat tuotantoon perustuvia tunnuslukuja. Ne eivät kuitenkaan ota riittävästi huomioon katastrofin aiheuttamaa kuluttajien (=kotitalouksien) hyvinvoinnin menetystä: onnettomuuden seurauksena asumisolosuhteet huononevat merkittävästi, mikä vähentää kuluttajien kokemaa hyvinvointia. Tämä hyvinvoinnin menetys saa aikaan korjausbuumin, joka havaitaan yleensä pian ja vahvasti katastrofin jälkeen. Mallitulosten mukaan korjausbuumin hintana kuitenkin on, että tulevaisuudessa hyvinvoinnin kasvu on hiukan hitaampaa kuin se olisi ilman korjausbuumeja.

Koska korjausbuumien aiheuttama ylikuumeneminen vaikuttaa haitallisesti koko makrotalouteen, ne olisi hallittava mahdollisimman tehokkaasti. Hallinta voi tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että korjausbuumin tuomaa ylimääräistä työvoiman ja materiaalien kysyntää yritetään jakaa suuremmalle alueelle, markkinoiden toimintaa edistetään katastrofialueella tarjoamalla tietoja vaihtoehtoisista toimittajista ja korjausten aikataulua pyritään tasaamaan piikkien välttämiseksi. Nopea korjaaminen voi myös johtaa laadun heikkenemiseen, kun taas hitaammalla aikataululla tehdyt korjaukset mahdollistavat nykyaikaisen teknologian käyttämistä suoraviivaisen korvaamisen sijaan.

### 5.3.3 Yhteenveto taloudellisesta tutkimuksesta

Ensimmäinen varsinainen Suomessa tehty usean sektorin kattava arvio ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista Suomelle on FINADAPT-ohjelmassa toteutettu Appraising the Socio-economic Impacts of Climate Change for Finland [3]. Tutkimuksessa arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia usealle sektorille. Arvioidut sektorit olivat maa- ja metsätalous, energian kulutus ja tuotanto, matkailu, vesivarat, liikenne, kiinteistöt, pankki- ja vakuutusala sekä muut palvelut. Tutkimuksessa arvioitiin myös ilmastonmuutoksen vaikutuksia vientiin, tuontiin ja bruttokansantuotteeseen. Tämän jälkeen vastaavaa tutkimusta ei Suomessa ole tehty.

Euroopan laajuudessa mittakaavassa taloudellisia vaikutuksia on tutkittu viime vuosina kahdessa eri hankkeessa [14, 15]. PESETA-hankkeessa Eurooppa on jaettu viiteen alueeseen, ja Suomea on tarkasteltu osana Pohjois-Eurooppaa. Hankkeessa tutkittiin ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia maatalouteen, matkailuun ja terveyteen. Lisäksi tutkittiin joki- ja merivesitulvien aiheuttamia kustannuksia sekä vaikutuksia hyvinvointiin ja kansantalouteen [16]. Myös tällä hetkellä käynnissä oleva ClimateCost-hanke tutkii jokitulvien ja meriveden nousun aiheuttamia taloudellisia vaikutuksia. Lisäksi hankkeessa tutkitaan energiasektoria ja vaikutuksia terveyteen. ClimateCost-hankkeessa tulokset on raportoitu maittain. PESETA-hankkeen tulosten mukaan jokitulvien taloudelliset vaikutukset Suomessa vähenevät suhteessa nykyhetkeen [16]. ClimateCost-hankkeen tulosten mukaan ilmastonmuutos kuitenkin lisää tulvariskiä Suomessa merkittävästi. Toisin kuin PESETA-hankkeen tuloksissa, ClimateCost-hankkeen tulosten mukaan tulvista aiheutuvat taloudelliset vahingot tulevat Suomessa kasvamaan. Nämä ristiriitaiset tulokset tarjoavat esimerkin siitä, miksi taloudellisten arvioiden tekeminen Suomessa on tärkeää. Se mahdollistaa paikallisten näkökulmien huomioonottamisen ja siten paremmat arviot aiheutuvista kustannuksista.

Tässä synteesiraportissa esitelty ISTO-ohjelman puitteissa toteutettu Tolerate-hanke arvioi jokitulvien taloudellisia vaikutuksia Suomessa. Toleratessa tehtyjen arvioiden mukaan kasvavalla tulvariskialueella kustannukset voivat suurien tulvien tapauksessa nousta merkittäviksi. EXTREFLOOD II –hankkeessa toteutettiin tapaustutkimus jokitulvien rakennuksille aiheuttamien tuhojen arvioinnin epävarmuuksista Kittilässä vuonna 2005 tapahtuneen kevättulvan aineistolla [17]. Suurin epävarmuus ennalta laadittujen tulvariskikarttojen (ks. luku 3.3.2) tiedoissa liittyy rakennustietokantojen virheisiin ja puutteellisiin tietoihin rakennusten materiaaleista ja rakenteista. Tulvan kastelemien erityyppisten rakennusten korjauskustannuksia on arvioitu ns. kustannuskorttien avulla. Korjauskustannukset vaihtelevat rakennustyyppin mukaan: pientaloissa 200–300 €/m<sup>2</sup> ja kerrostaloissa jopa 1500 €/m<sup>2</sup> [18].

Liikenteen osalta sään aiheuttamia kustannusvaikutuksia tutkitaan EWENT-hankkeessa [19]. Hankkeessa on selvitetty liikenteeseen vaikuttavia haitallisia sääilmiöitä ja äärimmäisten sääilmiöiden ja ilmastonmuutoksen aiheuttamia taloudellisia vaikutuksia.

Taulukosta 5.2 käy ilmi, että ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia ja erityisesti sopeutumiskustannuksia on Suomen osalta arvioitu todella vähän. Monilta talouden sektoreilta arviot puuttuvat kokonaan. Sektorien lisäksi taloudellisia vaikutuksia pitäisi tutkia koko kansantalouden kannalta sektorirajat ylittäen. Taloudellisiin arvioihin pitäisi kiinnittää tulevaisuudessa enemmän huomiota, sillä ne mahdollistavat sopeutumistoimien kustannustehokkaamman käytön. Poliittisen päätöksenteon kannalta taloudelliset arviot ovat tärkeitä, sillä niukkoja resursseja jaettaessa investointien taloudellinen kannattavuus on usein ratkaisevassa asemassa. Myös erilaisten sopeutumistoimien tehokkuutta olisi kannattavaa tarkastella kustannushyötyanalyysin avulla. Vaikutustutkimuksissa oletetaan yleensä optimaalinen sopeutumisen taso, mikä ei todellisuudessa aina toteudu tai ole taloudellisesti optimaalista.

Taulukko 5.2. Sektorikohtaisia arvioita ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista ja yhteenveto tämän hetkisestä tutkimuksesta Suomen kannalta.

Sektori	Taloudelliset vaikutukset	Tutkimuksen tila
Matkailu	n. 0.5 % BKT:sta [20]. 2020 mennessä 107 milj. €, 2050 mennessä 107 milj. € ja, 2080 mennessä 107 milj. € [3]	kansainvälinen tutkimus, joissa Suomi osana vuodelta 2006 [20]. Suomessa tehty tutkimus vuodelta 2005[3].
Vakuutusala	sää- ja ilmatoriskit kasvamassa, ei taloudellisia kokonaisarvioita	Ei suomalaista tutkimusta
Maatalous	2020 mennessä 60 milj. €, 2050 mennessä 100 milj. € ja 2080 mennessä 120 milj. € [3]. Noin 0,1 % BKT:sta [14].	Viimeisin Suomessa tehty tutkimus vuodelta 2005 [3]. Eurooppalainen PESETA-hanke [14] vuodelta 2009.
Metsätalous	2020 mennessä 75 milj. € 2050 mennessä 150 milj. € 2080 mennessä 250 milj. € [3].	Viimeiset luvut vuodelta 2005 [3], arvioita myös tuoreessa VACCIA-hankkeessa [21]
Luonnon monimuotoisuus	Ei taloudellisia arvioita Suomessa. Arvio 10 miljardin vuosittaisista haittavaikutuksista Euroopassa [22].	Luonnon monimuotoisuutta ei ole haluttu arvottaa rahassa; ongelma päätöksenteon kannalta?
Terveys ja hyvinvointi	Ei taloudellisia arvioita	Ei kokonaisarvioita, globaalistikin tutkimus niukkaa
Rakennettu ympäristö	Jokitulvien aiheuttamat kustannukset Porissa 40:stä 50:een milj. €:n [4], Kittilässä noin 2 milj. € [17], 0,2-0,4 % BKT:sta [15]. PESETA-hankkeessa vastakkaisia arvioita [16].	TOLERATE [4], PESETA [16], EXTREFOOD II [17] ja ClimateCost [15] tutkineet jokitulvien vaikutusta, ei taloudellisia kokonaisarvioita rakennettuun ympäristöön
Liikenne ja tietoliikenne	Kokonaisarvioita vain tämän hetken kustannuksista, esimerkiksi sään aiheuttamat onnettomuudet liikenteessä n. 230 miljoonaa euroa, liukastumisonnettomuudet 2,4 miljardia euroa	Ewent-hanke [19] ja VTT selvittäneet tämän hetken sään aiheuttamia vaikutuksia, ei suomalaista tutkimusta taloudellisista kokonaisarvioista ilmastonmuutoksen kannalta
Energiasektori	2020 mennessä -37 milj. €, 2050 mennessä -73 milj. € 2080 -141 milj. €. [3]	Viimeiset arviot vuodelta 2005. [3]

Ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia ja ilmastonmuutokseen sopeutumista arvioitaessa on huomioitava, että merkittävimmät taloudelliset vaikutukset eivät välttämättä aiheudu suorista, Suomessa tapahtuvista vaikutuksista, vaan globaaleista vaikutuksista. Vaikutukset heijastuvat esimerkiksi kansainvälisen kaupan, väestön liikehdinnän tai globaalien talouskriisien kautta Suomeen. Siksi kansainvälisten tutkimusten linkittäminen osaksi Suomessa tehtävää tutkimusta olisi erityisen tärkeää. Talouden ennustamattomuus tuo myös oman haasteensa pitkän aikavälin arvioiden tekemiseen.

### 5.3.4 Taloudellinen riskinhallinta

Riskin käsite taloustieteessä tarkoittaa epävarmuutta sellaisesta lopputuloksesta, jolla on toimijan kannalta merkitystä. Osa epävarmoista lopputuloksista voi olla talouden toimijan kannalta positiivisia ja osa negatiivisia. Suurin osa talouden toimijoista karttaa riskiä. Tämä tarkoittaa sitä, että varmaa tuottoa pidetään samansuuruista odotettua tuottoa parempana; suurempi odotettu tuotto on talouden toimijan kannalta positiivinen ja suurempi tuoton vaihtelu negatiivinen asia. Käsitteet ”riski” ja ”tuoton varianssi” ovat taloustieteessä hyvin lähellä toisiaan. [23].

Taloudellinen riskinhallinta tarkoittaa juuri tuoton tai ansioiden vaihtelun pienentämistä erilaisten taloudellisten menettelytapojen avulla. Useimmiten tuoton hajontaa pienennettäessä joudutaan valitsemaan myös jonkin verran pienempi odotettu tuotto - esimerkiksi vakuutusmaksut ovat korkeammat kuin odotetut vakuutuskorvaukset. Korkeampaan tuottoon ja matalampaan riskiin liittyykin aina valintatilanne, jonka ratkaisun määrittää toimijan suhtautuminen riskiin.

Sääriskille on erilaisia suojautumiskeinoja. Esimerkiksi maanviljelijä voi valita vähemmän sääherkkiä viljelylajikkeita. Sääriskiä lieventävät suojautumistoimet ovat mahdollisia melkein kaikilla toimialoilla. Yleiset taloudelliset riskienhallintakeinot pitävät suojautumisen lisäksi sisällään taloudellisen toiminnan hajauttamista, vakuutus- ja johdannaissovimuksien käyttämistä sekä erilaisia yhteiskuntasopimuksia.

#### Hajauttaminen

Hajauttamisella pyritään vähentämään ansioiden tai tuottojen hajontaa. Sääriskin osalta tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että pyritään valitsemaan sellaisia sijoituskohteita, joihin sääilmiöt vaikuttavat mahdollisimman eri lailla tai joihin vaikuttavat mahdollisimman eri ilmiöt. Ensimmäistä vaihtoehtoa kutsutaan toimintojen hajauttamiseksi ja toista maantieteelliseksi hajauttamiseksi. Ansioita voidaan hajauttaa myös ajallisesti, mikä tarkoittaa käytännössä kulutuksen tasottamista huonojen ja hyvien aikojen välillä – säästetään pahan päivän varalle. Ajallisen hajauttamisen tekee haastavaksi ero lainananto- ja lainanottokoroissa; lainanotto on kalliimpaa kuin säästäminen tuottavaa. Tästä erosta johtuen ajallinen hajauttaminen voi olla jopa mahdotonta. [24]

Toimintojen hajauttamisella tarkoitetaan sitä, että pyritään valitsemaan sellaisia toimintoja tai sijoituskohteita, joissa sään aiheuttamat vahingot korreloivat keskenään joko vähän tai negatiivisesti. Esimerkiksi eri viljelykasvien sadot voivat reagoida eri tavalla sateiseen kesään – joidenkin kasvien sadot saattavat parantua ja toisten huonontua. Sellaisia toimintoja voi kuitenkin olla vaikea löytää, joiden tuotot reagoisivat merkittävästi eri lailla sääilmiöihin; lähes kaikki ääri-ilmiöiden aiheuttamat vaikutukset ovat negatiivisia liiketoiminnasta riippumatta. Lisäksi valinta erikoistumisen ja hajauttamisen välillä on usein valinta tuoton suuremman odotusarvon tai pienemmän hajonnan välillä. Runsaasti hajauttamalla joudutaan luopumaan erikoistumisen eduista, joita voivat olla mm. parempi tietotaso tietyssä tuotannossa tai suurtuotannon edut alenevien yksikkökustannusten ansiosta. [25]

Tuotannon tai sijoitusten maantieteellinen hajauttaminen perustuu sääilmiöiden paikallisuuteen. Sääilmiöt voivat aiheuttaa merkittäviä vahinkoja jonkin tietyn alueen sisällä, mutta olla kokonaan vaikuttamatta toisella alueella saatuihin tuottoihin. Maantieteellinen hajauttaminen tarkoittaa siis joko yritysten omistusta tai yrittämistä useissa eri sijainneissa. Tuotantopaikkojen tulee olla tarpeeksi etäällä toisistaan, etteivät sääilmiöt vaikuta niihin samanaikaisesti ja aiheuta positiivista riippuvuutta tuottojen välillä.

#### Vakuutukset

Sääriskiä vastaan saattaa olla mahdollista ottaa vakuutus riippuen siitä, minkälaisia vakuutuksia eri markkinoilla on tarjolla. Esimerkkejä löytyy yksityisen sektorin tarjoamista vakuutuksista – esimerkiksi liikennevakuutus

korvaa myös huonon sään aiheuttamat kolarivahingot – tai valtion tarjoamista vakuutuksista, joihin kuuluu useissa maissa esimerkiksi satovakuutukset. Vakuutus tarkoittaa käytännössä vakuutusmaksun maksamista epävarmojen, mutta mahdollisesti suurten kustannusten välttämiseksi. Yksityiseltä sektorilta otetun vakuutuksen odotettu tuotto on lähes aina negatiivinen. Vakuutuksenantaja asettaa vakuutusmaksut sen mukaan, että niillä voi maksaa kaikki korvaukset, oman liiketoiminnan kustannukset sekä tietyn voitto-osuuden omistajilleen. [24, s. 278] Tosin jotkin valtioiden tarjoamat vakuutukset voivat olla myös vastikkeettomia tai realistista markkinahintaa edullisempia, jolloin kyseessä on oikeastaan valtion myöntämä tuki tietyille sektorille. [26]

## **Sääjohdannaiset**

Sääjohdannaisten ajatuksena on toteutuneiden tuhojen sijaan suojautua tuhoja aiheuttavilta ilmiöiltä. Itse vahingot voivat olla vaikeasti määriteltäviä ja usein vakuutuksenottaja voi itse omalla toiminnallaan vaikuttaa vahingon laajuuteen. Sääjohdannaisista saadut korvaukset eivät ole riippuvaisia toteutuneista tuhoista vaan sopimuksessa määritellyistä ilmiöistä, jotka tuhoja aiheuttavat. Sääjohdannaisten ostaja saa korvauksen sopimuksessa määrytyneiden ilmiöiden toteutumisesta – riippumatta vahinkojen syntymisestä tai laajuudesta. Tämä tarkoittaa sitä, ettei sääilmion aiheuttamia tuhoja tarvitse laskea tai todistaa, vaan voidaan käyttää helpommin todennettavissa olevia mittareita, kuten lämpötilaa tai sateenmäärää. [27]

Indeksi-pohjaisten johdannaisten suurin etu verrattuna vakuutuksiin on niiden neutraalius vakuutuksenottajan toimia kohtaan [24]. Niiden avulla voidaan tehokkaasti välttyä virheellisen valikoitumisen ja moraalikadon ongelmilta. Virheellinen valikoituminen tarkoittaa sitä, että vakuutuksenottajiksi valikoituu helposti vain kaikista riskillisimpiä toimijoita, mikä pakottaa vakuutusyhtiöt nostamaan vakuutusmaksuja niiden altistuessa yhä suuremmille riskeille [28]. Moraalikato tarkoittaa sitä, että vakuutuksenottajat saattavat laiminlyödä normaaleja suojautumistapoja tai harjoittaa riskillisempää liiketoimintaa vakuutuksen otettuaan [29]. Sateenmäärään tai keskilämpötilaa vakuutuksenottaja ei voi kuitenkaan toimillaan manipuloida. Toisaalta ongelmaksi voi muodostua se, ettei korvaus välttämättä vastaa tuhojen määrää. Tätä riskiä, jolle johdannaisten ostaja altistuu, kutsutaan basis-riskiksi.

## **Yhteiskuntasopimukset**

Modernissa yhteiskunnassa osa päätöksistä tehdään poliittisella tasolla ja osa markkinoiden tasolla. Näin ihmiset voivat vaikuttaa päätöksiin taloudellisten panostusten lisäksi myös äänestämällä. Suurimmassa osassa kehittyneistä yhteiskunnista äänestäjät ovat päättäneet, että valtion tehtävä on tarjota heikoimmassa taloudellisessa asemassa oleville jonkinlainen turva. Erityisesti Pohjoismaissa sosiaaliturvalla on vahvat perinteet. Ihmisten äänestämällä aikaansaamat yhteiskuntasopimukset voidaan laskea taloudelliseksi riskinhallintakeinoiksi; näihin sisältyy muun muassa työttömyysturva, yleiset terveydenhuoltopalvelut ja valtion tarjoama katastrofiapu. Esimerkiksi maanviljelijä, joka menettää satonsa ja ansionsa muiden riskinhallintakeinojen pettäessä, voi edelleen saada toimeentulotukea sosiaaliturvan ansiosta.

## Viitteet

1. Maa- ja metsätalousministeriö. 2005. Kansallinen ilmastonmuutoksen sopeutumisstrategia, MMM julkaisu 1/2005. [http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/5entWjJli/MMMjulkaisu2005\\_1.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/5entWjJli/MMMjulkaisu2005_1.pdf)
2. Carter, T. (toim.) 2007, Suomen kyky sopeutua ilmastonmuutokseen: FINADAPT Yhteenveto päätäjille, Suomen Ympäristö 1/2007, SYKE. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=227529&lan=en&clan=en>
3. Perrels, A., Rajala, R. & Honkatukia, J. 2005. Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland. FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs, Helsinki, 27 pp. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=45371&lan=en>
4. Perrels, A., Veijalainen, N., Jylhä, K., Aaltonen, J., Molarius, R., Porthin, M., Silander, J., Rosqvist, T., Tuovinen, T., Carter, T. & Fronzek, S. 2010. The Implications of Climate Change for Extreme Weather Events and their Socio-economic Consequences in Finland. VATT Research report 158, 157 pp. [http://www.vatt.fi/en/publications/latestPublications/publication/Publication\\_1345\\_id/860](http://www.vatt.fi/en/publications/latestPublications/publication/Publication_1345_id/860)
5. Okuyama, Y. 2010. Critical Review of Methodologies of Disaster Impact Estimation. World Bank NHUD 2010.
6. Virta, H., Rosqvist, T., Simola, A., Perrels, A., Molarius, R., Luomaranta, A. & Honkatukia J. 2011. Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän riskienhallinnan kustannus-hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa. IRTORISKI-hankkeen loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/26744>
7. Leiter, A., Oberhofer, H. & Raschky, P. 2009. Creative Disasters? Flooding effects on Capital, Labour, and Productivity within European Firms. *Environmental and Resource Economics* 43: 333-350.
8. Kuik, O., Buchner, B., Catenacci, M., Gorla, A., Karakaya, E. & Tol, R. 2011. Methodological aspects of recent climate change damage cost studies. *Integrated Assessment Journal* 8(1): 19–40.
9. Hakala, K., Hannukkala, A.O., Huusola-Veistola, E., Jalli, M. & Peltonen-Sainio, P. 2011. Pests and diseases in a changing climate – a major challenge for Finnish crop production. *Agriculture and Food Science* 20: 3-14.
10. Vapaavuori, E. 2011. Metsäekosysteemin toiminta ja metsien käyttö muuttuvassa ilmastossa – tutkimusohjelma METLA 2007–2011. Esitys ISTO loppuseminaarissa [http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutuminen/5wByZ32JG/Elina\\_Vapaavuori\\_ISTO-paatosseminaaari.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/sopeutuminen/5wByZ32JG/Elina_Vapaavuori_ISTO-paatosseminaaari.pdf)
11. Peltonen-Sainio, P., Lauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season – changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agriculture and Food Science* 18: 171-190
12. Carter, T. & Kankaanpää, S. (julkaisematon). Implications of International Climate Change Impacts for Finland (IMPLIFIN). Final Report to the Ministry of the Environment, Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki (in preparation).
13. The World Bank / United Nations. 2011. Natural Hazards, Unnatural Disasters - The Economics of Effective Prevention, World Bank, Washington D.C. <http://www.gfdrr.org/gfdrr/node/281>
14. Ciscar, J.C., Iglesias, A., Feyen, L., Goodess, C.M., Szabó, L., Christensen, O.B., Nicholls, R., Amelung, B., Watkiss, P., Bosello, F., Dankers, R., Garrote, L., Hunt, A., Horrocks, L., Moneo, M., Moreno, A., Pye, S., Quiroga, S., van Regemorter, D., Richards, J. & Roson, R., Soria, A. 2009. Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project. 114 s.
15. [www.climatecost.cc/](http://www.climatecost.cc/)
16. Feyen L. & Dankers R. 2010. River flood assessment. Teoksessa *Climate change impacts in Europe – Final*

- report of the PESETA research project. Toim. Ciscar J-C. 114 s.
17. Michelsson, Rasmus & Saari, Arto 2009. Tulvava-hinkojen korjauskustannukset, TKK-Rakenne ja rakennustuotantotekniikan julkaisu B14. Espoo.
  18. Koivumäki, L., Alho, P., Lotsari, E., Käyhkö, J., Saari, A. & Hyypä, H. (2010). Uncertainties in flood risk mapping: an insight into estimating building damages. *Journal of Flood Risk Management* 3 (2): 166-183. DOI:10.1111/j.1753-318X.2010.01064.x
  19. <http://ewent.vtt.fi>
  20. Berrittella, M., Bigano, A., Roson, R. & Tol, R.S.J. 2006. A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism. *Tourist management* 27: 913-924
  21. [www.ymparisto.fi/syke/vaccia](http://www.ymparisto.fi/syke/vaccia)
  22. Hulme, P. E., Pysek, P., Nentwig, W. & Vilà, M. 2009. Will Threat of Biological Invasions Unite the European Union? *Science* 324: 40-41.
  23. Markowitz, H. 1952. Portfolio selection. *The Journal of Finance* 7(1): 77-91
  24. Hardaker, J.B, Huirne, R.B.M, Anderson, J.R, Lien, G. 2004. *Coping with risk in agriculture*, Cabi publishing 2004.
  25. Rosenzweig, M. R. & Binswanger, H. P. 1993. Wealth, Weather risk and the com-position and profitability of agricultural investments. *The Economic Journal* 103: 56-78
  26. Priest, G. L. 1996. The Government, the Market, and the problem of catastrophic loss. *Journal of Risk and Uncertainty* 12: 219-237.
  27. Turvey, C. G. 2001. Weather derivatives for specific event risks in agriculture. *Review of agricultural economics* 23(2): 333-351.
  28. Akerlof, G. A. 1970. The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics* 84(3): 488-500
  29. Holmstrom, B. 1979. Moral hazard and observability. *The Bell Journal of Economics* 1: 74-91



## 5.4 Ilmastomuutoksen ja siihen sopeutumisen sosiaaliset vaikutukset

Rauno Sairinen

*Ilmastosopeutumisen tutkimuksessa näkökulmat ovat laventuneet vähitellen myös sosiaalisiin ja kulttuurisiin vaikutuksiin, joiden arviointiin sosiaalisten vaikutusten arvioinnin viitekehys (SVA) tarjoaa monia hyviä lähtökohtia. Ilmastomuutoksen sosiaalisissa vaikutuksissa on kyse siitä, miten luonnossa, luonnonvarojen käytössä ja yhdyskuntien infrastruktuurissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat ihmisten ja yhteisöjen arkeen, hyvinvointiin, elämäntapoihin, toimintaedellytyksiin ja kulttuuriin käytäntöihin. Sosiaaliset ja kulttuuriset tekijät – kuten yhteisön sosiaaliset verkostot, osallistuminen päätöksentekoon, arvot ja tottumukset – ovat tärkeitä sopeutumiskyvyn vahvistamisessa. Sopeutumiskyky on myös pääomaa, jonka ylläpitäminen ja kehittäminen ovat hyväksi riippumatta siitä, millaisena ilmastomuutoksen vaikutukset näyttäytyvät. Tietyn alueen väestön ilmastosopeutumisen tarpeita analysoidaan pohtimalla kokonaisuutta, johon kuuluvat esimerkiksi liikkuminen, energia, viihtyisyys, maankäyttö, työ ja turvallisuus. Näin yhdistämällä ekologinen, sosiaalinen, taloudellinen ja kulttuurinen kestävyys linkittyvät toisiinsa.*

Ilmastomuutos on maailmanlaajuinen ilmiö, mutta sen vaikutukset koetaan paikallistasolla. Sopeutuminen paikallisyhteisöjen tasolla on erityisen tärkeää, sillä ilmastomuutoksen on arvioitu aiheuttavan ja voimistavan riskejä, joilla on toteutuessaan merkittäviä haitallisia vaikutuksia paikallisiin elinolosuhteisiin, talouteen, elinkeinoihin, turvallisuuteen, terveyteen tai jopa koko elämänmuotoon ja kulttuuriin [1]. Toisaalta menestyksensä ilmastosopeutumisen on arvioitu synnyttävän paikallisia ja monitasoisia mahdollisuuksia, joiden vaikutukset voivat näkyä nopeammin kuin hillintätoimet [2]. Tarvitaan siis tietoa ilmastomuutoksen ja siihen sopeutumisen paikallisista sosiaalisista vaikutuksista sekä haavoittuvista alueista ja yhteisöistä. On tärkeää ymmärtää, kuinka ilmastomuutoksen vaikutusten sekä yhteisöjen ja niiden hyvinvoinnin välinen dynamiikka toimii. Sosiaalista ja kulttuurista muutosdynamiikkaa avaava tieto ja ymmärrys luovat mahdollisuuksia yhteisöjen sopeutumiskykyä tukeville kestäville ratkaisuille.

Ilmastosopeutumisen kansainvälisessä kehittämistyössä ja tutkimuksessa näkökulmat ovat laventuneet ekologisista teknis-taloudellisiin haasteisiin ja vähitellen myös sosiaalisiin ja kulttuurisiin vaikutuksiin [3]. Alueellisesti sosiaalisia vaikutuksia koskevat tarkastelut kiinnittyivät aluksi eniten ranta- ja saarivaltioiden kohtaan sekä köyhien ja runsasväestöisten alueiden sopeutumiseen kuivuuden tai äärisääilmiöiden lisääntyessä. Sittenkin keskustelu on rantautunut myös vauraampien maiden tilanteisiin. Esimerkiksi Kanadassa, Australiassa ja Isossa-Britanniassa sosiaalista, yhteisöllistä ja paikallista tasoa pohditaan sopeutumisessa jo monin tavoin [4,5,6].

Suomessa ilmastosopeutumisen sosiaalisia, yhteisöllisiä ja kulttuurisia vaikutuksia on selvitetty toistaiseksi hyvin vähän. ISTO-ohjelman yhdessä hankkeessa tarkasteltiin ilmastomuutoksen ja ilmastomuutoksen sopeutumistoi-  
mien vaikutuksia maaseudun hyvinvointiin ja paikallisyhteisöihin Varsinais-Suomessa [7]. Tarkastelun tavoitteena oli ilmastomuutokseen liittyvien sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten ennakointi ja jäsentely sekä asiaa koskevien eri toimijoiden ja sopeutumiskeinojen hahmottaminen. Kohteena olivat sekä maaseudun maankäyttöön että luonnonvarojen käyttöön liittyvät muutokset sekä näiden muutosten vaikutukset maaseudun yhteisöjen olosuhteisiin. Empiirinen tutkimusaineisto nojasi alueen asiantuntijoista koostuvaan argumentoivaan delfoi-paneeliin.

Sosiaalisten vaikutusten arvioinnin viitekehys (SVA) tarjoaa monia hyviä lähtökohtia ilmastomuutoksen ja sen sopeutumistoi-  
mien vaikutusten arviointiin [8,9,10]. Ilmastomuutoksen sosiaalisissa vaikutuksissa on

kyse siitä, miten luonnossa, luonnonvarojen käytössä ja yhdyskuntien infrastruktuurissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat ihmisten ja yhteisöjen arkeen, hyvinvointiin, elämäntapoihin, toimintaedellytyksiin ja kulttuuriin käytäntöihin. Vaikutukset voivat olla niin myönteisiä kuin kielteisiäkin ja ne voivat näkyä muun muassa varallisuuden, elämänlaadun ja asenteiden muutoksina tai myös paikallisina konflikteina [11,12]. SVA:ta käytetään yleensä ympäristöä muuttavan hankkeen, suunnitelman tai strategian toimeenpanon seurausten ennakoarviointiin [12]. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia arvioitaessa kohteena on ilmiö, jota ei haluta, mutta joka etenee vahvasti ihmisen vaikutuksesta. Ilmiölle on ominaista vaikea ennustettavuus ja sitä koskevassa politiikassa ristiriitaiset näkemykset sen vaikutuksista ja tarvittavista toimenpiteistä.

SVA-kehys ei tarjoa tiettyä metodia tai formaalista mallia, vaan kysymys on tämän lähestymistavan yleisestä hyödyntämisestä ja yhdistämisestä tulevaisuutta ennakoivan tutkimuksen kehykseksi. SVA:sta hyödynnetään erityisesti seuraavanlaisia tietoja: vaikutusteemojen ja osallisten tunnistaminen, paikallisten toimijoiden omien kokemusten ja tietojen hyödyntäminen, vaikutusmekanismien analyysi, haavoittuvien ryhmien ja alueiden kartoitus sekä vaikutusten minimoinnin suunnittelu ja sopeutumisen yhteisöllisten mekanismien tunnistaminen. Sosiaalisia ja kulttuurisia vaikutuksia tarkasteltaessa huomio kohdistuu yksilöiden sijaan yhteisöihin, väestöryhmiin ja alueisiin. Vaikutuksen kohteena voivat olla muutkin kuin paikalliset yhteisöt, kuten esimerkiksi loma-asukkaat, matkailijat, ulkopuolelta tulevat retkeilijät tai työyhteisöt [8]. Tällainen arviointi auttaa ymmärtämään ja ennakoimaan tulevia riski-ilmiöitä, niiden vaikutuksia erilaisiin yhteisöihin, hallintoon ja paikalliseen kehitykseen sekä luo mahdollisuuksia haittojen vähentämiseen. SVA:ta on sovellettu aiemminkin luonnonkatastrofien vaikutusten ennakoinnissa [10].

Ilmastonmuutoksen ja siihen sopeutumisen sosiaalisten ja kulttuuristen vaikutusten arvioinnin tekee haastavaksi se, että ilmastonmuutos on hitaasti etenevä ilmiö, jonka aiheuttamat vaikutukset ovat kumulatiivisia ja riippuvat muista yhteiskunnallisista muutosprosesseista ja syntyvät pitkän ajan kuluessa. Lisäksi vaikutukset näkyvät ja tuntuvat yksittäisinä tapahtumina ja luonnonmullistuksina [13].

## Haavoittuvuus

Haavoittuvuuden käsitteellä kuvataan niitä tekijöitä, joiden johdosta ilmastonmuutoksen vaikutukset koetaan tietyillä alueilla ja tietyissä väestöryhmissä muita voimakkaammin. Käsitteen avulla voidaan tunnistaa niitä yhteisöjä ja väestöryhmiä, jotka potentiaalisesti kärsivät muita enemmän. IPCC on määritellyt haavoittuvuuden ilmastonmuutoksen yhteydessä seuraavasti: "...kuinka paljon systeemi on altis epäedullisille vaikutuksille ja kykenemätön selviytymään näiden vaikutusten kanssa" [13]. Mitä enemmän systeemi, esimerkiksi yhteisö, altistuu ilmastonvaihteluille ja mitä herkempi se on niille, sitä haavoittuvampi se myös on [14]. Haavoittuvuus liittyy siis kykyyn tulla toimeen, palautua tai sopeutua ulkopuolelta tulevaan stressiin [15,16]. Haavoittuvuuteen vaikuttavat altistumisen määrä, herkkyys vaikutuksille ja sopeutumiskyky [15,14].

Sosiaalisissa vaikutuksissa tulee aina ottaa huomioon eri väestöryhmien asema. Ilmastovaikutusten osalta yksi keskeinen eteen nouseva kysymys on, ketkä hyötyvät ja ketkä kärsivät. Kuka on huono-osainen tai haavoittuva? Voidaanko niin oikeastaan edes kysyä? Onko hyväosaisia ilmastonmuutoksen edessä lainkaan muutoin kuin hetkellisesti katsottuna? [7]. Haavoittuvuus-käsitteen kautta päästään käsittelemään ilmastonmuutoksen vaikutuksia eri tilanteissa oleviin ihmisiin ja yhteisöihin. Haavoittuvien väestöryhmien voi olla vaikea saada käyttöönsä sopeutumiskykyä vahvistavia resursseja, kuten riittävää toimeentuloa tai koulutusta [17]. Toisaalta riippuvuus ilmastonmuutoksen eri vaikutuksille herkistä elinkeinoista ja sijainneista voi aiheuttaa toimeentulolle kestävämpiä heilahteluja, varsinkin jos sopeutumista helpottavat puskurit puuttuvat.

Riippuvuus poliittisista tai taloudellisista rakenteista voi lisätä paikallistason haavoittuvuutta, koska tällöin yhteisöjen oma vaikutusvalta ja kyky vastata riskeihin paikallisesti vähenevät [1]. Paikallisyhteisöjen on kyettävä ymmärtämään yhteys ilmastonmuutoksen ja paikallisten seurausten välillä, jotta riski pystytään

kokemaan konkreettisesti ja jotta siihen kyetään paikallisesti vastaamaan. Haavoittuvia yhteisöjä voivat olla esimerkiksi ne, jotka ovat riippuvaisia ilmasto-olosuhteille herkistä elinkeinoista [1]. Haavoittuvuus voi johtua myös yhteisön heikosta riskinhallintakyvystä, kuten vähäisistä resursseista tai asiantuntemuksen puutteesta. Myös taloudellisesti heikko asema voi lisätä haavoittuvuutta tai ainakin vaikeuttaa sen vähentämistä [18].

Suomalaisessa sosiaalisia vaikutuksia käsittelevässä selvityksessä [7] avattiin mm. tulvariskeihin liittyviä sosiaalisia riskejä ja haavoittuvuutta. Sosiaalisesta näkökulmasta tarkasteltuna tulvariskeihin varautuminen on tärkeää haavoittuvien väestöryhmien, kuten lasten, vanhusten, syrjäseutujen asukkaiden, varattomien ja pitkäaikaissairaiden osalta. Syrjäseutujen asukkaiden haavoittuvuutta voi lisätä sosiaalisten verkostojen puute: lähellä ei ole ketään, joka huomaisi avuntarpeen. Lisäksi esimerkiksi ikääntyneen voi olla vaikea päästä liikkumaan pois syrjäseuduilta kriisitilanteessa. Haavoittuvia ovat myös ne, joiden elinkeinot voivat kärsiä tulvista. Elinkeinolle ja toimeentulolle voi aiheutua mittavia haittoja, jos pellot, majoituspaikat, liiketilat tai varastot sijaitsevat tulvariskialueella ja jäävät tulvien alle. Haavoittuvuuden vähentämiseksi on siis tärkeää tietää, millainen väestöllinen, sosiaalinen ja elinkeinoja koskeva rakenne riskialueilla on. On myös mahdollista, ettei tulvariskiä pidetä todellisena, jolloin tulvasuojelusta tai vakuuttamisesta huolehtiminen jää hoitamatta. Lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna tämä tuottaa säästöjä, mutta voi olla kallista riskien toteutuessa. Toisaalta todetuilla tulvariskialueilla sijaitsevien kiinteistöjen myyminen voi osoittautua hankalaksi. Seurauksena voi olla tulvariskialueiden voimakkaampi ikääntyminen ja tältä osin haavoittuvuuden voimistuminen [13,19,20].

## Sopeutumiskyky

Eri alueilla ja kohderyhmillä on erilainen kyky sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin eli erilainen sopeutumiskyky [14,21]. Osa yhteisöjen ja alueiden sopeutumiskykyyn vaikuttavista tekijöistä johtuu paikallisista seikoista, osa yleisemmistä yhteiskunnallisista tekijöistä [14]. Sopeutumispolitiikan kehittämisessä olennaisia ovat kysymykset sopeutumiskyvystä ja sopeutumiskapasiteetista sekä niiden mahdollisesta vahvistamisesta paikallistasolla ja paikallisyhteisöissä.

Sopeutuminen voidaan jakaa omaehtoiseen ja suunniteltuun sopeutumiseen. Omaehtoisella eli autonomisella sopeutumisella tarkoitetaan yleensä yksityisten tahojen sopeutumista ilman päätöksentekojärjestelmien tukea. Autonomista sopeutumista käynnistävät etenkin maa- ja metsätaloussektorilla äärimmäiset ja vaihtelevat ilmasto-olosuhteet [22]. Reaktiivinen ja ennakoiva sopeutuminen ovat suunniteltua sopeutumista. Reaktiivisen sopeutumisen voi laukaista ilmastoperäinen vaara tai onnettomuus, jonka johdosta käynnistetään mahdollisesti jo ennalta suunniteltuja palautumis- ja ehkäisemistoimenpiteitä. Ennakoivalla sopeutumisella tarkoitetaan sen sijaan sopeutumistoimenpiteiden suunnittelua ja toteuttamista etukäteen [21].

Ennakoiva sopeutuminen tarkoittaa sekä sopeutumiskyvyn vahvistamista että ennakoivien sopeutumistoimien toteuttamista. Sopeutumiskyvyn vahvistamisessa on kyse sellaisten olosuhteiden luomisesta, joita tarvitaan sopeutumistoimien toteuttamista varten. Joitain sopeutumiskyvyn ulottuvuuksia voidaan pitää yleisinä, kuten taloudellisia ja teknologisia resursseja, tiedon saatavuutta ja käytettävyyttä, infrastruktuuria, instituutioiden roolia ja oikeudenmukaisuutta [22]. Vaikka taloudellisilla ja teknologisilla tekijöillä on oma merkityksensä, myös sosiaaliset ja kulttuuriset tekijät – kuten yhteisön sosiaaliset verkostot, osallistuminen päätöksentekoon, arvot ja tottumukset – ovat tärkeitä sopeutumiskyvyn vahvistamisessa [21].

Sopeutumistoimet ovat sopeutumiskyvyn muuttamista käytännön toimenpiteiksi eli konkreettisia toimenpiteitä haavoittuvuuden vähentämiseksi tai ilmastonmuutoksen vaikutusten hyödyntämiseksi. Toimilla keskitytään ilmastonmuutoksen kumulatiivisten vaikutusten vähentämiseen [23,14,2]. Toisin sanoen, mitä parempi sopeutumiskyky yhteisöllä tai alueella on ja mitä paremmin sopeutumistoimien toteuttamisessa onnistutaan, sitä vähemmän haavoittuva se on ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Sopeutumiskyvyn parantaminen voidaan

nähdä eräänlaisena pääomana, jonka ylläpitäminen ja kehittäminen ovat hyväksi huolimatta siitä, millaisena ilmastonmuutoksen vaikutukset näyttäytyvät.

## **Yhteisöjen muuttuvat identiteetit, ilmastopelot ja turvallisuus**

Yhtenä ilmastonmuutoksen sosiaalisena ja kulttuurisena haasteena voidaan nähdä kysymykset paikallisyhteisöjen identiteetistä ja sen haavoittuvuudesta [24]. Suomessa esille ovat nousseet mm. saariston ja sitä kautta samalla saaristolaisen ja saaristolaisuuden tuleva asema [3,7] sekä vastaavasti Pohjois-Suomessa saamelaisen tilanne ilmastonmuutosten myötä.

Huoli ja koetut vaikeudet voivat nostaa yhteisiä protesteja tai jopa kansanliikkeitä. Ilmastonmuutos synnyttää tulevaisuudessa aivan varmasti luonnon ja ympäristön muutoksia, vaikutuksia ja politiikkatoimia, jotka koetaan paikallistasolla hyvin ikävinä ja joita vastustetaan yhteisöllisesti. Saaristossa vaikeita kysymyksiä ovat jo nykyisin, kuinka saaret pidetään asuttuina, kuinka kulkeminen ja palvelut pidetään yllä talviaikana, mihin turistialueet sijoitetaan tai miten rakentamista ohjataan. Ilmastokysymykset voivat tuoda osaan näistä kysymyksistä helpotusta, osaan lisää vaikeuksia.

Sään ääri-ilmiöiden, kuten vahinkoa aiheuttavien tuulien ja helleaaltojen, voimistuessa tai yleistyessä palataan peruskysymyksiin siitä, miten selvittää luonnon voimien kanssa ja kuinka nykyinen teknologiasta ja sähköstä riippuvainen elämäntapamme sopeutuu muutoksiin. Viime vuosina Suomessa on sekä kesäisten rajuilmojen että talvimyrskyjen vuoksi jo jouduttu evakuoimaan mm. vanhuksia maaseudulta taajamiin, kun sähköverkot ovat rikkoutuneet pitemmäksi aikaa. Luonto saattaa muuttua myös vaikeammin lähestyttäväksi. Esimerkiksi maaseudulla talvien lumettomuuden vuoksi syksyn harmaus, pimeys ja loskaisuus kestävät entistä pidempään. Tämä voi merkitä muutoksia ihmisten liikkumistavoissa, yhteisöllisyydessä ja terveydessä.

Tieto ilmastonmuutokseen liittyvistä riskeistä tulevaisuudessa sekä konkreettiset kokemukset luonnonkatastrofeista vähentävät monin tavoin ihmisten turvallisuuden tunnetta. Ilmiön globaalit mittasuhteet herättävät ihmisissä pelkoa ja epävarmuutta tulevaisuuden kehityksestä. Psykologisesta näkökulmasta tarkasteltuna uhkakuvat eivät voi olla järkyttämättä maailmankuvaamme ja vaikuttamatta perusturvallisuuden tuntee-seemme. Välimäki ja Lehtonen [25] ovat todenneet, että "tähän kytkeytyy yksityisen ihmisen olemassaolon ja merkityksen tuhoutumisen ahdistus. ... Näin suurta ahdistusta ihminen on altis käsittelemään sitä aiheuttavien tosiasioiden eriaisteisella, ei-tiedostetulla psykologisella kieltämisellä. Kieltämisestä seuraa, että ahdistusta synnyttävät tosiasiat eivät enää ole ihmiselle olemassa. ... Lievemässä muodossa ahdistavien tosiasioiden psykologinen torjuminen yleensä, myös ilmastokysymyksen kohdalla, ilmenee tosiasioiden kiistämisenä tai niiden merkityksen vähätteleminenä." Nämä uhkien psykologiset käsittelytavat ovat sinänsä ymmärrettäviä, mutta ne saattavat johtaa passiiviseen sivustakatsomisen ja heikkoon motivaatioon toimia. Välimäki ja Lehtonen korostavat, että vain yhteishengen ja yhteisöllisen vastuunoton kautta voidaan luoda uskottavia toimintatapoja.

Konkreettisiin turvallisuusriskeihin liittyvät puolestaan tärkeänä kysymyksenä aiheutuvien vahinkojen korvausvastuu ja vastuunjako. Kuka on vastuussa toteutuneiden vahinkojen korvaamisesta ja ennakoituvuudesta (esim. ennakoivista tulvasuojelutoimista). Kenen maksettavaksi kuuluvat kustannukset tulvahaitoista: kunnalle, joka on päättänyt sijoittaa asutusta tulvavaara-alueelle ja myöntänyt rakennus- ja poikkeuslupia; kiinteistön omistajalle, jonka olisi pitänyt ottaa riskeistä selvää; vakuutusyhtiölle vai jollekin muulle taholle?

## **Ilmastosopeutumisen hallinta ja toimijuus**

Ilmastosopeutumisen yhteisöllistä hallintaa ja toimijuutta koskevassa tutkimuksessa keskeinen kysymys on ketkä ovat nämä toimijat, miten ne toimivat eri aluetasoilla ja kuinka toiminnot kytkeytyvät yhteen. Kenelle

ongelmatilanteissa kuuluu toimintavastuu? Sosiaalisen kanssakäymisen arvo on siinä, että se ylläpitää resursseja, joiden olemassaolo on tärkeää poikkeustilanteissa. Ilmastomuutoksen sopeutumis- ja hillintäpolitiikat pyrkivät usein muuttamaan ihmisten ja yhteisöjen toimintatapoja ja elämäntyyliä. Tämä haastaa yhteisöjen käsityksiä nykyisestä kulttuuristaan [26]. Yhteisöt pyrkivät nimitäin vastustamaan muutoksia, joiden katsotaan olevan uhka niiden totutulle toimintatavalla. Esimerkiksi on kulttuurisesti jaettu malleja, jotka määrittelevät kuinka maalla ja kaupungissa asutaan ja rakennetaan. Jos nämä tavat ja arvot tulevat uhatuiksi, saatetaan kokea, että ollaan puuttumassa yhteisölle tärkeisiin asioihin. Sopeutumispolitiikan toimivuus edellyttääkin usein huomiota hyväksynnän rakentamiseen. Ennakoivan toiminnan synnyttäminen on aina haasteellista. Jotta yhteisöt aktivoituisivat siihen, tarvitaan soveltuvan ilmastotiedon lisäksi konkreettista ymmärrystä riskien ja uhkien sisällöistä oman arjen kannalta.

Ilmastosopeutumista koskevassa sosiaali- ja politiikkatieteellisessä tutkimuksessa on maailmalla korostunut paikallisyhteisön kulttuurin ja huomioonottamisen tärkeys ilmastotoimenpiteitä suunniteltaessa. Näin voidaan löytää yhteisesti hyväksytyjä tapoja sopeutua muutoksiin, sitouttaa yhteisön jäseniä tarvittaviin toimenpiteisiin, pystytään hyödyntämään yhteisössä jo olemassa olevia resursseja paremmin sekä pystytään vastaamaan yhteisön todellisiin tarpeisiin. Yhteiseksi koettu uhka voi toisaalta lisätä yhteenkuuluvuuden tunnetta ja sitä kautta yhdessä toimimista [26]. Tosin tällainen yhteisöllisyys ei välttämättä ole pysyvää. Kun tavoite on saavutettu, yhteisöllisyys saattaa purkautua [27]. Sitä mukaa kun rutiineja rikkovat ja poikkeustilanteisiin johtavat ilmastovaikutukset tuntuvat konkreettisina asioina arjessa, valtaavat turvallisuusasiat sekä niihin liittyvät uudet yhteisöllisyyden muodot enemmän alaa paikallisyhteisön piirissä (muun muassa sää- ja tapaturmayhteisöllisyys).

## **Tutkimustarpeet**

Ilmastomuutoksen vaikutuksien ja siihen sopeutumisen tarkastelu on laajentunut ja mukaan on tullut ihmisten ja yhteisöjen hyvinvointi, psyykinen ja terveysnäkökulma sekä myös turvallisuus, haavoittuvuus ja hyväksyttävyyys. Sosiaalisesti kestävä ilmastosopeutuminen tarkoittaa ihmisten tarpeiden ja tavoitteiden huomioonottamista eri sosiaalisissa asemissa ja eri alueilla, eri elämäntilanteissa ja erilaisissa yhteisöissä. On selvää, että meillä on tarvetta kytkeä ilmastopoliittinen, sosiaalipoliittinen ja psykologinen keskustelu paremmin toisiinsa. Ilmastosopeutumiseen liittyvät turvallisuuskysymykset on hyvä jakaa yhtäältä konkreettisiin paikallisiin turvallisuushkiin (esim. selviytyminen tulvissa ja myrskyissä) ja toisaalta yleisempään turvattomuuden kokemuksen kasvuun. Molempien osalta tarvitaan tutkimusta myös ihmisten kokemusten näkökulmasta.

Tutkimusta tarvitaan enemmän myös siitä, kuinka eri toimijat kytkeytyvät ilmastosopeutumiseen paikallisella ja alueellisella tasolla. Mikä on esimerkiksi kunnan eri toimijoiden lisäksi paikallisten asukas-, kylä- ja harrastusjärjestöjen tai seurakuntien rooli. Poikkisektorainen ja kokonaisvaltainen tarkastelu tarkoittaa pyrkimystä tehdä ajatus- ja toimintaketjuja asioiden välille. Tällöin tietyn alueen väestön ilmastosopeutumisen tarpeita analysoidaan pohtimalla kokonaisuutta, johon kuuluvat esimerkiksi liikkuminen, energia-asiat, viihtyisyys, maankäyttö, työ ja turvallisuus. Näin yhdistämällä ekologinen, sosiaalinen, taloudellinen ja kulttuurinen kestävyys linkittyvät toisiinsa.

## Viitteet

1. Davidson, D.J., Williamson, T., & Parkins, J.R. 2003. Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 2252–2261.
2. Stern, N. 2007. Understanding the Economics of Adaptation. Part V: Policy Responses for Adaptation. Teoksessa: Stern, Nicholas. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge.
3. Sairinen, R., Järvinen, S. & Kohl, J. 2010. Ilmastonmuutoksen ja siihen sopeutumisen sosiaalisen vaikutukset maaseudulla. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Social Science and Business Studies 1. Joensuu.
4. CANA 2006. Social Impacts of Climate Change. Saatavissa: <http://cana.net.au/socialimpacts/index.html>
5. Bizikova, L., Neale, T. & Burton, I. 2008. Canadian communities' guidebook for adaptation to climate change. Including an approach to generate mitigation co-benefits in the context of sustainable development. Environment Canada ja University of British Columbia. <http://www.forestry.ubc.ca/LinkClick.aspx?fileticket=xsexCSatHjo%3D&tabid=2455&mid=5415&language=en-US>.
6. UKCIP 2009. A local climate impacts profile: how to do an LCLIP. UKCIP, Oxford. Saatavissa: [http://www.ukcip.org.uk/images/stories/LCLIP/LCLIP\\_guidance.pdf](http://www.ukcip.org.uk/images/stories/LCLIP/LCLIP_guidance.pdf).
7. Sairinen, R., Kohl, J. & Järvinen, S. 2011. Ilmastonmuutoksen sosiaaliset ja kulttuuriset vaikutukset maaseudulla. *Maaseudun uusi aika* (2011)2: 39-54.
8. Burdge, R.J. & Vanclay, F. 2004. Sosiaalisten vaikutusten arvioinnin käytäntö ja tulevaisuus. Teoksessa: Sairinen, Rauno & Johanna Kohl (toim.). Ihminen ja ympäristön muutos. Sosiaalisten vaikutusten arvioinnin teoriaa ja käytäntöjä. Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskuksen julkaisuja B 87. TTK, Espoo. 41–65.
9. Benson, C. & Twigg, J. (with Rossetto, T.) 2007. Guidance Notes for Development Organisations. Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction (2007). The ProVention Consortium. [http://www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/tools\\_for\\_mainstreaming\\_DRR.pdf](http://www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/tools_for_mainstreaming_DRR.pdf)
10. Sairinen, R. 2009. Social Impact Assessment for Environmental Disaster Management. Teoksessa: Fra Paleo, Urbano (toim.). *Building Safer Communities. Risk Governance, Spatial Planning and Responses to Natural Hazards*. NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics. Vol. 58. IOS Press, Amsterdam. 137–147.
11. Juslén, J. 1995. Sosiaalisten vaikutusten arviointi. Monipuolisempaan suunnitteluun. Stakesin raportteja 180.
12. Sairinen, R. & Kohl, J. 2004. Sosiaalisten vaikutusten arviointi – tavoitteista konkreettiseen sisältöön. Teoksessa: Sairinen, Rauno & Johanna Kohl (toim.). Ihminen ja ympäristön muutos. Sosiaalisten vaikutusten arvioinnin teoriaa ja käytäntöjä. Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskuksen julkaisuja B 87. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. 9–40.
13. Schneider, S.H., Semenov, S., Patwardhan, A., Burton, I., Magadza, C.H.D., Oppenheimer, M., Pittock, A.B., Rahman, A., Smith, J.B., Suarez, A. & Yamin, F. 2007. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Teoksessa: Parry, Martin L., Osvaldo F. Canziani, Jean P. Palutikof, Paul J. van der Linden & Clair E. Hanson (toim.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 779–810.
14. Smit, B. & Wandel, J. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16(3): 282–292.
15. Kelly, P. M. & Adger, W.N. 2000. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and

- facilitating adaptation. *Climatic Change* 47(4): 325–352.
16. Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O. & Schipper, E.L. 2002. From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy* 2: 145–159.
  17. Adger, W.N. & Kelly, P.M. 1999. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4(3–4): 253–266.
  18. Heltberg, R., Siegel, P.B. & Jorgensen, S.L. 2009. Addressing human vulnerability to climate change: Toward a 'no-regrets' approach. *Global Environmental Change* 19(1): 89–99.
  19. Werritty, A., Houston, D., Ball, T., Tavendale, A. & Black, A. 2007. Exploring the Social Impacts of Flood Risk and Flooding in Scotland. Scottish Executive Social Research.
  20. Carroll, B., Morbey, H., Balogh, R. & Araoz, B. 2009. Flooded homes, broken bonds, the meaning of home, psychological processes and their impact on psychological health in a disaster. *Health and Place* 15(2): 540–547.
  21. Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit and K. Takahashi, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 717–743.
  22. Smit, Barry, Olga Pilifosova, Ian Burton, Brian Challengeter, Saleemul Huq, Richard J.T. Klein, Gary Yohe, Neil Adger, Thomas Downing, E. Harvey, Sally Kane, Martin Parry, Mark Skinner, Joel Smith & Johanna Wandel 2001. *Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity*. McCarthy, James J., Osvaldo F. Canziani, Neil A. Leary, David J. Dokken & Kasey S. White. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 877–912.
  23. Adger, N., Arnell, N.W., & Tompkins, E.L. 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change* 15(2): 77–86.
  24. Siivonen, K. 2008. Saaristoidentiteetit merkkien virtoina. Akateeminen väitöskirja. Kansatieteellinen arkisto 51. Helsinki.
  25. Välimäki, J. & Lehtonen, J. 2009. Ilmastonmuutoksen torjuntaan tarvitaan johtajuutta. *Kanava* 6: 341–344.
  26. Ensor, J. & Berger, R. 2009. Community-based adaptation and culture in theory and practice. Teoksessa: Adger, Neil, Irene Lorenzoni & Karen O'Brien (toim.). *Adapting to Climate Change. Thresholds, Values, Governance*. Cambridge University Press, Cambridge. 227–239.
  27. Kohl, J. 2008. Agoralla – avauksia ympäristöasiantuntijoiden vuorovaikutusprosesseista. Akateeminen väitöskirja. Valtiotieteellinen tiedekunta. Helsingin yliopisto, Helsinki.

## 5.5 Varoitusjärjestelmät

Reija Ruuhela ja Noora Veijalainen

*Ilmastonmuutoksen seurauksena vaaraa tai vahinkoa aiheuttavien säätilanteiden todennäköisyydet muuttuvat. Osana ilmastonmuutokseen varautumista on tarpeen kehittää ennakkovaroitusjärjestelmiä. Niiden tarkoituksena on paitsi varoittaa ennakolta vaaraa aiheuttavasta tilanteesta myös käynnistää toimia, jotka helpottavat tilanteesta selviytymistä ja pienentävät vahinkoja. Ilmatieteen laitos ja Suomen ympäristökeskus (SYKE) varoittavat sähän, meriin ja vesistöihin liittyvistä ilmiöistä. Varoituksia välitetään eri tiedotuskanavien kautta ja viranomaiset saavat varoituksia myös suoraan heille suunnatun järjestelmän avulla.*

### Säävaroitukset ja merelliset varoitukset

Ilmatieteen laitos on monipuolistanut kansalaisille suunnattuja sähän liittyviä varoituspalveluitaan. Perinteiset myrsky-, tuuli- ja metsäpalovaroitukset sekä liikennesää (varoitukset huonosta ajokelistä) ovat saaneet rinnalleen aallokko- ja merivedenkorkeusvaroituksia merialueille. Vuodesta 2011 alkaen on varoitettu myös helleaalloista ja kireästä pakkasesta niiden terveyshaittojen näkökulmasta. Rankkasateisiin ja kesäkauden rajuilmoihin liittyviä varoituksia on pystytty tarkentamaan viime vuosina kehittyneiden ennustemenetelmien avulla.

Säävaroitukset annetaan 24 tuntia ennen ennustetun tilanteen alkua ja ennakkovaroitukset 2-5 vuorokautta etukäteen<sup>29</sup>. Varoituksia välitetään muille viranomaisille myös Vaara-tiedotteiden avulla ja vastaavasti hätäkeskuksista välitetään tietoa sään aiheuttamista vahingoista lähes tosiaikaisesti Ilmatieteen laitoksen ympärivuorokautiseen sääpalveluun. Pelastusviranomaiset ja muut tiedotteiden käyttäjät kuten sähkölaitokset kokevat nämä varoituspalvelut toiminnan ennakkoinnin kannalta hyödyllisinä. Kuitenkin Onnettomuustutkintakeskuksen selvitys<sup>30</sup> toiminnasta kesän 2010 rajuilmojen yhteydessä osoittaa, että toimintatapoja on edelleen tarpeen kehittää, jotta säävaroitukset vaikuttaisivat riittävästi varautumiseen ja toimintaan käytännössä.

### Hydrologiset varoitukset

Ilmastonmuutokseen myötä lumioloiltaan epävakaisemmaksi muuttuvat talvet, lisääntyvät jokien hyydetulvat ja rankkasateiden ennakoitu kasvaminen vaikeuttavat tulviin varautumista, vaikka ilmastonmuutoksen vaikutuksesta vesistötulvat kasvavat vain osassa Suomea. Vesistötulvien osalta ilmastonmuutoksen vaikutuksiin voidaan sopeutua ennakkovaroitusjärjestelmien avulla. SYKEssä toimiva tulvien ennakkovaroitusjärjestelmä tuottaa vesistöennusteet ja tulvavaroitukset<sup>31</sup>. Vesistömallijärjestelmä tuottaa lisäksi vesistöaluesadantavaroituksia ja kattojen lumikuormavaroituksia<sup>32</sup>.

Muita varoitusten kaltaisia palveluita ovat muun muassa meri<sup>33</sup>- ja järviolueiden levätiedotteet<sup>33</sup>, ilmanlaadun seuranta<sup>35</sup> sekä Turun yliopiston aerobiologian työryhmän siitepölytiedotteet.

<sup>29</sup> <http://ilmatieteenlaitos.fi/varoitukset>

<sup>30</sup> Onnettomuustutkintakeskus tutkintaselostus S2/2010Y, Heinä-elokuun 2010 rajuilmat

<sup>31</sup> [www.ymparisto.fi/vesistoennusteet](http://www.ymparisto.fi/vesistoennusteet)

<sup>32</sup> [www.ymparisto.fi/kattojenlumikuorma](http://www.ymparisto.fi/kattojenlumikuorma)

<sup>33</sup> [http://www.itameriportaali.fi/fi/itamerynyt/levatilanne/fi\\_FI/levatiedotus/](http://www.itameriportaali.fi/fi/itamerynyt/levatilanne/fi_FI/levatiedotus/)

<sup>34</sup> <http://www.jarviviki.fi/wiki/Lev%C3%A4tilanne>

<sup>35</sup> [www.ilmanlaatu.fi](http://www.ilmanlaatu.fi)



## Luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmä

Ilmatieteen laitos ja SYKE välittävät sää- ja hydrologisia varoituksia viranomaisille myös Luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmän<sup>36</sup> (LUOVA) kautta. LUOVA on osa valtioneuvoston ja turvallisuusviranomaisten tilannekuvajärjestelmää ja sen kehittäminen on osa sekä valtioneuvoston hyväksymää toista Sisäisen turvallisuuden ohjelmaa että Valtioneuvoston yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisen strategiaa (YETTS). LUOVA-järjestelmään tuottaa tietoa myös Helsingin yliopiston seismologian instituutti.

---

<sup>36</sup> Luonnononnettomuuksien varoitusjärjestelmä. LUOVA-projekti 2008-2010. Loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 9/2011

## 5.6 Tutkimustiedon viestintää verkossa

Maria Holmberg ja Juha A. Karhu

*Sopeutumistutkimusten tuloksia on saatavilla myös verkkopalveluissa. ISTO-Finessiin on koottu yhdenmukaisessa muodossa ISTO-ohjelman hankkeiden tuloksia. Se on liitetty myös osaksi Ilmasto-opas.fi-portaalia, jossa ilmastonmuutokseen liittyviä teemoja käsitellään laajasti eri näkökulmista. Tutkimuslaitosten ja tutkimushankkeiden omilta verkkosivuilta löytyy myös sopeutumistutkimukseen liittyviä tietoja.*

Systemaattisimmin sopeutumistutkimusten tuloksia on koottu ja esitetty ISTO-ohjelman hankkeista. ISTO-Finessin<sup>37</sup> taulukkomuotoisessa käyttöliittymässä on kerrottu ohjelman eri projekteista perustiedot ja kuvattu tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä. Kunkin hankkeen tutkimusalueelta on kuvaus sopeutumisesta nykyilmastoon sekä esitetty arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja siihen sopeutumisesta. Taloudellisia, sosiaalisia ja sopeutumispolitiikkaan liittyviä arvioita on esitetty mahdollisuuksien mukaan.

Ilmasto-opas.fi-sivusto kokoaa yhteen osoitteeseen ja yhtenäiseen muotoon käytännönläheistä, tutkittua ja luotettavaa tietoa ilmastonmuutoksesta. Sivusto on kehitetty Ilmatieteen laitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Aalto-yliopiston Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskuksen yhteistyönä. Sivuston tarkoituksena on tukea yhteiskuntaa ja kansalaisia ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeutumisessa. Tavoitteena on, että ilmastonmuutostiedon tarvitsijat löytävät etsimänsä tiedon nopeasti ja helposti ja että suomalaiset tutkimuslaitokset, viranomaiset ja asiantuntijaorganisaatiot saavat ilmastonmuutostietonsa ja -palvelunsa entistä paremmin yhteiskunnan käyttöön. ISTO-Finessi on liitetty osaksi Ilmasto-opaan sopeutumiseen liittyvää osiota<sup>38</sup>.

---

<sup>37</sup> <http://www.finessi.info/ISTO/?lang=fi&page=overview>

<sup>38</sup> <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/sopeutuminen>

## 6 Yhteenveto: Tukijoiden arvio sopeutumistutkimuksen tasosta Suomessa

*Eri toimialoilla ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimus on hyvin erilaisissa vaiheissa. Maa- ja metsätaloudessa ja vesivarojen hallinnassa ollaan pisimmällä, kun taas monilla aloilla sää- ja ilmastoriippuvuutta ei tunneta riittävän hyvin vielä nykyisessäkään ilmastossa. Tutkijoiden käsityksen mukaan sopeutumistutkimusten tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää käytännön sopeutumistoimissa jo tähän mennessä saavutetun tiedon perusteella. Ilmastonmuutoksen suuruuteen tai sen vaikutuksiin liittyvän tieteellisen tiedon epävarmuuden ei tulisi olla esteenä käytännön toimien aloittamiselle. Sopeutumistoimet voivat tukea myös ilmaston vaihtelevuuteen varautumista sekä toimialan muita tavoitteita.*

Sopeutumistutkimuksen yhteenvedon tavoitteena oli – paitsi koota yhteen sopeutumistutkimuksen tuloksia – tehdä myös yhteismitallista poikkiteollista analyysiä eri toimialojen haavoittuvuudesta, kyvystä sopeutua muuttuvaan ilmastoon sekä taloudellisista vaikutuksista ja sopeutumistoimien kustannuksista ja hyödyistä. Työn edetessä tuli kuitenkin ilmeiseksi, että eri toimialoilla tutkimus on hyvin erilaisessa vaiheessa ja tähän mennessä tehdyn sopeutumistutkimuksen tavoitteet ja menetelmät ovat olleet niin erilaisia, että yhteismitallisen vertailun tekeminen ei tässä yhteydessä ollut mahdollista ja tarkoituksenmukaista.

Tulevaisuudessa uusien tutkimusohjelmien suunnittelussa voisikin jo alkuvaiheessa ottaa selkeämmin tavoitteeksi kokonaiskuvan muodostaminen suomalaisen yhteiskunnan sopeutumisesta muuttuvaan ilmastoon. Tämän tavoitteeseen saavuttamiseksi voitaisiin esimerkiksi sopia, miten ja millaisia ilmastonmuutoskennarioita tutkimushankkeissa käytettäisiin. Hankkeissa tulisi olla mahdollista tutkia laajasti monimutkaisia vuorovaikutuksia ja koko ketjua ilmastonmuutoksesta sen erityyppisiin vaikutuksiin (luonnontieteellisistä yhteiskunnallisiin) parhaiden sopeutumiskeinojen tunnistamiseksi, sekä niiden yhteyksiä ilmastonmuutoksen hillintätoimiin. Päätöksentekoa tukevia taloudellisia tutkimuksia ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja sopeutumistoimien kustannustehokkuudesta tarvitaan myös enemmän.

Sopeutumistutkimuksen yhteenvedon tekijöiden arvioita sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla kartoitettiin kyselyn avulla ja tuloksista keskusteltiin työpajoissa vuoden 2011 aikana. Seuraavissa kappaleissa esitellään niiden pohjalta koottuja monitieteisen tutkijayhteisön käsityksiä sopeutumistutkimuksen tasosta Suomessa ja tutkimuksen tulevaisuuden tarpeista.

### **Ilmastonmuutoksen vaikutukset, haavoittuvuus ja alueelliset erot**

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa tunnetaan luonnollisesti parhaiten toimialoilla, joilla sopeutumistutkimusta on toteutettu eniten. Vesivarojen hallinnassa sekä maa- ja metsätaloudessa ilmastonmuutoksen vaikutukset ja niiden taustalla olevat syy-seuraussuhteet tunnetaan yleisellä tasolla melko hyvin. Näilläkin toimialoilla on kuitenkin tarvetta edelleen yksityiskohtaisemmalle tiedolle. Lisää tutkimusta tarvitaan myös ekosysteemitason monimutkaisten vuorovaikutusten ymmärtämiseksi. Haavoittuvuus ja alueelliset erot Suomessa tunnetaan toimialoista parhaiten vesivarojen hallinnassa: Ilmastonmuutoksen vaikutuksia on tutkittu vesistöalueittain ja tulvariskien kartoitus valmistui 2011. Muiden luonnonvarasektoreiden eli kala-, poro- ja

riistatalouden sopeutumistutkimukset ovat selvästi jäljessä maa- ja metsätaloudesta, vaikkakin ilmastonmuutoksen vaikutukset näihin aloihin tunnetaan yleisellä tasolla.

Luonnon monimuotoisuuden sopeutumistutkimuksen tasosta tukijoilla on jossain määrin ristiriitaisia käsityksiä. Osa tutkijoista on sitä mieltä, että ilmastonmuutoksen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen tunnetaan melko hyvin, mutta osa tutkijoista on päinvastaista mieltä. Tämä heijastaa aihepiirin laajuutta: Muutamia osa-alueita tunnetaan kohtuullisen hyvin, tällaisia ovat esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttama lisäuhka Saimaannorpalle tai tulokaslajien leviäminen Suomessa. Kuitenkin ilmastonmuutoksen seurauksena elinympäristössä tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa tavoilla, joita emme toistaiseksi osaa ennakoida, koska emme tunne ekosysteemien ilmastoriippuvuutta tarpeeksi tarkasti.

Matkailun ja luonnon virkistyskäytön sopeutumisesta ilmastonmuutokseen tutkijoilla on myös eriäviä käsityksiä. Tämä viittaa siihen, että tutkimustietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista toimialaan tarvitaan lisää. Koska matkailu on liiketoimintaa, on mahdollista, että kaikki alalla tehdyt tutkimukset ja selvitykset eivät ole vapaasti saatavilla. Tämä pätee myös vakuutustoimintaan. Ilmatoriskien arviointi on oleellinen osa vahinkovakuuttamista, mutta sopeutumistutkijoilla ei ole välttämättä riittävästi tietoa alalla tehtävistä tutkimuksista.

Tutkijoiden mukaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia teollisuuteen tunnetaan melko huonosti. Toisaalta toimialan sää- ja ilmastoriippuvuus vaihtelee paljon teollisuustoiminnasta toiseen. Suomessa teollisuus kuluttaa paljon energiaa ja toimialalla onkin keskusteltu enemmän ilmastonmuutoksen hillinnästä kuin siihen sopeutumisesta. Ilmastonmuutoksen vaikutukset energiantuotantoon ja -kulutukseen tunnetaan tutkijoiden mukaan melko hyvin. Ilmaston lämpenemisen tiedetään esimerkiksi vähentävän lämmitysenergian tarvetta, mutta toisaalta tutkimustiedoissa on puutteita esimerkiksi sään ääri-ilmiöiden aiheuttamista ongelmista tuotannolle.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön ja infrastruktuuriin tunnetaan tutkijoiden käsityksen mukaan melko hyvin, vaikka käsityksissä onkin jonkin verran hajontaa. Alueidenkäytön ja yhdyskuntien sekä liikenteen haavoittuvuus ilmastonmuutokselle, ja niiden alueelliset erot Suomen sisällä tunnistetaan myös melko hyvin. Liikennesektorin on hyvin varautunut sään aiheuttamiin häiriöihin nykyisessä ilmastossa. Osassa maata kasvava liikenteen määrä ja toisaalla alenevat liikenneverkoston kunnossapito- ja korjausrahoitus lisännevät herkkyyttä säähäiriöille. Yhdyskuntien haavoittuvuus ja alueelliset erot puolestaan tunnistetaan erityisen hyvin vesistötulvien riskien kannalta.

Terveyssektorilla suoranaista ilmastonmuutokseen liittyvää tutkimusta on ollut varsin vähän. Yleispiirteet ilmastonmuutoksen terveysvaikutuksista tunnistetaan, mutta tieto ei ole saavuttanut laajempia piirejä tai tarvitaan edelleen yksityiskohtaisempaa tietoa.

Yhteenvetoraportin valmisteluun osallistuneiden tutkijoiden käsityksen mukaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia sisäiseen ja ulkoiseen turvallisuuteen ei tunneta riittävästi, mutta toisaalta turvallisuusalan edustus tässä analyysissä oli vähäinen.

## **Tutkimustiedon soveltaminen käytännön sopeutumistoimissa**

Tutkijoiden käsityksen mukaan sopeutumistutkimus on tuottanut useimmilla toimialoilla, erityisesti maa- ja metsätaloudessa sekä vesivarojen hallinnassa, sellaista tietoa, jota voidaan hyödyntää käytännön sopeutumistoimissa. Merkittävää on, että tutkimustulosten sovellettavuutta pidetään kaikilla sektoreilla parempana kuin tiedon tasoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Tämä kuvastaa sitä, että tutkijoiden mukaan sopeutumistoimia voidaan toteuttaa perustellusti jo nykyisen tiedon perusteella eikä ilmastonmuutoksen suuruuteen tai sen vaikutuksiin liittyvän tieteellisen tiedon epävarmuus ole esteenä käytännön toimien aloittamiselle. Vaikka jatkossa tarvitaan edelleen yksityiskohtaisempaa tietoa, yleisellä tasolla ilmastonmuutoksen vaikutukset

tunnetaan niin hyvin, että toimissa voidaan edetä. Tutkijat luottavat tutkimusten tuloksiin ja odottavat, että niitä hyödynnettäisiin viivyttelämättä.

Vähiten käytännön sopeutumistoimia tukevaa tutkimustietoa on tähän analyysiin osallistuneiden tutkijoiden mukaan sisäisen ja ulkoisen turvallisuuden alalla, teollisuudessa ja terveyssektorilla sekä riistataloudessa.

### **Tunnistetuista sopeutumistoimista saatava hyöty**

Ilmastonmuutoksen haitallisten vaikutusten pienentäminen sopeutumistoimien avulla korostuu lähes kaikilla toimialoilla myönteisten vaikutusten hyödyntämiseen verrattuna. Sopeutumistutkimus onkin keskittynyt tähän mennessä enemmän uhkiin kuin mahdollisuuksiin ja hyötyjä on toistaiseksi tutkittu kielteisiä vaikutuksia vähemmän. Poikkeuksen tästä tekevät lähinnä maa- ja metsätalous, joilla on tutkittu paitsi uhkia myös mahdollisuuksia, joita kasvukauden piteneminen ja lämpeneminen tuovat. Varsinkin maataloudessa myönteisten vaikutusten hyödyntämistä pidetään jopa haittoja merkittävämpänä. Jatkossa olisikin tarpeen tutkia laajemmin myös muilla toimialoilla ilmastonmuutokseen liittyviä mahdollisuuksia.

Useimmilla toimialoilla on jossain määrin ongelmana tiedonkulku tutkijoiden ja toimijoiden välillä. Tutkijat eivät tiedä riittävän hyvin, miten sopeutumistoimia viedään käytäntöön ja millaisia kokemuksia niistä kertyy tai onko tutkimustieto ylipäänsä käyttäjille sopivassa muodossa. Tutkijat pitävät tärkeänä tutkimuksen vaikuttavuutta ja tieteellisen tiedon yleistajuistamista ja ovat myös valmiit tuottamaan tietoa käyttäjien tarpeisiin sopivassa muodossa.

### **Sopeutumistoimien kustannukset ja hyödyt**

Yleisesti ottaen sopeutumistoimien kustannuksia ja hyötyjä ei tunneta riittävän hyvin. Pisimmälle sopeutumistutkimuksessa edenneillä sektoreilla – maa- ja metsätaloudessa, vesivarojen hallinnassa sekä rakentamisessa ja alueiden käytössä – sopeutumistoimien kustannukset ja hyödyt tunnetaan lähinnä muutamien esimerkkien kautta. Varsinaisia kustannus-hyötyanalyysejä ei juuri ole tehty. Sopeutumisen kansantaloudellisia vaikutuksia ei myöskään tunneta. Ilmastonmuutoksen hillintätoimien kustannukset ovat todennäköisesti aluksi merkittävämpiä kuin sopeutumisen kustannukset ja toisaalta hillintätoimissa onnistuminen tulee myös vaikuttamaan sopeutumisen kustannuksiin tulevaisuudessa.

Sopeutumistoimien kustannuksia ja hyötyjä tulisi tarkastella myös laajemmin kuin vain yhden toimialan kysymyksenä. Kustannukset voivat sopeutumistoimien seurauksena jollakin toimialalla kasvaa, mutta hyödyt ilmenevät muilla toimialoilla. Esimerkiksi rajuilmoihin ja myrskytilanteisiin varautuminen lisää kustannuksia liikenne- ja energiasektoreilla, mutta samalla lisää kansalaisten turvallisuutta ja palvelutasoa.

### **Tunnistetut sopeutumistoimet voivat tukea toimialan muita tavoitteita**

Maa- ja metsätaloudessa, vesivarojen hallinnassa, energia-alalla sekä alueiden käytössä ja rakentamisessa tunnistettuja sopeutumistoimia pidetään hyödyllisinä, ja niiden arvioidaan tukevan myös toimialan muita tavoitteita. Sopeutumisen ja muiden tavoitteiden synergioita tai ristiriitaisuuksia ei kuitenkaan ole pohdittu systemaattisesti tai nämä pohdinnat eivät ole tutkijoiden tiedossa. Tutkijoiden käsityksen mukaan kaikilla toimialoilla on kuitenkin mahdollista yhdistää sopeutumistoimet yleensä kestävään luonnonvarojen käyttöön ja optimaaliseen yhteiskunnan tai yritysten resurssien käyttöön.

Muutamia esimerkkejä sopeutumisen ja muiden tavoitteiden synergieista:

- Maatalouden sopeutumistoimena kasvinjalostus ja peltojen kasvukyvyn ylläpito pitävät toimialan elin-kelpoisena. Kasvintuotannon sopeutuminen johtaa maatalouden suurempaan tuottavuuteen.
- Vesivarojen järkevä käyttö saattaa johtaa myös veden laadun parantumiseen ja parempaan vesiensuojeluun.
- Alueiden käytössä ja yhdyskuntasuunnittelussa sopeutumistoimien edut liittyvät kestävän yhdyskun-tarakenteen edistämiseen. Hulevesien luonnonmukainen hoito tarjoaa monipuolisia mahdollisuuksia virkistysalueiden kehittämiseen.
- Pelastustoimessa rajuilmavahinkoihin varautumien auttaa yleensäkin johtamisjärjestelmien kehittämisessä.

## **Ilmatoriskien arviointi- ja hallintamenetelmät**

Riskien arviointi ja hallinta ovat oleellinen osa päätöksentekoa, mutta vielä tällä hetkellä ilmatoriskien arvioin-timenetelmiä ei ole kehitetty eikä tunneta riittävästi. Jatkossa ilmatoriskien arviointi- ja hallintamenetelmiin on tarpeen panostaa selvästi aiempaa enemmän.

Tutkijoilla on myös jossain määrin erilaisia näkemyksiä siitä, mitä ilmatoriskien arvioinnilla ja hallinnalla tarkoitetaan. Tämä heijastaa eri tieteenalojen erilaisia näkökulmia ja käytäntöjä. Luonnontieteellisen ja tek-nisen alan edustajat ajattelevat enemmän riskien arviointia tietyn säästä tai ilmastosta riippuvan tapahtuman todennäköisyyden ja vaikutusten kautta, ja hallintaa haitallisten vaikutusten pienentämiseen liittyvänä pää-töksentekona. Yhteiskuntatieteellinen tutkimus puolestaan hakee laajempaa johtamisnäkökulmaa.

## **Sopeutumisstrategian toimeenpano**

Muutokset teknologisissa, taloudellisissa ja sosiaalisissa tekijöissä lisäävät usein yhteiskunnan haavoittuvuutta sää- ja ilmatoriskeille. Toimivien, taloudellisten, turvallisten ja ympäristöystävällisten ratkaisujen löytämiseen tarvitaan ennakoivaa sää- ja ilmatoriskien arviointia ja hallintaa. Tässä tulisi ottaa huomioon sekä ilmas-tonmuutos että sään vaihtelu. Oikein ajoitettujen sopeutumistoimien avulla ilmastomuutoksen myönteisiä vaikutuksia Suomessa voidaan hyödyntää ja toisaalta haitallisia vaikutuksia vähentää. Sopeutumistoimien hyödyt voivat olla moninkertaisia kustannuksiin verrattuna ja ne tukevat ekologisesti kestäväää toimintaa. Tutkimustulosten ja toimenpide-ehdotusten soveltaminen käytäntöön lisää myös kansalaisten turvallisuutta ja parantaa yhteiskunnan toimintavarmuutta.

Valtakunnallisen ja monialaisen koordinaation tulisi tukea tiedon soveltamista ja viestintää myös alueellisella ja paikallisella tasolla. Kansallisen, alueellisen ja paikallisen tason vastuunjako sopeutumistoimissa on tarpeen selvittää. Paikallisten ja alueellisten sopeutumisstrategioiden laadintaa ja toteutusta tulisi ohjeistaa ja seurata nykyistä tiiviimmin. Strategioihin voitaisiin liittää myös velvoittavia toimenpiteitä. Sopeutumistutkimusten tulosten tulisi olla nopeasti ja vapaasti kaikkien saatavilla. Ilmasto-opas.fi-portaali tarjoaa viestintään yhden mahdollisen kanavan.

Suomalaisen sopeutumistutkimuksen tuottamia työkaluja ja tuloksia voidaan hyödyntää ja soveltaa kan-sainvälisesti esimerkiksi kehitysyhteistyössä. Sovelluksia voidaan ottaa käyttöön liiketoiminnassa ja niille voi löytyä myös vientinäkymiä.

## 7 Sopeutumistutkimuksen tulevaisuuden tarpeita

*Meneillään olevaan ja väistämättömään ilmastomuutokseen pitää varautua. Se edellyttää ilmastomuutoksen sopeutumistutkimuksen jatkamista ja syventämistä. Ilmastomuutoksen ja ilmasto-  
politiikan taloudellisista, sosiaalisista ja ympäristövaikutuksista sekä sopeutumistoimista ja niiden  
kustannustehokkuudesta tarvitaan edelleen lisää tietoa kaikilla toimialoilla. Ilmastomuutoksesta  
koituvia hyötyjä suomalaiselle yhteiskunnalle ja luonnolle tulisi myös tutkia nykyistä enemmän.  
Käytännön päätöksenteossa tarvittavaa tutkimusta vielä puutteellisesti tunnetuista, muuttuvista  
ilmastoriskeistä ja riskien hallintakeinoista on tarpeen syventää.*

Suomalaisen monitieteisen tutkimusyhteistyön lisäksi pohjoismainen ja muu lähialueyhteistyö on tärkeää arktisten alueiden ja Itämeren haavoittuvuuden takia. Globaalien vuorovaikutussuhteiden ja nopeasti reagoivien maailmanmarkkinoiden kautta ilmastomuutoksen vaikutukset näkyvät meillä mm. energian- ja ruoan hinnoissa sekä maailmanpolitiikan muutoksina. Tarvitsemme tutkimusta näiden kansainvälisten vaikutussuhteiden piirteistä ja ilmenemisestä Suomessa.

### **Suomen ja koko maapallon ilmasto**

Ilmastomuutoksen sopeutumistutkimuksen kannalta perustavanlaatuinen kysymys on, millainen ilmasto vallitsee tulevaisuudessa Suomessa ja sen lähiympäristössä, mutta myös maailmanlaajuisesti. Tutkimuksessa tarvitaan ilmastoskenaarioita, jotka perustuvat alan uusimpaan osaamiseen. Maapallon ilmastojärjestelmää koskevan tieteellisen tietämyksen karttuminen aiheuttaa sen, että ilmastoskenaariot aina vähitellen vanhentuvat. Kansainvälisen tiedeyhteisön uusia ilmastomallikuvauksia tulevaisuuden mahdollisista ilmastollisista kehityskuluista, ja niiden analysointia maamme kannalta tarvitaan suomalaisen sopeutumistutkimustyön perusaineistoksi. Lisäksi on edistettävä aiempia ilmastoskenaarioita käyttäneiden tai käyttävien tutkimushankkeiden vertailtavuutta.

Ilmastomuutoksen vaikutuksiin ja sopeutumiseen vaikuttavat monet ilmastomme ominaisuudet keskimääräisen lämpötilan ja sademäärän lisäksi. Näiden kahden suureen muutosarvioihin on jo aiemmin liitetty tietoa epävarmuuksista ja todennäköisyyksistä. Jotta sopeutumistoimet voidaan mitoittaa mahdollisimman oikein, tarvitaan tietoa myös muiden ilmastosuureiden muutosarvioihin sisällyvistä epävarmuuksista. Ilmastomuutokseen sopeutumisen ja haavoittuvuuden arviointi muuttuvassa ilmastossa vaatii usein kuhunkin tarkoitukseen räätälöityjä, mutta kuitenkin keskenään yhteneväisiä ilmastotietoja. Näiden laatiminen mahdollisimman käyttökelpoisella tavalla vaatii edelleen kehitystyötä. Etenkin pienen mittakaavan ilmiöiden selvittämien edellyttää runsaasti työtä, kuten myös ilmaston alueellisen vaihtelun tarkempi selvittäminen.

### **Merenpinnan korkeus Suomen rannikolla**

Merenpinnan korkeuden tulevalla käyttäytymisellä on suuri vaikutus mm. kaavoitukseen ja rakennussuunnitteluun. Tällöin on otettava huomioon sekä keskimääräisen vedenkorkeuden hidas muutos että muutokset ääritilanteiden korkeudessa ja esiintymistodennäköisyyksissä.

Suurimmat epävarmuustekijät merenpinnan korkeuden pitkäaikaisiin muutoksiin ovat Grönlannin ja Länsi-Antarktiksens mannerjäätiköt. Niiden käyttäytymisestä lämpenevässä ilmastossa tiedetään vielä liian vähän. Maailmalla aihetta tutkitaan aktiivisesti, ja suomalaisesta näkökulmasta on vähintään seurattava uusimpia tutkimustuloksia ja päivitettävä Suomen rannikon vedenkorkeusskenaarioita niiden pohjalta. Niin ikään arviot merenpinnan nousun alueellisesta jakautumisesta ja Itämeren pinnankorkeuden muutosten suhteesta valtamerien keskimääräiseen nousuun ovat edelleen epävarmoja. Tämänhetkiset skenaariot voivat muuttua oleellisesti, kun saadaan lisää tutkimustietoa.

Ääritilanteiden todennäköisyysarvioiden kannalta olisi aiheellista selvittää, jatkuuko korkeiden ääriarvojen havaittu kasvu tulevaisuudessa. Tähän voivat vaikuttaa muutokset tuuli- ja ilmanpaineoloissa samoin kuin Itämeren jääoloissa.

## Ekosysteemit ja luonnonvarojen käyttö

**Metsätaloudessa** on tarpeen panostaa vaihtelevaan ilmastoon sopeutuvan ja viljelyvarman metsänviljelymateriaalin tutkimukseen ja tuottamiseen sekä eri riskitekijöiden biologiseen ja taloudelliseen hallintaan. **Maatalouden** ympäristöriskien hallinta ja lajikekehitys tuleviin oloihin ovat yhä tärkeämpiä tutkimuskohteita.

Ilmastonmuutoksen **ekosysteemitason** vaikutuksista ja tarvittavista sopeutumistoimista tarvitaan lisätutkimusta. Myös eliöryhmien keskinäinen vuorovaikutus eri ekosysteemeissä tunnetaan huonosti. Lähivuosina tulisi kehittää pysyviä ilmastonmuutoksen seurannan menetelmiä kuten uusien kasvi- ja eläintautien sekä tuholaisten monitorointi- ja valvonta-järjestelmä. Tulisi käynnistää myös luonnon monimuotoisuuden *ex situ* -suojeluohjelma.

**Vesistöjen** suojelemiseksi tarvitaan tietoa mm. maatalouden vesistövaikutusten vähentämisestä, kun ilmasto muuttuu lämpimämmäksi ja sateisemmaksi etenkin talvisin. Pohjavesivarastojen puhtaus on varmistettava. Tulvaolosuhteiden muuttuessa vesistöjen säännöstelyä on tarkasteltava uudelleen. Muutokset Itämeressä vaikuttavat moneen toimintaan ja niiden yhteensovittaminen tuo uusia haasteita.

## Muu elinkeinoelämä ja energia

Elinkeinoelämässä on tarpeen arvioida ilmastonmuutoksen vaikutuksia toimintavarmuuteen ja varautua säähäiriöiden kuten tulvien, lumisateiden, myrskyjen tai pakkaskausien seurauksena syntyviin sähkökatkoihin, kuljetusongelmiin ja häiriöihin tuotantoprosesseissa. Tähän kuuluvat myös säähäiriöt muualla maailmassa. Erityisesti on varmistettava kriittisten kohteiden sähkönsaanti ja varajärjestelmien toimivuus poikkeavissa olosuhteissa. Tämä edellyttää kriittisten sähkönsiirtoalueiden tunnistamista ja verkon maakaapelointia näillä alueilla.

## Rakennettu ympäristö

Ilmastonmuutokseen liittyvien vaikutusten arvioinnin ja hillintä- ja sopeutumistoimien tulisi olla vakiintunut osa alueidenkäytön ja rakentamisen suunnittelua. Samat ratkaisut, kuten yhdyskuntarakenteen eheyttäminen, tukevat usein kummankin tavoitteen saavuttamista. Tulvavaara-alueiden kartoitus ja huomioonottaminen toimintoja sijoitettaessa on tärkeää yleispiirteisessä suunnittelussa. Tuulisuus ja sateiden lisääntyminen asettavat vaatimuksia yksityiskohtaiselle suunnittelulle. Yleistyvien rankkasateiden seurauksena on varauduttava kaupunkitulviin. Jätevesiverkoston ja -puhdistamoiden kapasiteetissa on otettava huomioon muuttuvat sadeolosuhteet.



## Liikenne

Liikenteessä nykyilmaston säävaihteluun ja ääritilanteisiin osataan varautua kohtuullisen hyvin. Käytännössä päätöksenteon tueksi tarvitaan kuitenkin vielä yksityiskohtaisempaa, räätälöityä tutkimustietoa ilmastonmuutoksesta ja sen vaikutuksista sekä erilaisten sopeutumistoimien vertailua esimerkiksi teknisen toteutettavuuden ja kustannusten osalta. Vaikka ilmastonmuutos otetaan huomioon jo nyt strategisessa suunnittelutyössä, sen painoarvon odotetaan tulevaisuudessa vielä kasvavan.

Liikennejärjestelmien ja infrastruktuurin suunnitteluun, rakentamiseen ja hoitoon tarvitaan käytännön tietoa siitä, miten muuttuvat ilmasto-olosuhteet ja -riskit tulisi ottaa huomioon, jotta liikennejärjestelmien tavoitelluista ominaisuuksista (liikennetarpeen tyydyttäminen, turvallisuus, toimintavarmuus, vähäiset ympäristövaikutukset ja taloudellisuus) ei tarvitse tinkiä. Myös ilmastonmuutoksen synnyttämät edut tulisi ennakoida, jotta ne voidaan täysimääräisesti hyödyntää. Liikennejärjestelmä koostuu usean liikennemuodon muodostamasta verkosta ja niiden häiriöherkkyys sääilmiöille saattaa olla hyvinkin erilainen. Tämä saattaa johtaa myös priorisointiin sopeutumiskeinoja harkittaessa.

Väylien operatiivisen kunnossapidon ja liikenteen ohjauksessa tavoitteena tulisi olla tutkimustieto, jolla kunnossapidon ja liikenteen ohjauksjärjestelmien toimivuutta ja taloudellisuutta voidaan kehittää sekä nyky- että lähivuosikymmenien sää- ja ilmasto-olosuhteisiin sopivaksi. Myös uuden teknologian käyttöönottoa tulisi selvittää. Organisatoristen tekijöiden, kuten kunnossapidon hankintamallien kehittäminen, tulisi olla myös tutkimuksen kohteena.

Resurssien tehokasta käyttöä varten tarvitaan tietoa ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista ja sopeutumistoimen kustannuksista ja hyödyistä sekä vältetyistä kuluista. Sääilmiöiden, ilmaston ja vaikutusten epävarmuuteen liittyen taloudelliset riskit voivat liittyä yhtäältä ylireagointiin ja toisaalta liian vähäisiin investointeihin liikennejärjestelmän sääherkkyyden vähentämiseksi. Tasapaino toimintavarmuuden ja lisäpanostusten välille on löydettävä. Nopeita hyötyjä on saavutettavissa häiriötilanteiden ennakoimisen ja kehityksen tiedottamisella eri toimijoille. Liikenteeseen liittyvän tiedon määrän ja laadun kehittäminen tuo hyötyjä tutkimukselle, seurannalle ja hallinnon tarpeisiin.

## Terveys ja hyvinvointi

Ilmasto- ja hyvinvointipoliittinen keskustelu on kytkettävä nykyistä paremmin toisiinsa. Tarvitaan arvioiteja ilmastonmuutoksen sosiaalisista ja terveydellisistä vaikutuksista. Väestötasolla tarvitaan lisää tietoa siitä, miten voidaan ennustaa, tunnistaa ja torjua säähän liittyviä terveysriskejä. Erityisen sääherkkiä ovat ikääntyneet, pienet lapset, kroonisesti sairaat sekä lämmönsietoa heikentävien lääkkeiden käyttäjät.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja sopeutumista on tutkittava töissä, joissa kuuma- tai kylmästressi ovat mahdollisia. Tällaisia ovat fyysisesti raskaat ulkotyöt sekä kuljetusala, pelastus- ja huoltotyöt, joita täytyy tehdä myös äärioloissa. Tietoa tarvitaan lämpöolojen vaikutuksesta toimintakykyyn, kuormittumiseen ja palautumiseen sekä tarvittavista suojaustoimenpiteistä.

Tutkimusta tarvitaan myös ilmansaasteiden ja lämpöolojen yhteisvaikutuksista sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksista siitepölyjen ja muiden allergeenien sekä eläin- ja vesivälitteisten tautien esiintyvyyteen ja niiden torjuntatarpeeseen.

Sisätilojen valaistusolosuhteilla voidaan edistää kaamosoireiden ja ylipainon sekä niistä johtuvien haitallisten terveysvaikutusten ehkäisyä. Sekä julkisia että yksityisiä tiloja rakennettaessa tulisi kiinnittää enemmän huomiota valaistukseen siten, että talvisin valaistusvoimakkuus olisi aamun tunneiksi säädettävissä nykyistä selvästi suuremmaksi.

- 1/2011 Metsänkäsittelymenetelmien monipuolistaminen  
ISBN 978-952-453-626-4 (Painettu)  
ISBN 978-952-453-627-1 (Verkkajulkaisu)
- 2/2011 Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen  
vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020  
ISBN 978-952-453-628-8 (Painettu)  
ISBN 978-952-453-629-5 (Verkkajulkaisu)
- 2a/2011 Riktlinjer för minskning av olägenheterna från sura  
sulfatjordar fram till år 2020  
ISBN 978-952-453-645-5 (Tryckt)  
ISBN 978-952-453-646-2 (Nätutgåva)
- 3/2011 Elintarviketurvallisuusviraston arviointi  
ISBN 978-952-453-637-0 (Verkkajulkaisu)
- 4/2011 MMM:n sektoritutkimuslaitosten arviointi -  
Tutkimuksen ja asiantuntijapalvelujen  
yhteiskunnallinen vaikuttavuus  
ISBN 978-952-453-657-8 (Verkkajulkaisu)
- 5/2011 Suomen metsät 2011. Kestävän metsätalouden  
kriteereihin ja indikaattoreihin perustuen  
ISBN 978-952-453-664-6 (Painettu)  
ISBN 978-952-453-665-3 (Verkkajulkaisu)
- 5a/2011 State of Finland's Forests 2011  
ISBN 978-952-453-660-8 (Printed version)  
ISBN 978-952-453-661-5 (Electronic version)