



Ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa

Tarkastelu kansallisen ilmastonmuutokseen
sopeutumissuunnitelman 2030 taustaksi

Ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa

Tarkastelu kansallisen ilmastonmuutokseen
sopeutumissuunnitelman 2030 taustaksi

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Valtioneuvosto
Maa- ja metsätalousministeriö
CC BY-NC-ND 4.0

ISBN pdf: 978-952-383-566-5
ISSN pdf: 2490-0966

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2023

Ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa
Tarkastelu kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman
2030 taustaksi

Valtioneuvoston julkaisu 2023:72

Julkaisija Valtioneuvosto

Tekijä/t	Karoliina Pilli-Sihvola, Jaana Halonen, Päivi Meriläinen, Mikko Laapas, Reija Ruuhela, Johan Munck af Rosenschöld, Maria Hällfors, Soile Knuuti, Jaana Sorvali		
Toimittaja/t	Karoliina Pilli-Sihvola, Simo Haanpää, Katriina Virtanen		
Yhteisötekijä	Maa- ja metsätalousministeriö, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Ilmatieteen laitos, Suomen ympäristökeskus, Väylävirasto, Luonnonvarakeskus		
Kieli	suomi	Sivumäärä	140

Tiivistelmä

Kansainvälisessä vertailussa Suomi on hyvin varautunut ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja seurauksiin. Tästä huolimatta ilmastonmuutokseen liittyy myös Suomessa merkittäviä riskejä. Tähän raporttiin on koottu uusin tieto ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja sen aiheuttamista riskeistä luonnonympäristölle ja eri toimialoille. Raportti on tehty valtioneuvoston selontekona eduskunnalle annettun kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman 2030 taustaselvitykseksi. Tästä dokumentista löytyvät myös selonteon luvun 2.2 lähdeviitteet.

Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2030 on osa ilmastolain mukaista ilmastopolitiikan suunnittelujärjestelmää. Ilmastolaki 609/2015 ja 423/2022 edellyttävät, että riski- ja haavoittuvuustarkastelu ottaa huomioon uusimman tieteellisen tiedon. Ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa -raportti on kooste eri alojen ajankohtaisista julkaisuista ilmastonmuutokseen sopeutumista koskien. Se on toteutettu laajassa asiantuntijayhteistyössä.

Raportti on koottu maa- ja metsätalousministeriössä vuoden 2022 aikana ja toimitettu julkaisuksi vuonna 2023.

Asiasanat ilmastonmuutokseen sopeutuminen, riski, haavoittuvuus, altistuminen, sääilmiöt

ISBN PDF	978-952-383-566-5	ISSN PDF	2490-0966
----------	-------------------	----------	-----------

Julkaisun osoite <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-566-5>

Risker och sårbarheter i anslutning till klimatförändringarna i Finland Granskning som underlag för den nationella planen för anpassning till klimatförändringar 2030

Statsrådets publikationer 2023:72

Utgivare Statsrådet

Författare Karoliina Pilli-Sihvola, Jaana Halonen, Päivi Meriläinen, Mikko Laapas, Reija Ruuhela, Johan Munck af Rosenschöld, Maria Hällfors, Soile Knuuti, Jaana Sorvali

Redigerare Karoliina Pilli-Sihvola, Simo Haanpää, Katriina Virtanen

Utarbetad av Jord- och skogsbruksministeriet, Institutet för hälsa och välfärd, Meteorologiska institutet, Finlands miljöcentral, Trafikledsverket, Naturresursinstitutet

Språk finska

Sidantal 140

Referat

I en internationell jämförelse är Finland väl förberett på klimatförändringarnas konsekvenser och följder.

Trots detta innebär klimatförändringarna betydande risker även för Finlands del. I denna rapport har man sammanställt den nyaste informationen om klimatförändringarnas konsekvenser och de risker de medför för naturmiljön och olika sektorer. Rapporten har utarbetats som en förstudie till den redogörelse av statsrådet om den nationella planen för anpassning till klimatförändringar 2030 som överlämnats till riksdagen. I detta dokument ingår också källhänvisningar till kapitel 2.2 i redogörelsen.

Den nationella planen för anpassning till klimatförändringar 2030 är en del av det klimatpolitiska planeringssystemet enligt klimatlagen. I klimatlagarna 609/2015 och 423/2022 har det förutsatts att man i risk- och sårbarhetsgranskningen tar hänsyn till aktuell vetenskaplig information. Rapporten om risker och sårbarheter i anslutning till klimatförändringarna i Finland är en sammanfattning av de aktuella publikationer om anpassning till klimatförändringarna som utarbetats inom olika sektorer och den har utarbetats i ett omfattande expertsamarbete.

Rapporten har sammanställts vid jord- och skogsbruksministeriet under 2022 och redigerats till en publikation 2023.

Nyckelord anpassning till klimatförändringarna, risk, sårbarhet, exponering, väderfenomen

ISBN PDF 978-952-383-566-5

ISSN PDF 2490-0966

URN-adress <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-566-5>

Risks and Vulnerabilities Related to Climate Change in Finland

Background study for the National Climate Change Adaptation Plan 2030

Publications of the Finnish Government 2023:72

Publisher	Finnish Government		
Author(s)	Karoliina Pilli-Sihvola, Jaana Halonen, Päivi Meriläinen, Mikko Laapas, Reija Ruuhela, Johan Munck af Rosenschöld, Maria Hällfors, Soile Knuuti, Jaana Sorvali		
Editor(s)	Karoliina Pilli-Sihvola, Simo Haanpää, Katriina Virtanen		
Group author	Ministry of Agriculture and Forestry, Finnish Institute for Health and Welfare, Finnish Meteorological Institute, Finnish Environment Institute, Finnish Transport Infrastructure Agency, Natural Resources Institute Finland		
Language	Finnish	Pages	140

Abstract

Compared to other countries, Finland is well prepared for the impacts and consequences of climate change. Yet, there are significant risks associated with climate change in Finland as well. This report presents the most recent data on the impacts of climate change and the risks it causes to the natural environment and different sectors. The report was compiled as a background study for the National Climate Change Adaptation Plan 2030 given as Government Report to Parliament. The source references in chapter 2.2 of the report are also included in this document.

The National Climate Change Adaptation Plan 2030 is part of the climate policy planning system under the Climate Act. According to the Climate Change Act 609/2015 and Climate Act 423/2022, up-to-date scientific knowledge must be taken into account in the analysis of risks and vulnerabilities. The report 'Risks and Vulnerabilities Related to Climate Change' is a collection of topical publications concerning climate change adaptation from different sectors. It was compiled as a collaborative effort among various experts.

The work took place at the Ministry of Agriculture and Forestry in 2022 and the report was completed for publication in 2023.

Keywords	Climate Change Adaptation, Risk, Vulnerability, Exposure, Weather Events		
ISBN PDF	978-952-383-566-5	ISSN PDF	2490-0966
URN address	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-566-5		

Sisältö

1	Johdanto	8
2	Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ennakoidaan ilmastoskenaarioilla	12
3	Ilmastonmuutoksen aiheuttaman riskin osatekijät	15
4	Ilmastonmuutos ja sen aiheuttamat vaaratekijät Suomessa	20
4.1	Suomessa ilmasto lämpenee keskimääräistä voimakkaammin	20
4.2	Talvien lumipeiteaika lyhenee	25
4.3	Itämeren jääpeiteaika lyhenee, mutta jäätilanteet voivat olla haastavia myös tulevana vuosikymmeninä	26
4.4	Terminen kasvukausi pitenee	28
4.5	Helteet lisääntyvät ja helleaallot pitenevät	30
4.6	Sateisuuden muutokset epävarmoja – alueellinen ja vuosittainen vaihtelu säilyy	32
4.7	Kuivuuden arvioidaan lisääntyvän	38
4.8	Lisääntyvä pilvisuus pimentää hieman talvia	39
4.9	Kevättulvat pienenevät ja talvitulvat yleistyvät	40
4.10	Tuulisuudessa ei tapahdu suuria muutoksia	41
4.11	Rajuilmoihin ei muutoksia lähivuosikymmeninä	43
4.12	Vyörymien riski pieni, lumivyöryt voivat yleistyä Lapissa	44
4.13	Sumuisuus voi lisääntyä syksyisin	44
4.14	Maan kohoaminen tasaa merenpinnan nousun vaikutusta	45
5	Luonnonympäristön riski- ja haavoittuvuustarkastelu	48
5.1	Luonnon monimuotoisuus	48
5.2	Luontotyyppien säilyminen	50
5.3	Itämeren tila	51
5.4	Muut vesiekosysteemit	53
5.5	Metsätuhot	56
5.6	Kalakannat	57
5.7	Riistakannat	59
6	Yhteiskunnallis-taloudellinen riski- ja haavoittuvuustarkastelu	60
6.1	Metsätalous	60
6.2	Maatalous, kasvinviljely ja kotieläintalous, riistatalous ja niihin liittyvät palvelut ..	61
6.2.1	Peltoviljely	62
6.2.2	Puutarhatalous	65

6.2.3	Eläintuotanto	66
6.2.4	Kalastus ja vesiviljely	67
6.2.5	Poronhoito	67
6.2.6	Metsästys ja riistatalous	69
6.3	Elintarviketeollisuus	70
6.4	Energian tuotanto ja jakelu	70
6.5	Liikennejärjestelmä ja -infrastruktuuri	72
6.5.1	Tieliikenne ja -infrastruktuuri	75
6.5.2	Raideliikenne- ja -infrastruktuuri	78
6.5.3	Merenkulku	80
6.5.4	Lentoliikenne	82
6.5.5	Tavara- ja jakeluliikenne	84
6.5.6	Pyöräily	85
6.5.7	Jalankulku	86
6.5.8	Tietoliikenne	87
6.6	Vesihuolto	90
6.7	Rakennettu ympäristö	92
6.8	Terveys- ja sosiaalihuolto	95
6.8.1	Suorat terveysvaikutukset	96
6.8.2	Vaikutukset vektorivälitteisiin taudinaiheuttajiin	98
6.8.3	Epäsuorat terveysvaikutukset	100
6.8.4	Mielenterveys	103
6.8.5	Terveystenhuolto	104
6.8.6	Sosiaalihuolto	106
6.9	Yleinen teollisuustuotanto	106
6.10	Kaivostoiminta	107
6.11	Vakuutustoimi	108
6.12	Matkailu	111
6.13	Kulttuuriperintö- ja ympäristö	112
6.14	Pelastustoimi	113
6.15	Maanpuolustus	115
6.16	Muuttoliike ja maahanmuutto	117
	Lähteet	119

1 Johdanto

Kansainvälisessä vertailussa Suomi on hyvin varautunut ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja seurauksiin.¹ Suomen rajojen sisäpuolella tapahtuvat ilmastonmuutoksen seuraukset näyttävät erityisesti seuraavan vuosikymmenen aikana jäävän verrattain pieniksi esimerkiksi huoltovarmuuden näkökulmasta.² Vakaa yhteiskunta, hyvin ylläpidetty infrastruktuuri, toimiva hallinto, korkea koulutustaso, sukupuolten tasa-arvo sekä yhteiskunnan palvelujärjestelmä parantavat Suomen mahdollisuuksia varautua ja sopeutua nopeasti muuttuvaan ilmastoon.³

Myös ilmastonmuutokseen sopeutumista vahvistavaa työtä ja toimenpiteitä on Suomessa tehty jo pitkään. Toimia, jotka parantavat yleisesti yhteiskunnan toimivuutta, sekä riskeihin ja erilaisiin ääriolosuhteisiin varautumista ei kuitenkaan aina tunnisteta ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi, vaikka ne sitä vahvistavatkin.⁴

Tästä huolimatta ilmastonmuutokseen liittyy myös Suomessa merkittäviä riskejä. Ilmastonmuutos kasvattaa riskejä muun muassa luonnolle ja sen monimuotoisuudelle, luonnonvara-aloille, infrastruktuurille ja rakennetulle ympäristölle, teollisuudelle sekä taloudelle, terveydelle ja turvallisuudelle. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa riippuvat ensisijaisesti maailmanlaajuisen ilmastonmuutoksen hillintätyön onnistumisesta. Mitä voimakkaampana päästökehitys jatkuu, sitä suurempia ja voimakkaampia muutokset tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa ovat. Päästökehityksen ajama muutos näkyy joltain osin jo nykyisessä ilmastossa, verrattaessa nykyisiä ilmasto-olosuhteita esiteolliseen aikaan.

Riskeihin vaikuttavat muuttuvan ilmaston lisäksi yhteiskunnan, talouden ja luonnon laaja-alainen kehitys ja muutos, jotka vaikuttavat altistumis- ja haavoittuvuustekijöiden kehittymiseen sekä sopeutumiskykyyn. Siten ilmastonmuutokseen liittyvä riski ja seuraukset muuttuvat sekä ilmastonmuutoksen, että altistumis- ja

1 [Notre Dame Global Adaptation Initiative, 2021](#); [Euroopan komission Disaster Risk Management Knowledge Centre, 2021](#)

2 [Mäkelä ym., 2022](#)

3 esim. [Pilli-Sihvola ym., 2018a](#)

4 [Hildén ym., 2022](#)

haavoittuvuustekijöiden ja sopeutumiskyvyn muuttuessa ajan myötä.⁵ Riskit kohdistuvat vain harvoin yhdelle toimialalle, ja toimi- ja hallinnonalojen keskinäisriippuvuudesta kumpuavien välillisten vaikutusten ja vaikutusketjujen, sekä kansainvälisten heijastevaikutusten tunnistaminen on keskeistä tehokkaassa ja ennakoivassa sopeutumisessa.⁶

Aluetasolla haavoittuvuuteen vaikuttaa ensi sijassa maantieteellinen sijainti, joten ilmastonmuutokseen liittyvät riskit pohjoisessa ja etelässä tulevat olemaan hyvin erilaisia. Myös alueiden sijainti rannikolla, sisämaassa tai ulkorajan läheisyydessä vaikuttaa alueen altistumiseen ja haavoittuvuuksiin. Maantieteellisen sijainnin lisäksi kaupunkialueiden ja maaseudun jakautumisella on suuri vaikutus riskiin; kaupunkialueilla ihmisten, rakennusten ja taloudellisen toiminnan keskittyminen pienelle alueelle vaikeuttaa esimerkiksi hulevesien hallintaa. Maaseudulla ilmastonmuutoksella voi olla suurempi vaikutus elinkeinoihin, ja muuttoliike maaseudulta kaupunkeihin voi vaikeuttaa sopeutumistoimien toteuttamista, kun alue- ja kuntatason taloudelliset resurssit vähentyvät.

Tässä raportissa kootaan uusi tieto ilmastonmuutoksen aiheuttamasta haavoittuvuudesta ja riskeistä luonnonympäristölle ja eri toimialoille Suomessa. Riski- ja haavoittuvuustarkastelu on tehty valtioneuvoston selontekona eduskunnalle annettavan kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelman 2030 taustaselvitykseksi, ja siinä esitetään ilmastolain edellyttämä riski- ja haavoittuvuustarkastelu koko laajuudessaan. Raportista löytyvät myös selonteon luvun 2.2 lähdeviitteet.

Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumis suunnitelma 2030 (KISS2030) on osa ilmastolain mukaista ilmastopolitiikan suunnittelujärjestelmää. Ilmastolaki 609/2015 ja 423/2022 edellyttävät, että KISS2030 esittää ajantasaisen riski- ja haavoittuvuustarkastelun. Ilmastolaissa edellytetään, että sopeutumista koskevat tavoitteet ja toimet on asetettava tieteellisen tiedon perusteella siten, että otetaan huomioon ilmastonmuutoksen eteneminen, sen todennäköiset myönteiset ja kielteiset vaikutukset, siihen liittyvät vaarat ja riskit sekä mahdollisuudet onnettomuuksien estämiseen ja niiden haitallisten vaikutusten rajoittamiseen. Lain mukaan suunnitelman laatimisessa on otettava huomioon ilmastonmuutosta koskeva ajantasainen tieteellinen tieto.

5 Ruuhela ym., 2023

6 Mäkinen ym., 2019; Hildén ym., 2016

Ilmastomuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa -raportti on toteutettu laajassa asiantuntijayhteistyössä. Raporttia varten ei ole tuotettu uutta tietoa, vaan se on kooste eri alojen ajankohtaisista julkaisuista ilmastomuutokseen sopeutumisesta koskien. Pääpaino on tieteellisissä julkaisuissa. Kukin kirjoittaja on vastannut omaan alaansa koskevan tiedon kokoamisesta. Osin ajankohtaista tietoa on kerätty haastattelujen ja asiantuntijakonsultointien kautta. Raportin viimeistelyyn on osallistunut myös laaja joukko virkahenkilöstöä eri ministeriöistä. Kiitämme tässä yhteydessä lämpimästi kaikkia raportin tekoon osallistuneita.

Ympäristön ja yhteiskunnan haavoittuvuutta ja kykyä sopeutua ilmastomuutokseen on tarkasteltu 2000-luvulla useissa tutkimushankkeissa, jotka rakentavat pohjan tälle tarkastelulle. Näistä mainittakoon Ympäristöklusterin ohjelmakokonaisuuteen kuulunut FINADAPT -tutkimusohjelma⁷ vuodelta 2007, valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan rahoittama Kokonaisarviointi kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumispolitiikan toimeenpanosta (KOKOSOPU)-hanke⁸, Ilmastopaneelin maakuntien sopeutumistyön ja -strategioiden tilannetta selvittänyt SUOMI-hanke⁹ ja alustavan kustannusarvion ilmastomuutoksen vaikutuksiin liittyvistä taloudellisista seurauksista tuottanut KUITTI-hanke¹⁰. Alueellisia ominaispiirteitä ja haavoittuvuuksia on tarkasteltu riskiarviota täydentävässä Ilmastomuutokseen liittyvät alueelliset ominaispiirteet ja haavoittuvuudet Suomessa -raportissa¹¹.

Keskeinen lähde tälle tarkastelulle on vuonna 2018 julkaistu SIETO-hankkeen raportti Sää- ja ilmastoriskit Suomessa – Kansallinen arvio¹². SIETO-raportin riskiarvio on edelleen monin osin ajankohtainen, ja sitä on hyödynnetty laajasti sekä KISS2030-prosessissa että tämän riski- ja haavoittuvuustarkastelun pohjana. Tässä tarkastelussa painottuvat siten toimialat, joilla uutta tutkimustietoa on tuotettu SIETO-raportin valmistumisen jälkeen. Kansallisen sopeutumissuunnitelman laadinnan prosessissa kaikkia toimialoja on kuitenkin käsitelty yhtenevästi, kaikki aiemat tarkastelut huomioiden.

7 Carter (toim.), 2007

8 Hildén ym., 2022

9 Gregow ym., 2021

10 Perrels ym., 2022

11 Virtanen (toim.), 2023

12 Tuomenvirta ym., 2018

Tässä raportissa riski- ja haavoittuvuustarkastelu esitetään hallinnonaloittain osin toimialoihin tarkentaen. Ilmastomuutokseen liittyvät riskit ovat kuitenkin moninaisia, ja ne kohdistuvat ekosysteemeihin, ihmisiin ja yhteiskuntiin monin sellaisin tavoin, joita taloudelliseen toimintaan perustuva toimialaluokittelu ei suoraan kata. Sen vuoksi jokaisen toimialan kohdalla käsitellään riskejä ja haavoittuvuuksia myös muin soveltuvien osien. Tarkastelussa painottuvat haavoittuvuustekijät, eli syyt, jotka tekevät toimialat, ekosysteemit tai ihmisryhmät herkiksi ilmastomuutoksen vaikutuksille.

Ilmastomuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa -raportti on koottu maa- ja metsätalousministeriössä vuoden 2022 aikana ja toimitettu julkaisuksi vuonna 2023. Raportin luonnos oli liitteenä lausuntopyynnössä valtioneuvoston selonteosta kansallisesta ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelmasta vuoteen 2030.

2 Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ennakoidaan ilmastoskenaarioilla

Ilmasto tarkoittaa useiden eri säätekijöiden (yhdistettyjä) tilastollisia ominaisuuksia kuten keskiarvoja, jakaumia ja ääriarvoja pitkällä ajanjaksolla.¹³

Ilmatieteessä käytetään tyypillisesti 30 vuoden mittaista ajanjaksoa ilmastollisten vertailukausien arvojen laskemissa.¹⁴ Ilmaston muuttuessa nämä tilastolliset arvot muuttuvat, mikä näkyy muun muassa vaikutusten ja ilmastoriskien kannalta oleellisten tapahtumien todennäköisyyksien muuttumisena.¹⁵ Ilmastonmuutosta ennakoidaan mallintamalla sääsuureiden tulevaa kehitystä erilaisten mahdollisten päästökehitysten pohjalta.

Globaalia päästökehitystä ennakoidaan kansainvälisten tulevaisuusskenaarioiden pohjalta. Skenaariot ovat kuvauksia mahdollisista yhteiskunnallisista kehityskuluista ja tulevaisuuskuvista. Ne perustuvat näkemyksiin päästökehityksen kannalta keskeisten ajureiden muutoksesta. Tulevaisuusskenaarioiden pohjalta voidaan laskea oletuksia kasvihuonekaasujen kertymästä, ja näiden pohjalta tehdä malliajoja sääsuureiden muutoksesta tarkasteltavalla ajanjaksolla.

Skenaariot paitsi antavat arvioita päästökehityksestä, auttavat myös ymmärtämään, millaisissa olosuhteissa erilaiset ilmastolliset kehityskulut ovat mahdollisia. Tätä kautta voidaan myös miettiä eri skenaarioiden todennäköisyyttä. Lisäksi skenaarioiden pohjana olevien sosioekonomisten narratiivien pohjalta voidaan arvioida altistumisen ja haavoituvuuden kehittymistä ja siihen liittyviä vaikuttimia tulevaisuudessa.¹⁶

13 IPCC, 2012; Katz & Brown, 1992

14 World Meteorological Organization, 2017

15 IPCC, 2014b

16 Ympäristöministeriö & Tilastokeskus, 2022

Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneeli (IPCC) julkaisi vuonna 2021 uudet tulevaisuusskenaariot, joissa pyrittiin huomioimaan sekä globaalit sosio-ekonomiset kehityskulut (väestönkasvu, kansantalouden kehitys, kaupungistuminen) **että globaaliin ilmastopolitiikkaan vaikuttava tahtotila, ja kuvaamaan näiden vaikutuksia päästökehitykseen, globaalia hillintäpolitiikkaa koskevien oletusten rinnalla.** Näitä niin sanottuja globaaleja sosioekonomisia kehityspolkujä (shared socioeconomic pathways, SSP) on neljä. SSP1–2.6 edustaa alhaisimpia, SSP2–4.5 keskitasoisia, SSP3–7.0 melko suuria ja SSP5–8.5 erittäin suuria kasvihuonekaasupäästöjä.¹⁷ Luvut SSP-kehityspolkujen perässä kuvaavat säteilypakotetta eli säteilytehon määrää neliometriä kohden (W/m^2) tämän vuosisadan lopussa. Mitä suurempi luku on, sitä voimakkaammin kasvihuonekaasut ilmakehässä pidättävät maapallolle saapuvaa lämpösäteilyä, nostaen globaalia keskilämpötilaa.

Ilmastomuutoksen tulevia vaikutuksia ennakoidaan *ilmastoskenaarioilla*.

Ilmastoskenaariot kuvaavat sääsuureiden (lämpötila, sademäärät, tuulisuus) kehitystä erilaisten päästökehitysten seurauksena, ja antavat sitä kautta mahdollisuuden ennakoida mahdollisia tulevaisuuden ilmasto-olosuhteita.

Ilmastoskenaariot on tuotettu *ilmastomalleilla*, jotka ovat matemaattisia malleja eli kuvauksia ilmastojärjestelmän fyysikaalisesta osasta ja sen lainalaisuuksista. Malli laskee ennusteen sääsuureiden tulevasta muutoksesta sille annettujen lähtöoletusten, kuten päästökehityksen, pohjalta. Huomioimalla useiden ilmastomallien antamat tulokset, voidaan parantaa arviota siitä, millaisia vaikutuksia päästökehityksellä ja siitä seuraavalla globaalilla lämpötilan nousulla on eri ilmastolisiin suureisiin eri alueilla.¹⁸

Aiemmissa IPCC:n arvointiraporteissa käytössä olleet ilmastoskenaariot (esimerkiksi SSP2–4.5 suhteen vertailukelpoiset RCP4.5 ja vanhempi SRES B1) ja edellisen sukupolven ilmastomallit antoivat hyvin samankaltaisia tuloksia kuin uusien SSP-skenaarioiden pohjalta tehdyt malliajot. Oleellisin muutos uusien malliajojen mukaisten skenaarioiden tuloksissa Suomen kannalta on, että kesien arvioidaan lämpenevän Suomessa enemmän verrattuna aiempiin skenaarioihin. Lämpeneminen on kuitenkin jatkossakin voimakkaampaa talvella kuin kesällä.¹⁹

17 Ruuhela ym., 2023

18 Kallioinen, 2021

19 Ruosteenoja & Jylhä, 2021

Suomen ilmastoskenaariot on lämpötilan ja sateisuuden osalta päivitetty uusimpien IPCC-skenaarioiden mukaisesti vuonna 2021. Päivityksessä on hyödynnetty uusimpia, kuudennen sukupolven ilmastomalleja (CMIP6-mallit). Näiden mallien tuloksiin perustui pitkälti myös vuonna 2021 julkaistu IPCC:n kuudennen arviointiraportin ensimmäinen, ilmastomuutoksen fysikaaliseen taustaan keskittyvä osaraportti.^{20, 21}

Tässä raportissa uusia SSP-skenaarioita hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan, muutoin viitataan edellisen arviointiraportin aikaisiin RCP-skenaarioihin. Vuonna 2021 julkaistuista uuden sukupolven malliajoista on tätä raporttia laadittaessa käytettävissä ensimmäiset arviot ilmastollisista perusmuuttujista. Mutkikkaampien indeksien osalta käytetään sekä vanhemman mallisukupolven, että alueelliselta erotuskyvyltään tarkempien alueellisten ilmastomallien antamia tuloksia.

Viime vuosien päästökehityksen ja hillintäpolitiikan valossa erittäin suurten päästöjen skenaarion toteutumismahdollisuuden arvioidaan pienentyneen.²² Tämän vuoksi tässä raportissa tarkastellaan pääasiassa keskitasoisen, SSP2–4.5 skenaarion mukaisen päästökehityksen ajamia muutoksia.

On huomattava, että ilmastomuutoksen vaikutuksiin ja seurauksiin erityisesti pitkällä aikavälillä liittyy runsaasti epävarmuuksia esimerkiksi ilmastomalleihin, päästökehitykseen ja yhteiskunnan yleiseen tulevaisuuskehitykseen liittyvistä epävarmuuksista johtuen.²³ Epävarmuuteen pyritään vastaamaan ennakoimalla erilaisia yhteiskunnallisia kehityskulkuja ja miettimällä keinoja sopeutua niiden luomiin tulevaisuuskuviin. Näin voidaan kehittää toimintamalleja, joita operationalisoidaan toteutuneiden kehityskulkujen tai tarkentuneiden ennusteiden mukaisesti.

20 [IPCC, 2021](#)

21 [Ruosteenoja & Jylhä, 2021](#)

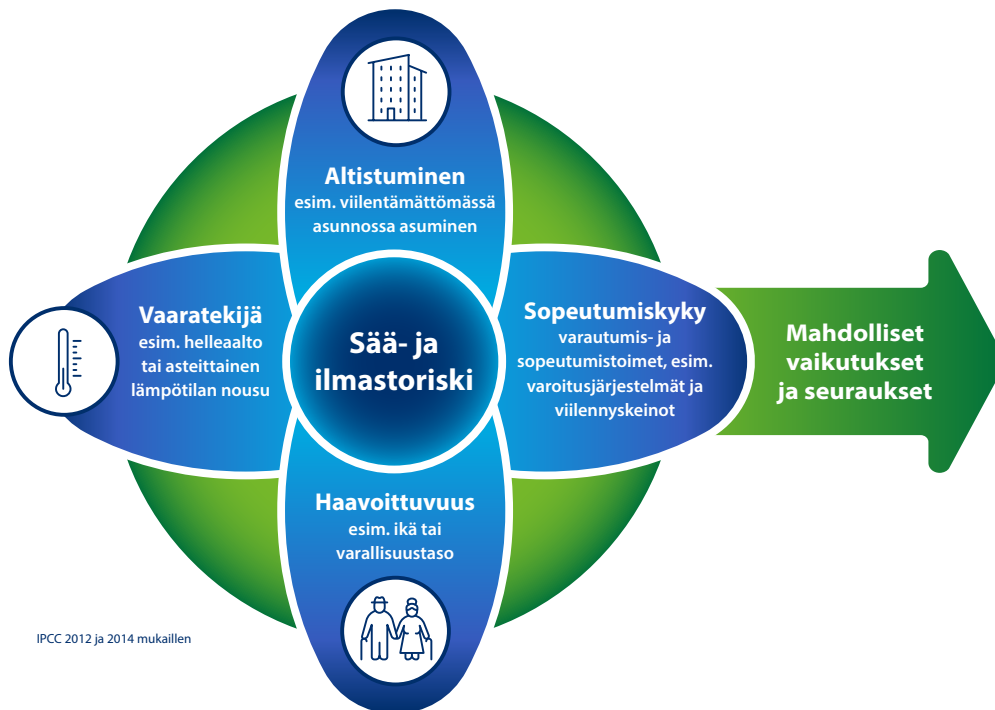
22 [Hausfather & Peters, 2020; Ruosteenoja & Jylhä, 2021](#)

23 [Mäkelä ym., 2022](#)

3 Ilmastonmuutoksen aiheuttaman riskin osatekijät

Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n mukaan ilmastonmuutokseen liittyvä *riski* muodostuu kolmesta tekijästä: ilmastonmuutokseen liittyvästä vaaratekijästä, altistumisesta ja haavoittuvuudesta.

Kuvio 1. Ilmastonmuutokseen liittyvän riskin määritelmä



Vaaratekijänä ilmastonmuutos näkyy sekä hitaammin muuttuvina ilmastollisina ja luonnonilmiöinä, että äärevöityvinä veden kiertoon ja säähän liittyvinä ilmiöinä. Hitaammin muuttuvia ilmiöitä ovat esimerkiksi keskilämpötilan ja merenpinnan nousun sekä sateisuuden lisääntyminen. Ääreviä, tilapäisiä ilmiöitä ovat esimerkiksi helle- ja kuivuuskaudet ja toisaalta voimistuvat rankkasateet.²⁴

Sään ääri-ilmiöillä tarkoitetaan tapahtumia, joiden todennäköisyys on tilastollisen jakauman perusteella pieni. Todennäköisyydelle ei kuitenkaan ole asetettu mitään yleistä raja-arvoa. Lisäksi sään ääri-ilmiöinä tarkastellaan käytännössä usein vaikutuksiltaan merkittäviä tapahtumia, vaikka ne eivät ilmastollisesta näkökulmasta tilastollisesti välttämättä ääri-ilmiötä olisikaan. Sään ääri-ilmiön määritelmä riippuu myös ajasta ja paikasta.²⁵

Ilmastonmuutos tyypillisesti lisää sään ääri-ilmiöiden todennäköisyyttä ja toisaalta voimistaa niitä. Näin ollen nykyään harvinaiset ääri-ilmiöt voivat tulevaisuudessa toistua tiheästikin, aiheuttaen silti merkittäviä vaikutuksia. Toisaalta sopeutumisen kautta ääri-ilmiöiden vaikutuksia voidaan vähentää ja kasvattaa siten siedettävien sääolojen haarukkaa.

Altistumisella tarkoitetaan ihmisten ja yhteisöjen, elinkeinojen, luontoympäristön, ekosysteemipalveluiden ja luonnonvarojen, infrastruktuurin tai pääoman sijoittumista sellaiseen paikkaan tai olosuhteisiin, että niille aiheutuu mahdollisesti vahinkoa tai vaaraa ilmastonmuutoksen myötä.²⁶ Pääoma voi olla taloudellista, yhteiskunnallista tai kulttuurista pääomaa. Esimerkkeinä ovat tulvariskialueella sijaitseva infrastruktuuri ja taloudellinen pääoma sekä vailla viilentämismahdollisuuksia olevassa asunnossa helteille altistuva ihminen.

Altistuminen ei kuitenkaan välttämättä tarkoita, että negatiivisia vaikutuksia tapahtuu. Negatiivisten vaikutusten synnyn edellytys on, että altistunut kohde on myös jollain tavalla haavoittuva vaaratekijälle.²⁷

24 IPCC, 2021

25 esim. IPCC, 2012

26 IPCC, 2014b; IPCC, 2022

27 IPCC, 2012; Blaikie ym., 2003

Haavoittuvuus tarkoittaa IPCC:n nykyisen määritelmän mukaan 'herkkyttä potentiaalisesti vahinkoa tai vaaraa aiheuttavalle ilmiölle.'²⁸ Haavoittuvuutta ilmenee yksilöiden ja yhteisöjen sekä instituutioiden tasoilla. Haavoittuvuutta voi ilmetä kaikilla edellä luetelluilla ilmastomuutokselle alttiilla kohteilla, ja se on riippuvainen ajasta ja paikasta.

Haavoittuvuuden määritelmä on kuitenkin monitahoinen, eikä sille ole tieteellisessä kirjallisuudessa yksiselitteistä määritelmää.²⁹ Haavoittuvuuden määritelmä oli yksi KISS2030:n taustaksi toteutetun tiedesparrauksen tavoitteita. Tiedesparraus toteutettiin keväällä 2022 yhdessä Suomalaisen tiedeakatemian kanssa. KISS2030 haavoittuvuuden operationalisointi perustuu tiedesparrauksessa käytyihin keskusteluihin ja tieteelliseen kirjallisuuteen, ja se on KISS2030 sihteeristön muotoilema. Tässä riski- ja haavoittuvuustarkastelussa haavoittuvuus operationalisoidaan seuraavasti:

Yksilötason haavoittuvuudella tarkoitetaan yksittäisten ihmisten, ja infrastruktuurin tai luontoympäristön kohdalla yksittäisten kohteiden, herkkyttä ilmastomuutoksen vaikutuksille. Ihmisten kohdalla haavoittuvuus liittyy vähäisiin taidollisiin, taloudellisiin, tiedollisiin, tai sosiaalisiin voimavaroihin, vaikutusmahdollisuuksien puutteeseen tai fyysisiin tai terveydellisiin ominaisuuksiin. Infrastruktuurin kohdalla haavoittuvuus liittyy sen ominaisuuksiin. Esimerkiksi rakenteelliset ratkaisut vaikuttavat yksittäisten rakennusten vahinkoriskiin tulvatilanteissa.³⁰ Luontoympäristössä yksittäiset kohteet tai paikat voivat olla haavoittuvampia ilmastomuutokselle kuin toiset, esimerkiksi ihmisten toiminnan tai lajiston levittäytymisen esteiden vuoksi.³¹

Yhteisötason haavoittuvuutta tarkastellaan yksilötason määritelmän mukaisesti ihmisryhmien, kuten vanhusten ja vammaisten, sekä talouden toimialojen, kuten maatalouden, ja ammattiryhmien, kuten maanviljelijöiden, tasolla. Yhteisötason haavoittuvuudella voidaan myös tarkoittaa kyvyttömyyttä hyödyntää yksilöiden ja instituutioiden voimavaroja.

Institutionaalisella haavoittuvuudella tarkoitetaan instituutioihin liittyvän tahdon, resurssien tai keinojen puutetta tai kyvyttömyyttä ennakoida, vähentää ja varautua ilmastomuutokseen liittyviin riskeihin. Instituutioilla voidaan

28 IPCC, 2022

29 Wisner, 2016

30 mm. Pilli-Sihvola ym., 2018b

31 Pöyry & Aapala (toim.), 2020

tarkoittaa sekä virallisia instituutioita, kuten julkishallinnon organisaatiot, lait ja muu säädäntö, suunnitelmat ja strategiat, että epävirallisia instituutioita, kuten kulttuuri, perinteet ja tavat, jotka määrittelevät ihmisten ja organisaatioiden käyttäytymistä.³² Institutionaalisen haavoittuvuuden vähentäminen on keskeistä yhteisö- ja yksilötason haavoittuvuuksien vähentämiseksi.³³

Tässä riski- ja haavoittuvuustarkastelussa haavoittuvuutta tarkastellaan institutionaalisella ja yhteisötasolla ekosysteemien, toimialojen ja ihmisten näkökulmasta. Institutionaalista haavoittuvuutta on arvioitu laajasti VN TEAS KOKOSOPU -hankkeen loppuraportissa³⁴, joka esittää kokonaisarvion Suomen ilmastonmuutokseen sopeutumiskäytännön toimeenpanosta.

Sopeutumiskyky on olennaisessa osassa ilmastonmuutokseen liittyvien riskien vähentämisessä ja ilmastonmuutoksesta hyötymisessä. Haavoittuvilla ihmisillä, yhteisöillä ja organisaatioilla on kapasiteettia myös toimia haavoittuvuutensa vähentämiseksi.³⁵ Sopeutuminen tarkoittaa muuttuviin olosuhteisiin tai ennakoituun muutokseen varautumista ja mukautumista niin, että vaaratekijöille altistuminen ja/tai toimijan tai luonnonympäristön haavoittuvuus muutoksille vähenee, pienentäen näin kielteisten vaikutusten riskiä. Sopeutuminen käsittää sekä lyhyen tähtäimen riskienhallintaan tähtäävät varautumistoimet, että pidemmän aikavälin sopeutumisen muuttuviin olosuhteisiin.

Laajemmin ajateltuna sopeutumistoimilla voidaan paitsi vähentää haavoittuvuutta ja pienentää ilmastonmuutoksen aiheuttamia riskejä, myös tukea yhteiskunnallista muutosta kohti ilmastonkestävämpää tilaa. Pitkällä aikavälillä sopeutuminen lisää siten yhdyskuntien ja luonnonjärjestelmien ilmastonkestävyyttä.³⁶

Tässä tarkastelussa sopeutumiskykyyn liittyvät kysymykset on tietoisesti jätetty vähäisempään osaan, mutta eri sektoreilla jo tehdyt sopeutumistoimet on huomioitu kansallisen sopeutumis suunnitelman valmistelussa.

32 Papathoma-Köhle ym., 2021

33 Birkmann ym., 2016; Thaler ym., 2019

34 Hildén ym. 2021

35 Blaikie ym., 2003

36 IPCC, 2012 ja IPCC, 2014a, kts. myös IPCC, 2022

Puhuttaessa yhteiskunnan kyvystä selviytyä häiriötilanteista ja kriisioloista on huoltovarmuudella keskeinen sija. Huoltovarmuudella tarkoitetaan väestön toimeentulon, maan talouselämän ja maanpuolustuksen kannalta välttämättömien taloudellisten toimintojen ja järjestelmien turvaamista vakavissa häiriöissä ja poikkeusoloissa. Huoltovarmuustoiminnan tavoitteena on varmistaa, että kansalaisille tärkeät perusasiat toimivat myös poikkeusoloissa: sähköä, lämpöä, polttoaineita, elintarvikkeita ja puhdasta juomavettä riittää, sosiaali- ja terveydenhuolto toimii, viestintäverkot toimivat ja päivittäislogistiikka sekä maksuliikenne pelaavat.

Ilmastonmuutoksen sekä kansalliset että kansainväliset vaikutukset voivat vaikuttaa huoltovarmuuden turvaamiseen, sillä huoltovarmuus pohjautuu toimiviin kansainvälisiin poliittisiin, taloudellisiin ja teknisiin yhteyksiin sekä näiden jatkuvuuteen. Ilmastonmuutoksen torjuminen ja siihen sopeutuminen huomioidaan aiempaa vahvemmin myös huoltovarmuuden kehittämisessä ja toimenpiteissä.³⁷

Ilmastonmuutos voi myös avata hyötynäkökulmia niille, jotka pystyvät sopeutumaan muuttuviin olosuhteisiin tai joiden elinolosuhteisiin, elämäntapaan tai elinkeinoihin muuttuvat ilmasto-olosuhteet sopivat. Muutoksesta hyötyminen vaatii kuitenkin aktiivista ennakoivaa toimintaa. Riskien hallinnan ja haavoittuvuuden näkökulmasta ilmastonmuutoksen vaikutuksille altistuminen on aina epäsuotuisa tapahtuma.³⁸

37 Mäkelä ym., 2022

38 IPCC, 2022

4 Ilmastonmuutos ja sen aiheuttamat vaaratekijät Suomessa

4.1 Suomessa ilmasto lämpenee keskimääräistä voimakkaammin

Suomen vuosikeskilämpötila on jo kohonnut noin 2 °C esiteolliseen aikaan verrattuna.³⁹ Tämä lämpeneminen on noin kaksi kertaa enemmän kuin maapallolla keskimäärin. Viimeisten neljän vuosikymmenen aikana lämpenemisvauhti on ollut noin puoli astetta vuosikymmenessä. Vuosi 2020 oli Suomessa 1800-luvun puoleen väliin ulottuvan mittaushistorian lämpimin. Suomen ilmastolle on kuitenkin edelleen tyypillistä suuri vuosien välinen luontainen vaihtelu.⁴⁰

Keskilämpötilan muutoksen suuruus vaihtelee myös vuodenajan ja alueen mukaan. Taulukossa 1 nähdään neljän ilmastollisen vertailukauden lämpötilan vuodenaika- ja vuosikeskiarvoja kolmella eri havaintoasemalla.⁴¹

39 Ruosteenoja & Jylhä, 2021

40 Ilmatieteen laitos, 2021b

41 Ilmatieteen laitos, 2021c

Taulukko 1. Lämpötilan vuodenaika- ja vuosikeskiarvoja neljällä eri ilmastollisella, 30 vuoden mittaisella, vertailukaudella

Helsinki Kaisaniemi

Jakso	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
Kevät	3,6	3,9	4,3	4,7
Kesä	15,9	15,9	16,2	16,6
Syksy	6,3	6,2	6,6	7,1
Talvi	−4,8	−3,8	−3,5	−2,5
Vuosi	5,3	5,6	5,9	6,5

Jyväskylä Lentoasema

Jakso	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
Kevät	1,8	2,0	2,4	2,7
Kesä	14,5	14,6	14,8	15,1
Syksy	3,2	3,1	3,5	4,0
Talvi	−8,9	−7,9	−7,7	−6,5
Vuosi	2,6	3,0	3,3	3,8

Sodankylä Tähtelä

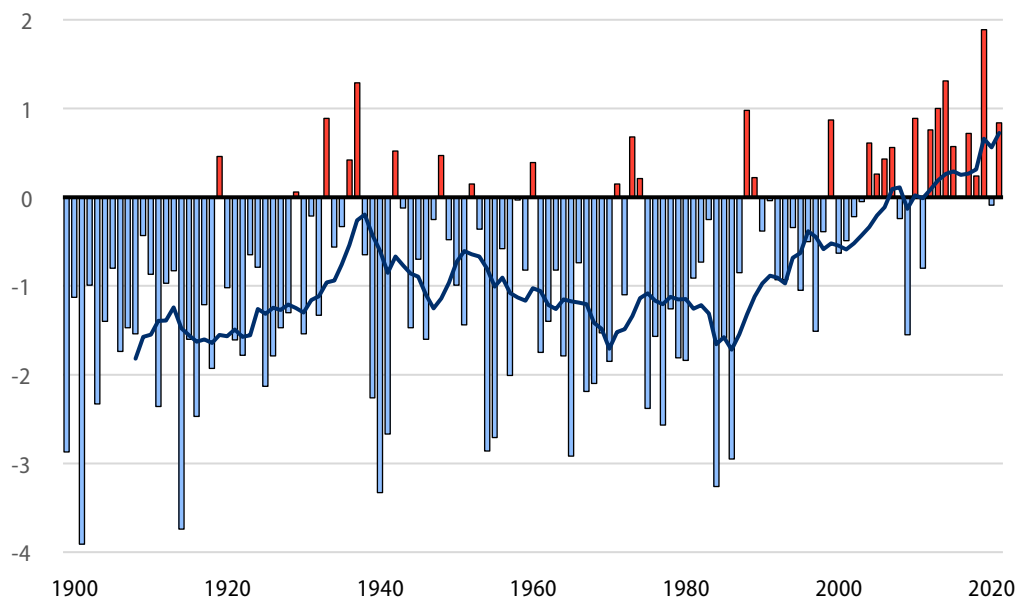
Jakso	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
Kevät	−1,9	−1,5	−1,2	−0,8
Kesä	12,3	12,4	12,6	13,1
Syksy	−0,6	−0,8	−0,3	0,4
Talvi	−13,9	−13,1	−12,6	−11,4
Vuosi	−1,0	−0,8	−0,4	0,3

Keskilämpötilan nousu on havaittavissa selvästi eri vertailukausien arvioissa.

Kuviossa 2 esitetään vuosikeskilämpötilojen poikkeama uuden, vuonna 2021 käyttöön otetun⁴² ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 arvosta jaksolla 1900–2021. Tällä vertailukaudella Suomen keskilämpötila oli noin 2,9 astetta. Vertailukauden 1991–2020 keskilämpötila on noin 0,6 astetta korkeampi kuin jakson 1981–2010 keskilämpötila. Suurinta muutos on ollut joulukuussa, pienintä kesä- ja lokakuussa. Vuosien 1961–1990 jaksoon verrattaessa vertailukauden 1991–2020 keskilämpötila on noussut noin 1,3 astetta.

Kuvio 2. Suomen vuosikeskilämpötilan poikkeama jakson 1991–2020 keskiarvosta vuosina 1900–2021. Punaiset pylväät kuvaavat tavanomaista lämpimämpiä vuosia ja siniset pylväät tavanomaista kylmempiä vuosia. Tummansininen viiva kuvaa keskilämpötilan poikkeamien 10-vuotista liukuvaa keskiarvoa.⁴³

Lämpötilan poikkeama (1991–2020) °C

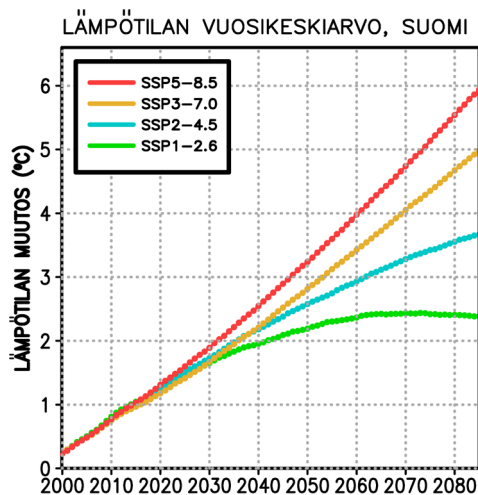


42 Jokinen ym., 2021

43 Ilmatieteen laitos, 2021c

Uusimpien CMIP6-malliajoihin pohjautuvien ilmastoskenaarioiden mukaan Suomen vuosikeskilämpötilan arvioidaan kohoavan noin 2–6 astetta vuosisadan loppuun mennessä, päästöskenaariosta riippuen (Kuvio 3).⁴⁴

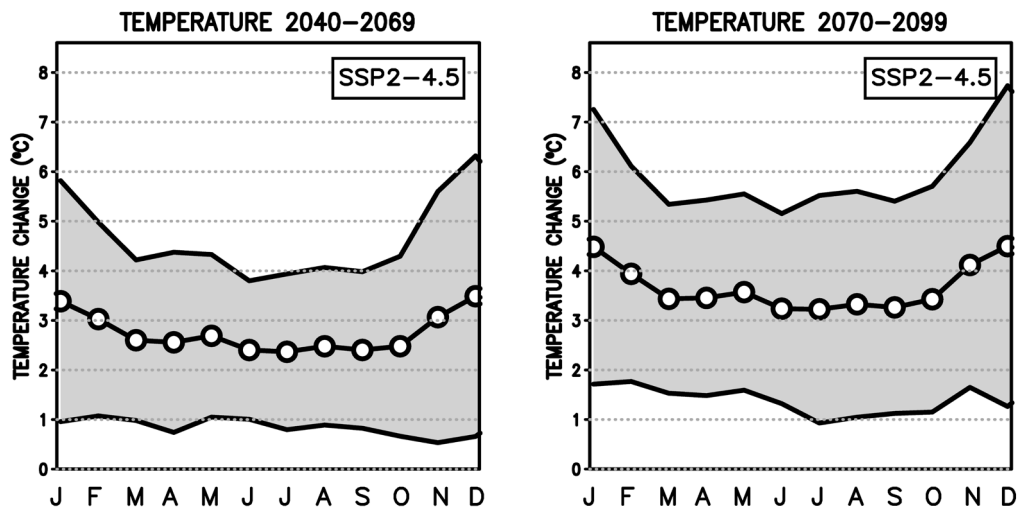
Kuvio 3. Suomen vuosikeskilämpötilan muutos jaksolla 2000–2085 verrattuna jaksoon 1981–2010. Muutokset neljässä eri ilmastoskenaariossa perustuvat 28 maailmanlaajuisen ilmastomallin antamien tulosten keskiarvoihin.



Lämpeneminen on marras–helmikuussa voimakkaampaa kuin muina kuukausina (Kuvio 4). Alueelliset erot lämpenemisessä ovat hyvin vähäisiä lukuun ottamatta marras-joulukuuta, jolloin lämpeneminen on maan pohjoisosassa hieman voimakkaampaa eteläosaan verrattuna.

44 Ruosteenoja & Jylhä, 2021

Kuvio 4. Lämpötilamuutos kuukausittain vuosisadan puoliväliin (vasen) ja loppuun (oikea) mennessä SSP2–4.5 skenaariossa verrattuna jaksoon 1981–2010. Valkoiset ympyrät kuvaavat 28 CMIP6 ilmastomallin keskiarvoa ja harmaa varjostus muutoksen 90 % epävarmuusväliä.



Lämpötilan vaihtelu vuorokauden sisällä, eli vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan ero, pysyy kesällä lähes muuttumattomana, mutta pienenee marras–huhtikuussa lämpötilan vuorokausiminimien lämmitessä voimakkaammin vuorokausimaksimeihin verrattuna.

Suomessa vuoden keskilämpötila nousee sadassa vuodessa noin 1,6 kertaa niin paljon kuin maapallolla keskimäärin.⁴⁵ Voimakkaampi lämpeneminen johtuu ilmastojärjestelmän palauteilmiöistä. Korkeilla leveysasteilla ilmaston lämmitessä hupeneva jää- ja lumipeite kiihdyttää lämpenemistä, sillä sulaa maa ja avoin merenpinta heijastaa saapuvaa auringonsäteilyä heikommin ja entistä suurempi osa auringon säteilystä jää lämmittämään pintaa.

Lämpötilassa havaitut muutokset vaikuttavat suoraan sekä havaittuihin että ennakoituihin muutoksiin erilaisissa lämpötilaan perustuvissa indikaattoreissa. Näitä ovat esimerkiksi pakkas- ja hellepäivien määrä, termisten vuodenaikojen pituus, kasvukauden pituus ja lämpösumma, hallan todennäköisyyden muuttuminen, lämmityskauden pituus ja lämmitystarveluvut.

45 Ruosteenoja & Jylhä, 2021

4.2 Talvien lumipeiteaika lyhenee

Ilmastonmuutos on vaikuttanut Suomessa ennen kaikkea talven olosuhteisiin, ja talvet ovat kokeneet merkittäviä muutoksia viime vuosikymmenien aikana. Termisen talven pituus, eli jakso jolloin vuorokauden keskilämpötila on pysyvämmiin pakkasen puolella, on lyhentynyt kahdella viikolla etelä- ja länsirannikolla edelliseen vertailukauteen nähden. Jaksoon 1961–1990 nähden termisen talven pituudesta on Ahvenanmaalla lähtenyt yli kuukausi pois.⁴⁶

Talven lyhentyminen on johtanut etelässä lumipeitteen vähenemiseen. Pysyvä lumi, eli talven pitkäkestoisimman yhtenäisen lumipeitteen jakso on lyhentynyt maan etelä- ja keskiosassa edelliseen vertailukauteen nähden 1–2 viikkoa. Jaksoon 1961–1990 nähden muutos on vielä suurempi: pysyvän lumipeitteen pituus on etelä- ja länsirannikolla lyhentynyt jopa yli kuukaudella.

Ilmaston lämpenemisen seurauksena talvella entistä suurempi osa sademäärästä saadaan lumen sijasta vetenä.⁴⁷ Tämä osuus kasvaa etenkin alku- ja loppupalvesta, mutta vuosisadan lopulla eteläisimmässä Suomessa myös tammi–helmikuun sateista voidaan saada yli puolet vetenä. Tämä johtaa lumisateiden kokonaismäärän pienemiseen huolimatta siitä, että talven kokonaissademäärät jonkin verran kasvavatkin. Lumisateet vähenevät lounaissaaristossa kolmanneksella jo vuosisadan puoliväliin mennessä ja jäävät alle puoleen nykytilanteesta vuosisadan lopulla. Toisaalta Lapissa muutoksen arvioidaan jäävän selvästi pienemmäksi, vuosisadan lopullakin vajaat 20 %.

Roudan syvyys pienenee ja routakausi lyhenee. Talvien lauhtuessa roudan syvyyden arvioidaan pienenevän ja routakauden pituuden olevan keskimäärin lyhyempi.⁴⁸

Talvisten lämpötilavaihteluiden ja pakkassumman odotetaan pienenevän, sillä eniten lämpenevät kireimmät pakkaset. Nykyilmastossa (1980–2009) –27 °C alittavia lämpötiloja esiintyy laajalti Itä- ja Pohjois-Suomessa lähes joka talvi ja Etelä-Suomen sisämaassakin noin kahtena talvena kolmesta. Vastaavasti kuluvan

46 Ilmatieteen laitos, 2021a

47 Räisänen, 2016

48 Lehtonen ym., 2020

vuosisadan puolivälin paikkeilla (2040–2069, RCP4.5) näin kireiden pakkasten arvioidaan olevan Etelä- ja Länsi-Suomessa jo hyvin harvinaisia. Lähes jokatalvisia ne olisivat enää vain Keski-Lapin kylmimmillä seuduilla.⁴⁹

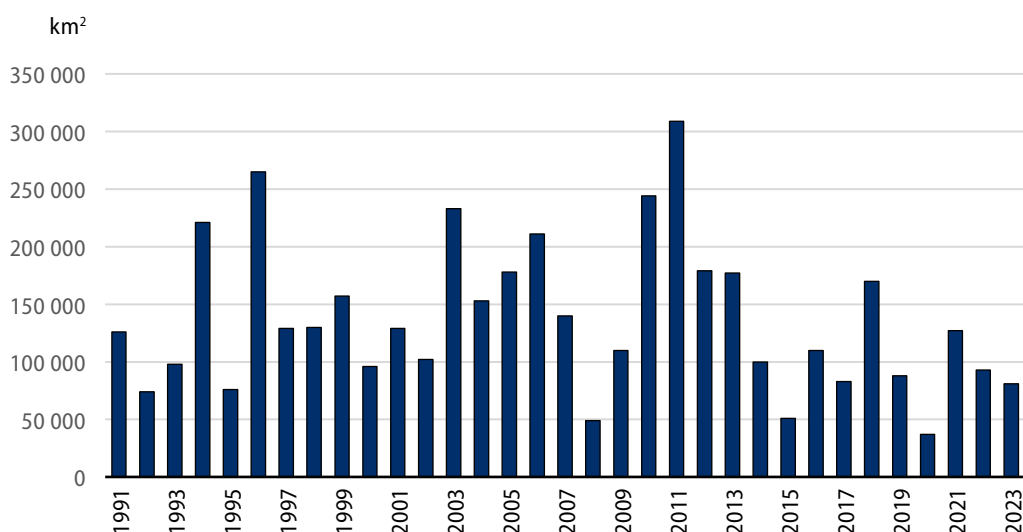
4.3 Itämeren jääpeiteaika lyhenee, mutta jäätilanteet voivat olla haastavia myös tulevana vuosikymmeninä

Ilmastonmuutos vaikuttaa Itämeren merijään esiintyvyyteen ja laajuuteen.

Merijäähän vaikuttaa eniten ilman lämpötilan muutokset, mutta jään alueelliseen esiintyvyyteen ja levinneisyyteen vaikuttaa myös tuuliolot.

Itämeren jäätyminen alkaa tyypillisesti Perämeren pohjoisosasta ja Suomenlahden pohjukasta marraskuun aikana. Keväällä vastaavasti Suomenlahti vapautuu jäädä pääosin huhtikuun aikana ja toukokuun puoliväliin mennessä jäätä on vain Perämeren pohjoisosissa. Itämeren jääpeite on tavallisesti laajimmillaan helmi–maaliskuun vaihteessa. Vuosien välinen vaihtelu on kuitenkin suurta, sillä jääpeitteen suurimman laajuuden vaihteluväli talvina 1991–2020 oli 37 000–309 000 km², keskiarvon ollessa 141 000 km² (Kuvio 5). Vuoden 2020 maksimilaajuus 37 000 km² on mitaushistorian vähäisin.

Kuvio 5. Jään suurin laajuus Itämerellä talvina 1991–2023.⁵⁰



49 Asikainen ym., 2019

50 Ilmatieteen laitos, 2022

Viimeisen sadan vuoden aikana jäätalvet ovat lauhtuneet. Jakson 1921–2020 aikana jääpeitteen vuotuinen maksimilaajuus on pienentynyt noin 30 %, eli trendi vähenemisessä on noin $-6\,400\text{ km}^2$ vuosikymmenessä.⁵¹ Jäätalven pituus, eli ajanjakso jolloin jäätä esiintyy, on vastaavasti lyhentynyt sadassa vuodessa 18 päivällä Pohjanlahdella (Kemi) ja 41 päivällä Suomenlahdella (Loviisa).⁵²

Itämeren jääpeiteaika lyhenee. Itämeren jääpeitteen maksimilaajuus ja anka-rien jäätalvien todennäköisyys pienenevät vuoteen 2050 samalla, kun leudot ja erittäin leudot jäätalvet yleistyvät.⁵³ Keskimääräinen jäänpaksuus puolestaan vähenee 30–40 cm vuoteen 2060 mennessä.⁵⁴ Pohjanlahden jäätilannetta selvittäneiden tutkimusten tulosten perusteella Perämeren pohjoisosa jäätyy jokaisena talvena 2050-luvulla. Jään paksuus on tuolloin enimmillään 80 cm ja mediaani on 50 cm. Mallinnusten perusteella Selkämeren eteläosassa on 2050-luvulla yli 50 prosentin todennäköisyys jään esiintymiselle ja paksuuden mediaani on yli 10 cm. Jäätalven pituus lähellä 2050-lukua voi Perämeren pohjoisosassa ylittää usein 150 päivää, mutta muualla pituus on lähempänä sataa päivää ja vaihtelee hyvin paljon.⁵⁵ Tämä vuosikymmenten ja vuosisatojenkin pituisissa aikahistorioissa näkyvä talvien välinen vaihtelu tarkoittaa sitä, että jäänmurrossa on edelleen varauduttava myös anka-rien talvien tuomiin haasteisiin ulkomaankaupan merikuljetusten varmistamiseksi.⁵⁶

Jäätilanteet voivat kuitenkin olla haastavia myös tulevana vuosikymmeninä.

Edestakaisin sahaavat kylmät ja leudot jaksot aikaansaavat merenkulkua hankaloittavat jääolot. Jäättilanne tulee olemaan hyvin erilainen Itämeren eri osissa. Esimerkiksi Selkämerellä ja läntisellä Suomenlahdella talvien lyheneminen vähentää jääpeitettä.

51 [Meier ym., 2022](#)

52 [HELCOM, 2021](#)

53 [Luomaranta ym., 2010](#)

54 [Vajda ym., 2011](#)

55 [Erkkilä, 2021](#)

56 [Heinonen, 2019](#)

4.4 Terminen kasvukausi pitenee

Terminen kasvukausi alkaa, kun lumi on sulanut aukeilta paikoilta ja vuorokauden keskilämpötila nousee pysyvästi yli +5 asteen. Koska keväällä vuorokauden keskilämpötila voi vaihdella pitkään +5 asteen molemmin puolin, tilannetta seurataan 10 vuorokauden ajan.⁵⁷

Termisen kasvukauden aikana kertyvä tehoisan lämpötilan summa, jonka yksikkö on vuorokausiaste °Cvrk, vaihtelee Suomessa huomattavasti, etelä- ja lounaisrannikon noin 1 600 °Cvrk ja Käsivarren Lapin paikoin jopa alle 500 °Cvrk välillä. Tehoisaa lämpösummaa kertyy päiviltä, jolloin vuorokauden keskilämpötila on +5 asteen yläpuolella. Summaan lasketaan kasvukauden aikana vuorokauden keskilämpötilan viiden asteen ylittävä osa. Korkein Suomessa sääasemalla mitattu kasvukauden lämpösumma on 1974 °Cvrk Turussa vuodelta 2018.⁵⁸

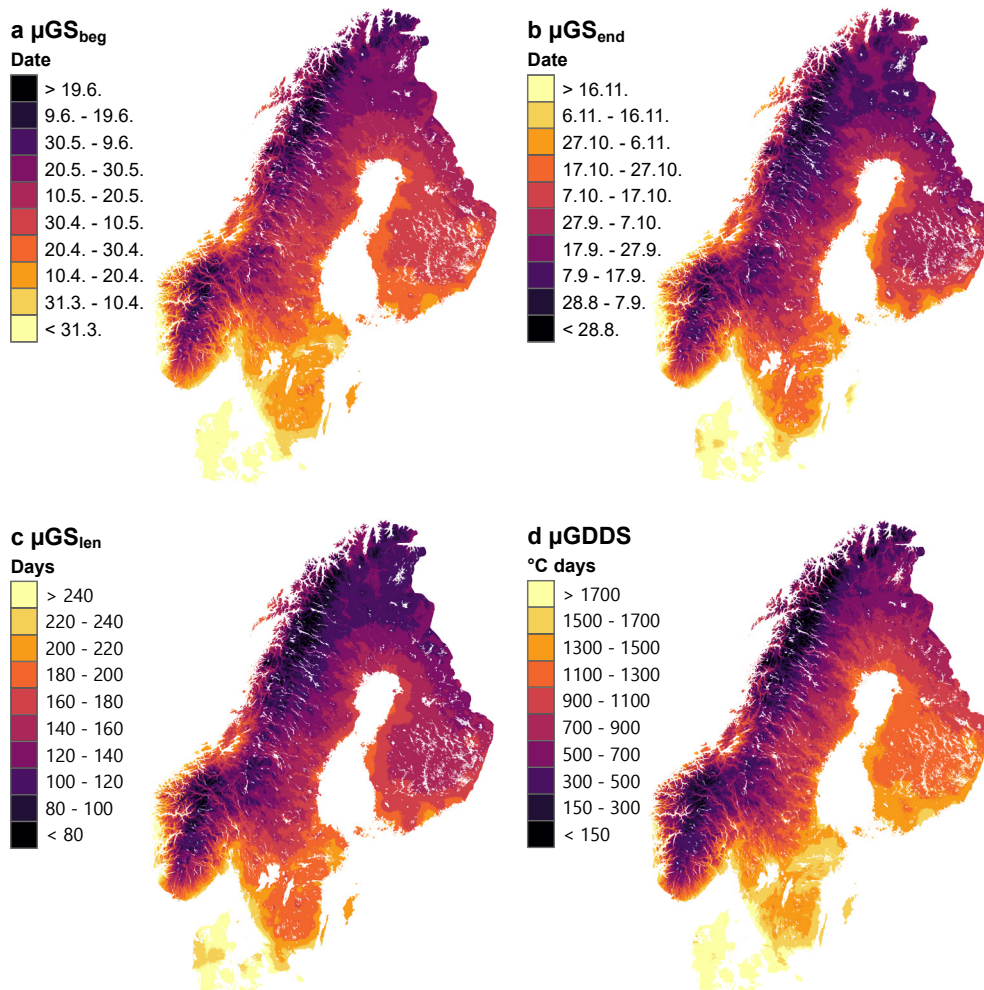
Terminen kasvukausi alkaa jakson 1990–2019 keskiarvona eteläisessä Suomessa paikoin jo huhtikuun puolivälissä, laajalti Keski-Suomessa toukokuun alkupuolella ja pääosassa Lappia toukokuun loppuun mennessä (Kuvio 6).⁵⁹ Termisen kasvukauden loppu taas koittaa Lapissa ja paikoin myös Itä-Suomessa syyskuun aikana, Keski-Suomessa lokakuun alkupuolella ja Etelä-Suomessa lokakuun loppupuolella, rannikolla paikoin vasta marraskuun puolella.

57 Ilmatieteen laitos, 2023

58 Ilmatieteen laitos, 2023

59 Aalto ym., 2021

Kuvio 6. Termisen kasvukauden keskimääräisen alkupäivämäärän, loppupäivämäärän, pituuden ja sen aikana kertyneen tehoisan lämpösumman alueellinen vaihtelu Pohjois-Euroopassa perustuen vuosien 1990–2019 havaintoihin.



Ilmaston lämpenemisen myötä terminen kasvukausi on pidentynyt ja kasvukauden tehoisa lämpösumma lisääntynyt vuosina 1950–2019. Kasvukauden alku on aikaistunut maan länsiosien paikoin reilusta parista viikosta itäosien paikoin vain muutamaan päivään. Kasvukauden lopun osalta suurimmat muutokset sijoittuvat Lappiin ja maan itäisimpiin osiin. Näillä alueille kasvukauden loppu on siirtynyt paikoin jopa parilla viikolla myöhäisemmäksi. Maan länsiosassa muutos on puolestaan jäänyt vähäisemmäksi, paikoin vain muutamaan päivään.

Muutosten epätasainen jakautuminen alun ja lopun osalta tasoittaa kasvukauden kokonaispituudessa havaittujen muutosten alueellista jakaumaa. Valtaosassa maata terminen kasvukausi on täten pidentynyt noin kahdella viikolla, mutta paikoin esimerkiksi rannikkoalueilla jopa lähes kuukaudella. Pidentyneen kasvukauden myötä myös sen aikana kertynyt tehoisa lämpösumma on kasvanut. Muutos on ollut Lapin noin 100 °Cvrk:n ja rannikkoalueiden reilun 300 °Cvrk:n välillä.⁶⁰

Ilmaston lämpenemisen myötä terminen kasvukausi pitenee ja sen aikana kertyvä tehoisa lämpösumma kasvaa, eli kasvukauden alkamis- ja päättymisajankohdat ja kesto muuttuvat entisestään. Yhden alueellisen ilmastomallin tuloksiin perustuen kasvukausi pitenee Suomessa etelä- ja länsirannikoiden alueilla enimmillään yli 3 kuukautta vuosisadan loppuun mennessä. Keski- Itä- ja Pohjois-Suomessa kasvukausi pitenee keskimäärin 1–2 kuukautta ilmastomallista riippuen.⁶¹

CMIP5 ilmastomallisimulaatioiden mukaan termisen kasvukauden aikana kertyvän tehoisan lämpösumman odotetaan kasvavan niin, että jaksolla 2020–2049 sitä kertyisi keskimääräisenä kasvukautena eteläisimmässä Suomessa saman verran kuin Baltian eteläosissa keskimäärin jaksolla 1971–2000. Vastaavasti vuosisadan lopulla (2070–2099) tehoisaa lämpösummaa voi kertyä Etelä-Suomessa jo samoissa määrin kuin Puolan ja Ukrainan tienoilla jaksolla 1971–2000. Etelä-Suomessa 1971–2000 tyypillisesti kertyviä lämpösummia taasen saataisiin vuosisadan lopulla Etelä-Lapissa (RCP4.5) tai jo lähes koko maassa Käsivartta lukuunottamatta (RCP8.5).⁶²

4.5 Helteet lisääntyvät ja helleaallot pitenevät

Tuoreimman ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 tilastojen mukaan hellepäiviä (vuorokauden ylin lämpötila yli 25 °C) on enimmillään eteläisen Suomen sisämaassa keskimäärin vuodessa yli 16, etelärannikolla hieman vähemmän.⁶³ Hellepäivien keskimääräinen lukumäärä laskee melko suoraviivaisesti kohti pohjoista, ollen Keski-Suomessa laajalti 10–14, Oulun korkeudella sekä eteläisessä Lapissa 6–10 ja maan pohjoisimmissa osissa 0–6.

⁶⁰ Aalto ym., 2021

⁶¹ Ruuhela ym., 2023

⁶² Ruosteenoja ym., 2016

⁶³ Jokinen ym., 2021

Vuonna 2021 yhtenäisen helleaallon eli päivien, jolloin lämpötila ylitti 25 °C astetta yksittäisellä säähavaintoasemalla, pituus oli ennätysellinen. Suurin yksittäisellä säähavaintoasemalla mitattu vuotuinen hellepäivien lukumäärä on 48, Kouvolan Utissa vuonna 2010. Pisin yhtämittainen hellejakso on 31 päivää, Kouvolan Anjalassa vuonna 2021. Hellepäivien lukumäärä vaihtelee kuitenkin vuosittain suuresti, sillä vuodesta 1961 alkaen niiden päivien vuotuinen lukumäärä, jolloin jossain päin Suomea on mitattu hellettä, vaihtelee kolmesta päivästä 65 päivään.

Helleaaltojen lukumäärässä ja niiden voimakkuudessa on havaittu kasvua viime vuosikymmeninä. Heinä–elokuun helleaaltojen lukumäärää ja niiden intensiteettiä, eli hellerajan ylityksen kumulatiivista astesummaa hellejakson aikana, on tarkasteltu ERA5-uusanalyysin perusteella vuosilta 1979–2020. Hellejaksopäivien määrä on lisääntynyt Suomen alueella laajalti noin 0,5–1 päivällä per vuosikymmen pitkittyneiden hellejaksojen (vähintään 6 perättäistä hellepäivää) osalta, ja niiden kumulatiivinen intensiteetti 1–3 °C per vuosikymmen. Lyhyempien hellejaksojen osalta (vähintään 3 perättäistä hellepäivää) vastaavat trendit ovat 1–2 päivää per vuosikymmen ja 2–4 °C per vuosikymmen.⁶⁴

Suomessa tukalasta helteestä varoitetaan vuorokauden ylimmän lämpötilan ollessa yli 27 °C ja vuorokauden keskilämpötilan ollessa yli 20 °C. Vastaavat rajat erittäin tukalalle helteelle ovat yli 30 °C ja yli 24 °C, sekä äärimmäisen tukalalle helteelle yli 35 °C ja yli 28 °C. Ilmastomallisimulaatioiden tuloksia hellepäivien ja hellejaksojen osalta tarkasteltaessa on yleensä mielekkäämpää käsitellä vuorokauden keskilämpötilan pohjalta määriteltäviä hellerajoja, suurelle yleisölle tutumpien vuorokauden ylimpään lämpötilaan perustuvien helteen määritelmien sijaan. Tämä siksi, että ilmastomallit tyypillisesti simuloivat vuorokauden keskilämpötilaa paremmin kuin vuorokauden maksimilämpötilaa.

**Kesien hellepäivien lukumäärän odotetaan lisääntyvän ja helleaaltojen pite-
nevän sekä voimistuvan.** CMIP5 ilmastomallisimulaatioiden (RCP4.5) tulosten mukaan hellejaksojen lukumäärän, niiden intensiteetin sekä niiden pituuden odotetaan kasvavan. Edellisen vuosisadan ja kuluva vuosisadan oloja kuvaavien ilmastomalliaineistojen välillä vuorokausikeskilämpötilan 20 °C ylittävien päivien määrä kasvaa keskimäärin maan eteläosassa 19 päivästä 43 päivään vuodessa ja maan pohjoisosassa neljästä päivästä 13 päivään vuodessa. Erittäin tukalan helteen rajan 24 °C ylitykset lisääntyisivät vastaavasti maan eteläosassa noin kahdesta päivästä 10 päivään ja pohjoisosassa keskimäärin 0,3 päivästä 1,7 päivään. Äärimmäisen

64 Rousi ym., 2022

tukalan helteen rajan 28 °C ylityksistä taasen tulisi maan eteläosassa kerran kymmenessä vuodessa tapahtuvan ilmiön sijaan keskimäärin yhtenä päivänä vuodessa ylitettävä vuorokausikeskilämpötila.⁶⁵

Vaikka lukumäärällisesti kasvu on suurinta maan eteläosassa, niin suhteellinen muutos on suurinta maan pohjoisosassa. Hellejaksojen (vähintään kolme peräkkäistä kynnysrajan ylittävää päivää) osalta sekä niiden keskimääräinen vuotuinen lukumäärä että pituus kasvavat. Maan eteläosassa yli 20 °C hellejaksojen keskimääräinen lukumäärä kasvaa 2,7 kappaleesta 4,3 kappaleeseen ja niiden keskimääräinen pituus 6,1 päivästä 9,4 päivään, eli kumpikin noin puolitoistakertaistuvat. Maan pohjoisosassa vastaavasti lukumäärä kasvaa 0,7 kappaleesta 1,8 kappaleeseen ja pituus 5,0 päivästä 6,3 päivään.

4.6 Sateisuuden muutokset epävarmoja – alueellinen ja vuosittainen vaihtelu säilyy

Vuosittaisissa sademäärissä on havaittu hieman kasvua pitkällä aikavälillä.

Suomen keskimääräinen vuosisademäärä oli jaksolla 1991–2020 noin 609 mm. Vuosisademäärät ovat kasvaneet edelliseen, eli 1981–2010 jaksoon nähden Suomessa noin 2 %, mutta muutos ei ole tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan jaksoon 1961–1990 nähden kasvua on tapahtunut noin 9 %, mikä on tilastollisesti merkitsevää.

Sademäärien kasvu on ollut suurinta talvikuukausina joulukuusta helmikuuhun ja painottunut maan pohjoisosaan.

Elokuussa sademäärät ovat Suomessa puolestaan keskimäärin pienentyneet. Taulukossa 2 nähdään neljän ilmastollisen vertailukauden sademäärän vuodenaika- ja vuosikeskiarvona kolmella eri havaintoasemalla.

Muutoksen liittyvä trendi keskimääräisissä sadehavainnoissa ei ole yhtä selkeä kuin lämpötilassa. Sateessa voi esiintyä suurta vaihtelua pienelläkin alueella ja vuosien välillä. Siten sadehavaintojen edustavuuteen ja luotettavuuteen liittyy enemmän epävarmuutta kuin lämpötilahavaintoihin, eivätkä muutokset ole yhtä selkeästi havaittavissa kuin lämpötilassa.⁶⁶

⁶⁵ Kim ym., 2018

⁶⁶ Jokinen ym., 2021

Taulukko 2. Sademäärän vuodenaika- ja vuosikeskiarvoja neljällä eri ilmastollisella, 30 vuoden mittaisella, vertailukaudella.

Helsinki Kaisaniemi

Jakso	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
Kevät	103	106	107	106
Kesä	175	189	200	199
Syksy	210	207	202	198
Talvi	132	141	146	149
Vuosi	621	643	655	653

Jyväskylä Lentoasema

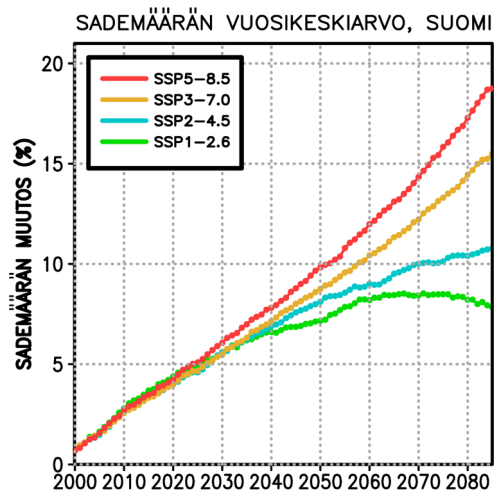
Jakso	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
Kevät	112	112	115	108
Kesä	225	226	229	212
Syksy	182	180	175	176
Talvi	120	121	124	126
Vuosi	639	639	643	622

Sodankylä Tähtelä

Jakso	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
Kevät	83	92	100	102
Kesä	183	181	196	192
Syksy	146	137	134	142
Talvi	87	99	97	108
Vuosi	499	509	527	543

Ilmaston muuttuessa kokonaissademäärän arvioidaan kasvavan. CMIP6 ilmastoskenaarioiden mukaan vuotuinen sademäärä Suomessa kasvaa tällä vuosisadalla skenaariosta riippuen 8–19 % (Kuvio 7).

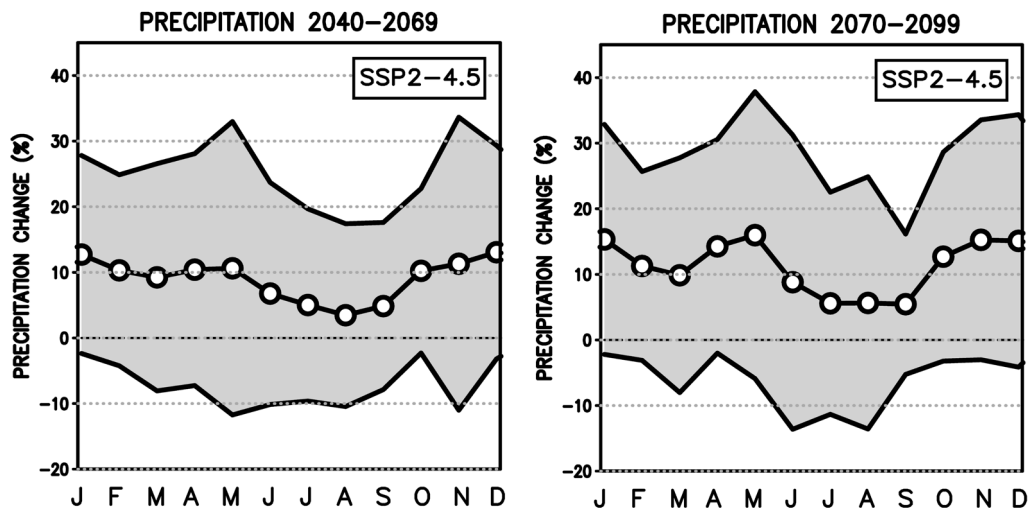
Kuvio 7. Suomen vuosittaisen sademäärän muutos jaksolla 2000–2085 verrattuna jaksoon 1981–2010. Muutokset neljässä eri ilmastoskenaariossa perustuvat 28 maailmanlaajuisen ilmastomallin antamien tulosten keskiarvoihin.



Sademäärien kasvua tapahtuu talvella enemmän kuin kesällä. Kesän sateisuuden osalta arviot ovat kuitenkin varsin epävarmoja, sillä osa ilmastomalleista tuottaa myös sademäärää laskevia tuloksia (Kuvio 8). Alueellisesti sademäärä lisääntyy maan pohjoisosassa enemmän kuin eteläosassa, erityisesti huhti- ja marraskuun välisenä aikana.⁶⁷

67 Ruosteenoja & Jylhä, 2021

Kuvio 8. Sademäärän muutos kuukausittain vuosisadan puoliväliin (vasen) ja loppuun (oikea) mennessä SSP2–4.5 skenaariossa verrattuna jaksoon 1981–2010. Valkoiset ympyrät kuvaavat 28 CMIP6 ilmastomallin keskiarvoa ja harmaa varjostus muutoksen 90 % epävarmuusväliä.



Rankkasateiden yleisyyteen ja niiden voimakkuuksiin liittyy sekä nykyilmaston että tulevan ilmaston osalta suurempia epävarmuuksia keskimääräisten sademäärien tarkasteluun verrattuna. Ilmaston lämmetessä rankkasateiden ennakoidaan yleisesti ottaen voimistuvan, sillä lämpimämpi ilma kykenee pitämään sisällään entistä enemmän vesihöyryä. Varsinkin kesällä suurimpien vuorokausi-sademäärien odotetaan kasvavan keskimääräisiä sademääriä enemmän – kesäisten rankkasateiden odotetaan siis voimistuvan.⁶⁸

Rankkasateet liittyvät tyypillisesti kuurosateisiin ja erityisesti rajuilmoihin. Niiden suhteellisen pienialaisuuden ja lyhytikäisyyden vuoksi ne voivat jäädä kokonaan mittausverkon ulottumattomiin tai ainakin niiden voimakkain sade osuu jonnekin muualle kuin havaintoaseman kohdalle. Pitkälti samasta syystä johtuen myös ilmastomalleilla on vaikeuksia rankkasateiden mallintamisen kanssa, erityisesti alle vuorokauden pituisten sadetapahtumien osalta.⁶⁹

⁶⁸ Lehtonen ym., 2014

⁶⁹ Mäkelä ym., 2016

Perustuen viimeisen noin 50 vuoden sadehavaintoihin, tilastollisesti kerran viidessä vuodessa esiintyvä sateen vuorokausimaksimi on Suomessa laajalti 30–45 mm.⁷⁰

Vuorokausisateen viiden vuoden toistuvuustaso on noussut tarkastelu-aikana yleisesti 0–10 %, nousun ollessa tilastollisesti merkitsevää vain osalla analysoiduista mittausasemista. Vuorokausisateen vuosimaksimin osalta suurin osa tilastollisesti merkitsevän positiivisen trendin omaavista mittausasemista sijaitsee maan itäosassa, Pohjanmaan rannikolla ja paikoin Lapin länsiosassa. Suomessa vuoden korkein vuorokausisademäärä osuu useimmiten heinä-elokuulle, kattaen reilut 50 % vuosista. Myös kesä- ja syyskuu ovat varsin yleisiä ajankohtia, vajaat 30 % vuosista. Vuosimaksimin osuminen näiden kuukausien ulkopuolelle on täten selvästi harvinaisempaa.

Lyhyempien kuin yhden vuorokauden sadetapahtumien ja niissä kertyneiden sademäärien osalta havaintoaikasarjat ovat vielä suhteellisen lyhyitä, mikä hankaloittaa näiden sadetapahtumien todennäköisyyksien ja mahdollisten trendien kattavaa arviointia. Vuosien 2000–2018 havaintoaineiston pohjalta arvioituna kerran 10 vuodessa saavutettava tuntisadanta on maan etelä- ja länsiosissa noin 20–35 mm ja itä- ja pohjoisosissa 15–25 mm.⁷¹

Rankkasateiden suuren alueellisen vaihtelun ja siihen liittyvien epävarmuuksien vuoksi tulevia muutoksia rankkasateissa on tarkasteltu hieman Suomea suuremman alueen aluekeskiarvon muutoksina. Itämeren ympäristöä tarkasteltaessa alueellisten ilmastomallisimulaatioiden mukaan tilastollisesti kerran kymmenessä vuodessa esiintyvän vuorokausisateen arvioidaan lisääntyvän alueen pohjoisosien (60. pohjoisen leveysasteen pohjoispuoli) maa-alueilla. Muutoksen suuruuden arvioidaan olevan vuosisadan loppupuolella talvella noin +10 % (RCP4.5) tai +20 % (RCP 8.5) ja kesällä noin +15 % (RCP 4.5) tai +25 % (RCP 8.5) verrattuna jaksoon 1981–2010.⁷²

Hiljalleen yleistyvät erittäin korkearesoluutioiset alueelliset ilmastomallit, jotka kykenevät suoraan simuloimaan konvektiivisia sateita perinteisen parametrisoinnin sijaan, ovat osoittautumassa tärkeäksi kehitysaskeleeksi varsinkin vuorokautta lyhyempien rankkasadetapahtumien mallintamisessa.⁷³ Pohjoismaiden alueen ensimmäiset, joskin vaadittavan laskentakapasiteetin suuruuden takia suppeaan mallijoukkoon perustuvat, tulokset tällaisista ilmastomalleista näyttävät

70 [Dyrrdal ym., 2021](#)

71 [Olsson ym., 2022](#)

72 [Christensen ym., 2022](#)

73 [Médus ym., 2022](#)

vahvistavan käsitystä kesäsateiden äärevöitymisestä tulevaisuudessa.⁷⁴ **Tulevaisuudessa entistä suurempi osuus kokonaissademäärästä saadaan rankkasateiden muodossa ja suurimmat vuorokausi- ja tuntisademäärät kasvavat eniten.**

Viistosade eli tuulen mukana pystypinnalle päätyvä sadevesi on merkittävä tekijä lähes kaikissa rakennusten julkisivuille vauriota aiheuttavissa mekaniismeissa. Vesisateen ja rännän muodossa tuleva sademäärä on Suomen etelärannikolla 10 % suurempi kuin Etelä-Suomen sisämaassa, 17 % suurempi kuin Keski-Suomessa ja 40 % suurempi kuin Lapissa. Sade tulee rannikoilla myös keskimäärin voimakkaamman tuulen saattelemana kuin muualla maassa. Täten myös tuulen huomioiva niin kutsuttu viistosaderasitus on etelärannikolla 24 % suurempi kuin Etelä-Suomen sisämaassa, 64 % suurempi kuin Keski-Suomessa ja 135 % suurempi kuin Lapissa. Erityisen suuri ero viistosaderasituksen alueellisessa voimakkuudessa havaitaan etelään suuntautuvilla julkisivuilla.⁷⁵

Ilmaston lämmitessä yhä suurempi osa sateesta tulee vetenä tai räntänä lumen sijaan. Täten, vaikka muutosten tuulisuudessa odotetaan jäävän tulevaisuudessa vähäisiksi, viistosaderasituksen arvioidaan lisääntyvän vuosisadan loppuun mennessä etelärannikolla keskimäärin 34 %, Etelä-Suomen sisämaassa 31 %, Keski-Suomessa 44 % ja Lapissa 58 % nykyilmastoon verrattuna.⁷⁶

Jäätävät sateet ovat Suomessa verrattain harvinaisia. Varsinkin todennäköisyys runsaalle jäätävän sateen kertymälle on nykyilmastossa hyvin pieni. Pintoja liukastava jäätävä tihku on sen sijaan jokavuotinen ilmiö. ERA-Interim uusanalyysin mukaan Suomessa jäätävän sateen tilanteita esiintyy keskimäärin vuosittain lounaisrannikon alle puolesta tapauksesta sisämaan reiluun yhteen tapaukseen ja Länsi-Lapin paikoin reiluun kahteen tapaukseen. Runsaampia kertymiä (yli 5mm/6h) Suomessa esiintyy hajanaisesti noin 0–20 % vuotuisella todennäköisyydellä.⁷⁷

Ilmastomallisimulaatioiden mukaan jäätävien sateiden odotetaan pääosin lisääntyvän Suomessa, muutoksen ollessa kuitenkin varsin maltillista. RCP8.5 skenaariossa jäätävien sateiden tapausten arvioidaan lisääntyvän jaksoon 2071–2100 mennessä etenkin Lapissa, keskimäärin noin puolikkaalla tapauksella vuodessa. Myös maan itäosissa esiintyy tilastollisesti merkitsevää tapausten kasvua, tosin vähemmän kuin Lapissa. Muualla maassa muutokset ovat vähäisiä ja maan

74 [Lind ym., 2022](#)

75 [Pakkala, 2020](#)

76 [Pakkala, 2020](#)

77 [Kämäräinen ym., 2018](#)

lounais- ja eteläosissa tapausten määrä voi myös laskea. Jäätävien sateiden esiintyminen on nykyilmastossa yleisintä keväisin ja syksyisin, mutta tulevaisuudessa jäätäviä sateita arvioidaan esiintyvän todennäköisimmin talvella.

4.7 Kuivuuden arvioidaan lisääntyvän

Kuivuutta on monenlaista, ja pääpiirteissään kuivuus voidaan jakaa neljään luokkaan: meteorologinen, hydrologinen, maataloudellinen ja sosio-ekonominen.⁷⁸ *Meteorologinen kuivuus* määritellään pelkästään sadannan vajauksen perusteella. *Hydrologinen kuivuus* viittaa vesivarastojen tilanteeseen järvissä, joissa ja pohjavesialueilla. *Maataloudellinen kuivuus* aiheuttaa vaikutuksia viljasatoon. *Sosio-ekonominen kuivuus* vaikuttaa jo raaka-aineiden toimitusketjuihin. Kuivuuden monitahoisuudesta johtuen sen arviointiin on suositeltavaa käyttää useita indikaattoreita. Kuivuuden vakavuudesta, vuodenajasta ja luonteesta riippuen kuivuus vaikuttaa eri sektoreihin eritavalla. Koska kuivuuden vaikutukset ovat aina paikallisia, olisi hyvä määrittää myös paikallisia indikaattoreita ja raja-arvoja.

Havaitut muutokset kuivuudessa eivät ole yhtä selviä kuin lämpötilassa, eikä aiheesta ole tehty kattavaa tutkimusta. Pitkittyneet kuivuusjaksot ovat Suomessa verrattain harvinaisia, sillä vuositasolla sadanta ylittää haihdunnan koko maassa.⁷⁹

Lämmin ilma ja yhtämittaiset pitkät helleaallot aiheuttavat myös paikallisesti kuivuutta. Maanviljelyn näkökulmasta ilmastonmuutoksen vaikutuksista keväällä, kasvun kannalta kriittisessä kasvukauden alkuvaiheessa, esiintyvään kuivuuteen on osin ristiriitaisia tuloksia: kuivuus voi lisääntyä^{80, 81} tai siinä ei välttämättä tapahdu muutoksia⁸². Kuivien kausien todennäköisyyden kuitenkin arvioivaan kasvavan.⁸³

Erään skenaariotutkimuksen mukaan sateisuuden kasvusta huolimatta myös kuivuuskausien arvioidaan yleistyvän ilmaston äärevöitymisen sekä lämpötilan noususta johtuvan haihdunnan lisääntymisen vuoksi. Mikäli kuivuuden indikaattorina käytetään vesihöyryn osapaineen vajeusta ilmassa (VPD = vapor pressure deficit), CMIP6 ilmastomallit ovat yksimielisiä siitä, että kuivuus kasvaa

78 Wilhite & Glantz, 1985

79 Lehtonen ym., 2020

80 Ruosteenoja ym., 2018

81 Ruuhela ym., 2023

82 Peltonen-Sainio ym., 2021

83 Veijalainen ym., 2019

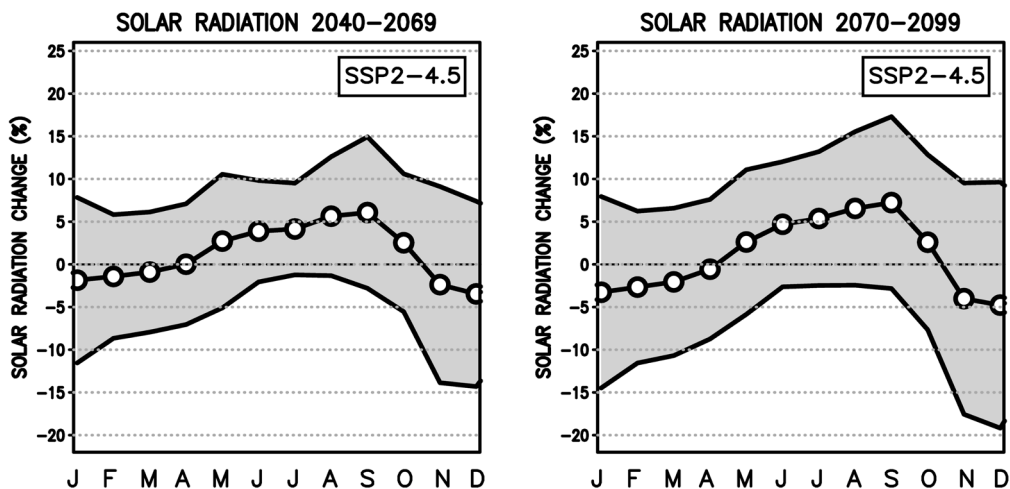
suurimmassa osassa Suomea lukuun ottamatta Luoteis-Suomea. VPD kertoo, kuinka paljon ilmaan vielä mahtuisi vesihöyryä, ennen kuin se alkaa tiivistyä. VPD riippuu ilman lämpötilasta ja kosteudesta, ja se kuvaa kuivuutta maanpinnan lähettyvillä.⁸⁴

4.8 Lisääntyvä pilvisyys pimentää hieman talvia

Pilvisyyden lisääntyminen voi vähentää auringonsäteilyn määrää. Ilmastonmuutoksen seurauksena maanpinnalle saapuvassa auringonsäteilyssä tapahtuu muutoksia pilvisyyden ja ilmakehän epäpuhtauksissa tapahtuvien muutosten seurauksena. Uusimpien CMIP6 ilmastomallisimulaatioiden keskiarvon mukaan auringonsäteily vähenee muutaman prosentin marras- ja huhtikuun välisenä aikana ja lisääntyy noin 5 % touko- ja lokakuun välisenä aikana vuosisadan loppuun mennessä (Kuvio 9). Talvisin valon vähenemistä korostaa varsinkin maan eteläosassa lumettomien päivien yleistyminen.

Arvioihin liittyy kuitenkin suurta epävarmuutta jopa muutoksen suunnan suhteen varsinkin talvipuolella vuotta. Näyttää kuitenkin siltä, että ero talvien ja kesien valoisuudessa kasvaa entisestään.⁸⁵

Kuvio 9. Maanpinnalle tulevan auringonsäteilyn muutos kuukausittain vuosisadan puoliväliin (vasen) ja loppuun (oikea) mennessä SSP2–4.5 skenaariossa verrattuna jaksoon 1981–2010. Valkoiset ympyrät kuvaavat 28 CMIP6 ilmastomallin keskiarvoa ja harmaa varjostus muutoksen 90 % epävarmuusväliä.



84 Ruuhela ym., 2023

85 Ruosteenoja & Jylhä, 2021

Edellisen mallisukupolven (CMIP5) tuloksiin verrattuna auringonsäteilyn muutoksen arviot poikkeavat läpi vuoden 1–4 prosenttiyksikköä valoisampaan suuntaan. Niinpä mallien ennustama talvien pimeneminen on nyt lievempää ja aurinkoisen kesänsäan yleistyminen vahvempaa kuin aiemmissa arvioissa.⁸⁶

4.9 Kevättulvat pienenevät ja talvitulvat yleistyvät

Muutoksilla sademäärissä, sateiden olomuodossa ja lumipeitteessä on huomattavia vaikutuksia jokien virtaamiin ja tulvien esiintymiseen. Kasvavat sademäärät pyrkivät lisäämään jokien virtaamia, mutta lumipeitteen oheneminen puolestaan voi hillitä lumen sulamista seuraavia kevättulvia.

Pääsääntöisesti ilmastonmuutoksen myötä kevättulvat pienenevät ja talvitulvat yleistyvät, mutta vaikutukset vaihtelevat vesistön sijainnista ja sen hydrologisista ominaisuuksista riippuen.⁸⁷ Tulvien luonnollinen vaihtelu on suurta, mutta Etelä- ja Keski-Suomessa jokien talvivirtaamien on havaittu kasvaneen ja kevätulvien aikaistuneen.⁸⁸ Vuotuisen tulvahuipun keskimääräisen ajankohdan on myös havaittu aikaistuneen, selvimmin lounaisrannikolla.⁸⁹

Vesistöistä nousevien tulvien osalta vaikutus vaihtelee sijainnin, tarkasteltavan jakson ja vesistöalueen ominaisuuksien mukaan kasvusta pienemiseen. **Tulva-vaaran on arvioitu kasvavan etenkin Etelä- ja Keski-Suomen suurissa vesistöissä. Sen sijaan pohjoisempana muutokset voivat olla lähitulevaisuudessa melko pieniä ja muutoksen suunta on epävarma.** Suunta riippuu siitä, tulevatko lisääntyvät sateet lumena, tai sulavatko lumet kerralla vai pitkin talvea.

Tarkasteltaessa ilmastonmuutoksen vaikutusta Kemijoen, Lieksanjoen ja Kymijoen virtaamiin, Kemijoen keväisen tulvahuipun odotetaan aikaistuvan ja hieman madaltuvan. Pohjois-Suomen jokien osalta virtaamien odotetaan kuitenkin jatkossakin olevan suurimmillaan keväisin. Vastaavasti Lieksanjoen alueella kevättulvien odotetaan vaimenevan jo selvemmin ja talvivirtaamien kasvavan selvästi. Kymijoen

86 Ruuhela ym., 2023

87 Parjanne ym., 2018

88 Tuomenvirta ym., 2018

89 Blöschl ym., 2017

alueella virtaamien odotetaan kasvavan talvella ja yleisemminkin Etelä- ja Lounais-Suomen joissa keskimääräisen virtaamahuipun arvioidaan asettuvan tulevaisuudessa talveen.⁹⁰

Kokonaisuudessaan Suomen tulvariskin arvioidaan hieman vähenevän lyhyellä aikavälillä, mutta kaksin- tai kolminkertaistuvan vuoteen 2100 mennessä, jos tulvariskien hallinnan nykyisiä toimenpiteitä ei jatketa ja toteuteta suunnitellusti. Riskin kasvu johtuu pääosin tasaiseksi oletetusta vahinkokohteiden arvoa nostavasta talouskasvusta. Riskiä vähentää lyhyellä aikavälillä erityisesti ilmastomuutos, sillä useilla vesistöalueilla tulvavaara voi pienentyä ilmastomuutoksen seurauksena, eikä merivedenpinnan nousu lisää rannikon alueiden tulvariskiä merkittävästi vielä lyhyellä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä keskimerenpinnan nousu lisää selvästi myös rannikkotulvien todennäköisyyttä erityisesti Suomen etelärannikolla.⁹¹

4.10 Tuulisuudessa ei tapahdu suuria muutoksia

Säähavaintojen mukaan keskimääräinen tuulisuus on hieman heikentynyt viime vuosikymmeninä. Uusanalyyseissä, eli säähavaintojen ja sääennustemallin avulla tuotetuissa alueellisesti ja ajallisesti kattavissa arvioissa ilmakehän tilasta menneisyydessä, taasen korostuvat vuosikymmenien väliset vaihtelut tuulisuudessa.⁹²

Matalapainemyrskyjen lukumäärässä ei ole havaittavissa tilastollisesti merkitseviä pitkän ajan trendejä. Viime vuosikymmenistä 1990-luku on osoittautunut useamman keskimääräistä tuulisemman vuoden jaksoksi, jolloin tuulet olivat myös tavallista äärevämpiä, korostaen 90-luvun myrskyisyyttä.⁹³

Suomen tuuli- ja myrskyilmastolle on tyypillistä suuri vuosien ja vuosikymmenien välinen vaihtelu. Siten tuloksissa korostuu tuulen voimakas vaihtelu vuosi- ja vuosikymmentasolla, jolloin ilmastollisten anomalioiden ja trendien tarkastelu on suuresti riippuvainen valitusta tarkastelujaksosta.⁹⁴

90 Veijalainen ym., 2018

91 Parjanne ym., 2018

92 Laapas & Venäläinen, 2017

93 Laurila ym., 2021

94 Laurila ym., 2021

Metsien tuulituhoilte potentiaalisten päivien lukumäärässä ei ole havaittavissa tilastollisesti merkitsevää trendiä. Toisaalta uusanalyysien mukaan kesäisten rajuilmojen syntyä edistävissä olosuhteissa on havaittu viime vuosikymmenien aikana positiivinen trendi. On kuitenkin epäselvää, missä määrin tämä on heijastunut syvään konvektioon liittyvien puuskatuulien trendeihin.

Tilastot rajuilmoihin liittyvien syöksyvirtausten ja trombien esiintymismääristä ja niiden voimakkuuksista ovat Suomessa vajavaisia, lähinnä kyseisten ilmiöiden tar-kan havainnoinnin vaikeuden takia. Tieto näistä ilmiöistä perustuu lähinnä ihmis-havaintoihin aiheutuneista vahingoista.⁹⁵

Tuulisuuden ja matalapainemyrskyjen ei ilmastoskenaarioiden perusteella arvioida muuttuvan merkittävästi. Myös keskimääräisessä tuulen nopeudessa muutosten odotetaan jäävän vähäisiksi. Tuoreimpien CMIP6 ilmastomallisimulointien tulosten mukaan 26 ilmastomallin keskiarvona muutos tuulen keskimääräisessä nopeudessa on skenaariossa SSP2–4.5 lähellä nollaa sekä jaksolla 2040–2069 että 2070–2099. Kuten kuviosta 10 nähdään, tuloksissa on ilmastomallijoukon kesken suurta hajontaa, jopa muutoksen suunnan suhteen. Muutoksen 90 % epävarmuus-haarukka on vuosisadan loppuun mennessä yleisesti noin –10 %:sta +10 %:iin. Selvin muutossignaali on mahdollinen keskituulien hienoinen heikkeneminen kesällä.⁹⁶

Edellisen mallisukupolven CMIP5 ilmastomallisimulointien mukaan eri tuulensuuntien välisissä osuuksissa voi ilmetä muutoksia. Johdonmukaisin signaali löytyy syksyisten länsituulien osuuden kasvamisesta ja itätuulien osuuden vähenemisestä, muutoksen ollessa selvintä voimakkaiden tuulien osalta.⁹⁷

Arviot myrskyisyyden muutoksista tulevaisuudessa sisältävät hyvin paljon epävarmuuksia. Ilmastomallien epävarmuudet ovat erityisen suuria juuri Pohjois-Atlantilla, alueella missä valtaosa Suomeen saapuvista myrskyistä syntyy ja kehittyy. Voimakkaiden matalapainemyrskyjen kokonaismäärän on kuitenkin arvioitu laskevan Pohjois-Atlantilla, saman pätiessä myös voimakkaimpien myrskyjen intensiteettiin.⁹⁸

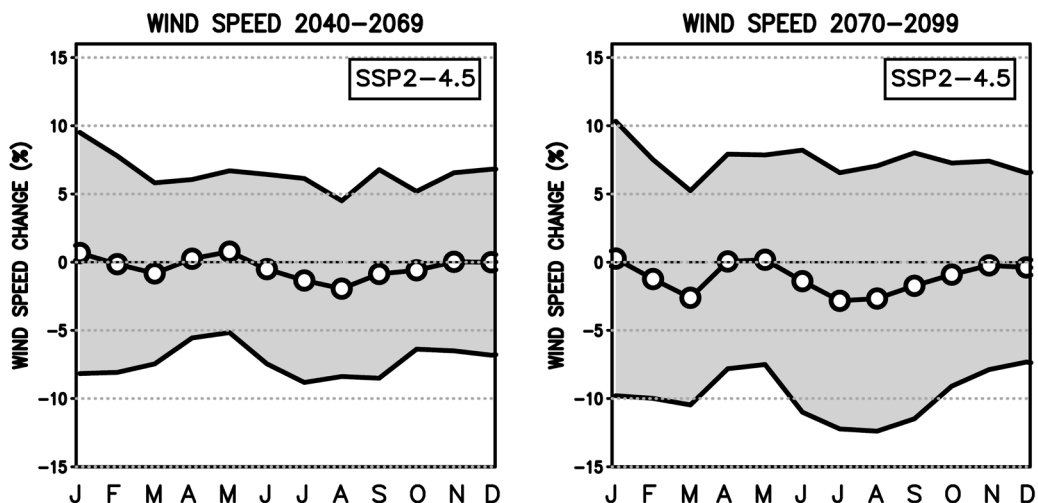
95 [Gregow ym., 2021](#)

96 [Ruosteenoja & Jylhä, 2021](#)

97 [Ruosteenoja ym., 2019](#)

98 [Gregow ym., 2021](#)

Kuvio 10. Keskimääräisen tuulen nopeuden muutos kuukausittain vuosisadan puoliväliin (vasen) ja loppuun (oikea) mennessä SSP2–4.5 skenaariossa verrattuna jaksoon 1981–2010. Valkoiset ympyrät kuvaavat 26 CMIP6 ilmastomallin keskiarvoa ja harmaa varjostus muutoksen 90 % epävarmuusväliä.



4.11 Rajuilmoihin ei muutoksia lähivuosisikymmeninä

Rajuilmojen syntyä edesauttavissa olosuhteissa on ollut havaittavissa kasvua, mutta epävarmuutta liittyy siihen, miten se on heijastunut muutoksiin puuskatuulissa. Rajuilmoihin liittyviin ilmiöihin, kuten ukkosiin, syöksyvirtauksiin ja trombeihin, ei nykytiedon valossa odoteta muutoksia lähivuosisikymmeninä. Muutosarvioihin liittyy kuitenkin paljon epävarmuutta. Erityisesti pitkän aikavälin skenaariot sisältävät paljon epävarmuutta. Kesien lämpeneminen lisää sinänsä ilmakehän kykyä tuottaa etenkin voimakkaimpia rajuilmoja, mutta korkea lämpötila ei yksinään riitä, sillä muidenkin tekijöiden ilmakehässä pitää olla otollisia. Ilmastomallien tarkkuus on vielä rajallinen rajuilmojen tarkkaan simulointiin, mutta joka tapauksessa nykytiedon valossa näyttää siltä, että lähivuosisikymmeninä ei ole odotettavissa suuria muutoksia ukkosten, trombien ja syöksyvirtausten esiintymiseen Suomessa. Lähivuosisikymmeninä ilmiöiden esiintymisessä korostuu edelleenkin suuri vuosien välinen vaihtelu ja satunnaisuus, etenkin voimakkaimpien tapausten osalta.⁹⁹

99 Gregow ym., 2021

Vuosisadan loppuun mennessä ilmastomallisimulaatiot osoittavat voimakkaiden ukkosmyrskyjen yleistyvän 5–40 % Pohjois-Euroopassa ja sen myötä myös riski niihin liittyvien voimakkaiden puuskatuulien esiintymiselle kasvaa.¹⁰⁰

Jos ilmasto lämpenee pessimistisimmän IPCC-päästöskenaarion mukaan, rajuilmat nimenomaan Pohjois-Euroopassa lisääntyvät huomattavasti.

4.12 Vyörymien riski pieni, lumivyöryt voivat yleistyä Lapissa

Säähän liittyvien maanvyöryjen riski Suomessa on pieni. Runsaat jatkuvat sateet tai rankat lyhytkestoiset sateet voivat laukaista maanvyöryjä, mikäli rinteiden kaltevuus on suuri. Suomessa on vähän asutusta tai riskialtista toimintaa jyrkissä rinteissä alttiina rankkasateiden laukausemien maanvyöryjen riskeille.

Maanvyöryjen kaltainen riski talvipuolella vuotta ovat lumivyöryt. Lumivyöryille otollinen tilanne jyrkissä rinteissä kehittyy talven kuluessa, jos lumipeitteeseen syntyy erilaisia kerroksia ja sulamis-jäätymissykliä vuoksi jäinen kerros, jonka päällä irtolumi liukuu helposti. Otollisessa säätilanteessa lumivyöry voi käynnistyä joko itsestään tai ulkoilijan laukaisemana. **Ilmastomuutoksen seurauksena Lapissa lämpötilan vaihtelu nollan molemmin puolin talvisin yleistyy ja siten lumivyöryille otolliset säätilanteet yleistyvät.**

4.13 Sumuisuus voi lisääntyä syksyisin

Sumun kehittymiseen vaikuttavat säätilanteeseen liittyvät useat meteorologiset tekijät, ja niiden lisäksi paikallisilmastoon liittyviä tekijöitä kuten pinnanmuodot, vesistöt sekä vuoden- ja vuorokauden ajat. Sumu voi huonon näkyvyyden vuoksi lisätä onnettomuusriskiä lähinnä maantie- ja meriliikenteessä. Suuri osa säähän liittyvistä meripelastustehtävistä tapahtuu sumutilanteissa veneilijöille, joilla on puutteelliset navigointitaidot. Ilmaston muuttuessa veneilykausi myös pitenee, mikä osaltaan lisää riskejä.

¹⁰⁰ Gregow ym., 2021

Ilmastomallit eivät kykene simuloimaan riittävällä tarkkuudella sumujen esiintymisessä tapahtuvia muutoksia ilmaston muuttuessa. Epäsuorasti voidaan kuitenkin esittää arvioita, että syksyisin sumujen todennäköisyys kasvaa erityisesti vesistöjen läheisyydessä, kun jään muodostumien vesistöissä viivästyy nykyisestä ja kosteutta siirtyy vesistöistä ilmaan.

4.14 Maan kohoaminen tasaa merenpinnan nousun vaikutusta

Suomen rannikolla meriveden pinnan korkeuteen vaikuttaa pitkällä aikavälillä kolme tekijää:

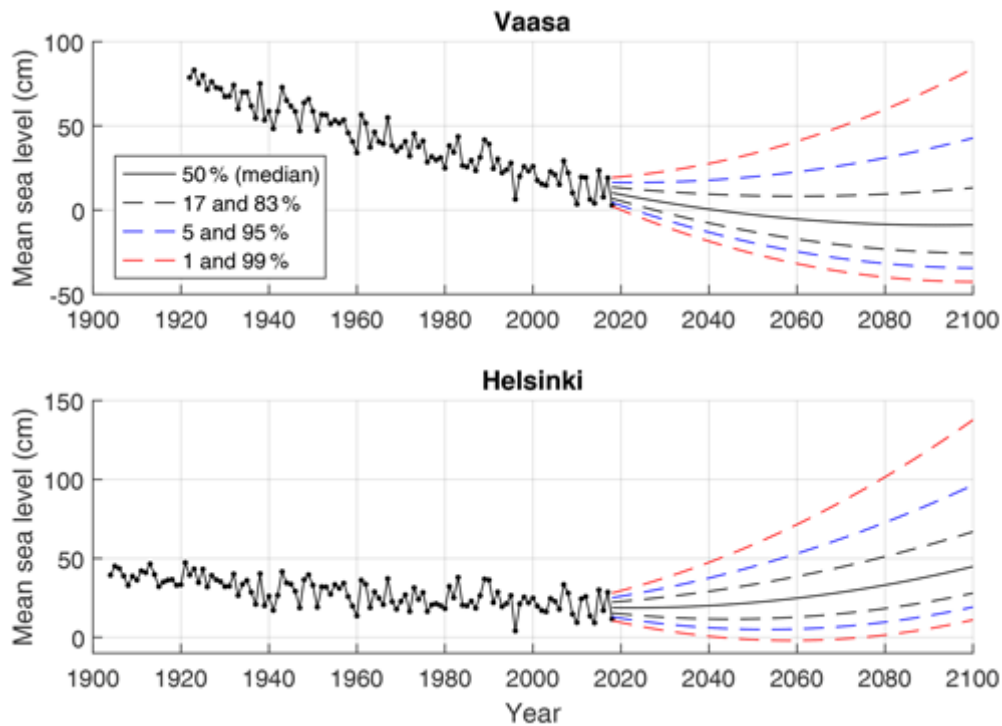
1. Ilmaston lämpeneminen, joka nostaa merenpintaa mannerjäätiköiden sulamisen ja veden lämpölaajenemisen johdosta,
2. edelleen jatkuva maan kohoaminen edellisen jääkauden jäljiltä sekä
3. mahdolliset muutokset tuuliolosuhteissa.¹⁰¹

Maan kohoaminen on pienintä Suomenlahden itäosissa, missä se kohoaa noin 40 cm vuosisadassa, ja suurinta Pohjanlahden rannikolla, vajaan metrin vuosisadassa. **Viimeisen sadan vuoden aikana maan kohoamisen vaikutus on ollut voimakkaampaa kuin muiden pinnan korkeuteen vaikuttavien tekijöiden, joten keskivedenpinta on laskenut koko Suomen rannikolla (Kuvio 11).**¹⁰²

101 Gregow ym., 2021

102 Pellikka ym., 2023

Kuvio 11. Arvio keskimääräisen merenpinnan korkeuden kehityksestä vuoteen 2100 mennessä Helsingissä ja Vaasassa. Yhtenäinen viiva kuvaa parasta arviota ja katkoviivat arvion epävarmuusvälejä. Pisteet esittävät havaittuja pinnankorkeuden vuosikeskiarvoja.



Tämänhetkisten arvioiden (keskiskenaario) mukaan merenpinta kääntyy nousuun Suomenlahdella ja nousee noin 20–30 cm vuosisadan loppuun mennessä. Jos korkein skenaario toteutuu, merenpinta voi Suomenlahdella nousta jopa 70–80 cm nykytasosta vuoteen 2100 mennessä.¹⁰³

Perämerellä maankohoaminen riittää kumoamaan merenpinnan nousun skenaariosta riippuen jopa vuosisadan lopulle asti, keskiskenaarion ennustaessa 20–30 cm laskua. Epävarmuusvälit ovat kuitenkin suuria. Skenaarioita meriveden pinnannoususta päivitetään säännöllisesti.

Merivesitulvat johtuvat pitkäaikaisen merenpinnan nousun lisäksi lyhytaikaisemmista ilmiöistä, kuten myrskytuulista, ilmanpaineen vaihtelusta, Itämeren vedenpinnan edestakaisesta ominaisheilahtelusta sekä vallitsevista

103 Pellikka ym., 2023

virtausoloista Tanskan salmissa. Vuoroveden vaihtelu on Suomen rannikolla vain muutamia senttimetrejä. Suurimmat vedenkorkeudet havaitaan Suomenlahden ja Perämeren pohjukoissa ja ne ajoittuvat yleensä vuodenvaihteeseen, jolloin Itämeren kokonaisvesimäärä on yleensä suurempi ja mahdollisuus koville tuulille on korkeampi. Korkeat vedenkorkeudet ovat kuitenkin mahdollisia kaikkina vuodenaikoina.¹⁰⁴

Ennätyksellinen meriveden korkeus Suomenlahdella tammikuussa 2005 saavutettiin tilanteessa, jossa useampi vedenkorkeutta nostava tekijä toteutui samaan aikaan. Tuolloin Itämeren kokonaisvesimäärä oli jo ennakoita noin 60 cm keskiarvon yläpuolella ja samaan aikaan sekä Gudrun-myrskyyn liittyvät voimakkaat tuulet että sopivassa vaiheessa oleva ominaisheilahtelu painoivat Itämeren vesimassaa kohti Suomenlahden pohjukkaa.¹⁰⁵

Tulevaisuuden meritulvariskin muutoksissa on merkittäviä alueellisia eroja.

Meritulvariskin odotetaan kasvavan Suomenlahden rannikolla huomattavasti tämän vuosisadan aikana, erityisesti vuosisadan jälkimmäisellä puoliskolla. Esimerkiksi tammikuun 2005 merivesitulvan aikaan Helsingissä mitatun vedenkorkeuden esiintymistodennäköisyydeksi arvioitiin nykyilmastossa kolme kertaa vuosisadassa, mutta vuosisadan puolivälin olosuhteissa neljä ja vuosisadan lopun olosuhteissa jopa 50 kertaa vuosisadassa, eli keskimäärin joka toinen vuosi.

Pohjanlahdella tilanne on erilainen, sillä Suomenlahtea voimakkaamman maankohoamisen johdosta meritulvariskin odotetaan pienenevän vuosisadan puoliväliin asti. Vuosisadan jälkimmäisellä puoliskolla meritulvariskin arvioidaan kuitenkin kasvavan, joten vuosisadan lopulla sen odotetaan olevan Perämerellä nykytasollaan tai hieman korkeampi ja Selkämerellä selvästi nykytasoa korkeampi.

104 Kahma ym., 2014

105 Pellikka ym., 2018

5 Luonnonympäristön riski- ja haavoittuvuustarkastelu

5.1 Luonnon monimuotoisuus

Ilmastonmuutoksen myötä luonnon monimuotoisuuteen kohdistuu erilaisia vaikutuksia riippuen paikallisista olosuhteista, lajiyhteisöistä ja elinympäristöistä. Keskilämpötilan nousu, pakkaskausien väheneminen ja vuoden-aikojen siirtyminen ajallisesti ovat jo aiheuttaneet laaja-alaisia muutoksia Suomen luonnonympäristöön ja luonnon monimuotoisuuteen. Muutokset lajien elinympäristössä heijastuvat sekä eliölajeihin että niiden ylläpitämiin ekosysteemeihin ja ekosysteemipalveluihin. Koko Euroopan tasolla ilmastonmuutoksen uhkana on lajiston yhdenmukaistuminen, mikä vähentää maanosan lajiston monimuotoisuutta kokonaisuudessaan.¹⁰⁶

Kun eliölajit reagoivat ilmastonmuutokseen, ne voivat siirtyä toisille alueille, sopeutua paikallaan uusin olosuhteisiin, tai reagoida molemmin keinoin. Yksi sopeutumisen keino on elinkiertovaiheiden ajoittumisen muutokset, jolloin esimerkiksi se aika vuodesta, kun tietty laji esiintyy tai kukkii, muuttuu. On myös tunnistettu, että muutokset tiettyjen lajien runsaussuhteessa heijastuvat lajiyhteisöjen koostumukseen. Eri lajit ja paikalliset populaatiot osoittavat verraten erilaisia vasteita, jolloin ei voida olettaa, että suurin osa siirtyisi samansuuntaisesti ja -tahtisesti paikassa tai ajassa.^{107, 108, 109}

On todettu, että viimeisten 40 vuoden aikana tapahtuneet muutokset ilmastossa vaikuttavat eri lajeihin eri tavalla ja näitä eri suuntiin tapahtuvia muutoksia on havaittu eniten pohjoisessa.¹¹⁰ Joillekin lajeille lämpimämpi ilmasto on ollut hyödyksi, jolloin ne yleistyvät lämpötilan noustessa. Toisille taas ilmasto on jo muuttumassa liian lämpimäksi, mikä ilmenee näiden lajien esiintyvyyden

¹⁰⁶ Ympäristöministeriö, 2016

¹⁰⁷ Antão ym., 2022

¹⁰⁸ Hällfors ym., 2021

¹⁰⁹ Hällfors ym., 2020

¹¹⁰ Antão ym., 2022

harvinaistumisena. Tutkimukset ovat myös osoittaneet, että nopea muutostahti voi vaikuttaa suotuisasti ekosysteemien kykyyn vastata muutoksiin, siis niiden kykyyn ylläpitää populaatioita.¹¹¹

Lajien ajallinen ja alueellinen esiintyminen on muuttunut. Tiettyjen eteläisten lajien esiintyvyys on lisääntynyt ja lajit ovat levinneet pohjoisemmaksi. Esimerkiksi lintuyhteisöt ovat viimeisten 30 vuoden aikana siirtyneet koilliseen. Samaan aikaan pohjoista alkuperää olevien lajien määrä on vähentynyt Etelä-Suomessa. Lapin ark-tisiin olosuhteisiin sopeutuneiden lajien tilanne on erityisen haastava, koska ne eivät pysty enää siirtymään pohjoisemmaksi.

Ilmastomuutos vaikuttaa myös ekologisen yhteysverkoston toiminta-mahdollisuuksiin, eli lajien vuorovaikutussuhteisiin. Eliölajien vasteet ilmastomuutokseen vaikuttavat sekä niiden esiintymiseen eri alueilla ja aikoina vuodesta, myös populaatioiden paikalliseen runsauteen. Koska lajit voivat olla vuorovaiku-tuksessa toistensa kanssa, muutokset yhden paikallisen populaation runsaudessa, tai ylipäättään sen esiintyvyydessä, väistämättä kytkeytyvät takaisin toisiin lajeihin. Tällöin lajit, jotka vaikuttavat toisiinsa eivät enää kohtaa samassa paikassa, samaan aikaan tai tarpeeksi runsaina. Näiden takaisinkytkentöjen kertautuessa myös riskit kasaantuvat, sillä vuorovaikutuksen puute voi heikentää kantoja ja rappeuttaa eko-systeemien tuottamia palveluja ilman, että ilmastomuutos vaikuttaa suoraan tietyn palvelun tuottaman lajin elinkykyyn.

Ilmastomuutoksen myötä ekosysteemit kohtaavat monia muutoksia, jotka vaikuttavat myös ihmisille tärkeisiin hyödykkeisiin ja luonnonympäristön tar-joamiin palveluihin. Luonnon monimuotoisuus tukee useiden ekosysteemipalve-lujen säilymistä. Kun luonnon monimuotoisuus köyhtyy, ekosysteemin kyky tuottaa ekosysteemipalveluja voi heiketä. Monet ekosysteemipalvelut ovat myös riippu-vaaisia elinympäristöjen, eliölajien ja lajien sisäisen perinnöllisen monimuotoisuu-den säilymisestä. Luonnon monimuotoisuuden köyhtyminen voi vaikuttaa muun muassa sopivien viljelykasvien, tuotantoeläinten ja lääkeaineiden käytettävyyteen ja saatavuuteen. Ilmastomuutoksen myötä on odotettavissa muutoksia ekosystee-mien toimintaan ja niiden tuottamiin palveluihin.¹¹²

Vieraslajien haitallinen vaikutus luontaisesti esiintyviin lajeihin on tällä hetkellä merkittäväntä Etelä-Suomessa. On kuitenkin ennakoitu, että vuosi-sadan loppuun mennessä vaikutukset tulevat näkymään laajemmin. Kun ilmasto

111 Chaparro-Pedreza, 2021

112 Ympäristöministeriö, 2016

muuttuu ja lämpenee, ja varsinkin talvet muuttuvat leudoimmiksi, monet tähän mennessä heikosti lisääntyvät ja leviävät vieraslajit onnistuvatkin runsastumaan ja voivat muuttua haitallisiksi vieraslajeiksi. Erityisesti ihmisvaikutteisissa ympäristöissä vieraslajit voivat jo nyt syrjäyttää alkuperäisiä lajeja, ja vaikutuksen odotetaan lisääntyvän myös vesistöissä.¹¹³ Tästä johtuen useat luontaisesti esiintyvät lajit voivat syrjäytyä, jolloin näiden lajien monimuotoisuus vähenee, kun paikallisia populaatioita katoaa. Haitallisen vieraslajin asuttama alue myös köyhdyttää paikallista eliöyhteisöä, kun useat luontaisesti esiintyvät lajit syrjäytyvät yhden haitallisen lajin valtaamalta alueelta.¹¹⁴ Yhdessä nämä kaksi vieraslajeista aiheutunutta vaikutusta uhkaavat luonnon monimuotoisuutta ja siihen liittyviä ekosysteemipalveluita.

Ihminen on jo vaikuttanut, ja vaikuttaa edelleen suoraan ekosysteemeihin ja monimuotoisuuden vähenemiseen monella tavalla. Tämä puolestaan heikentää luonnon omaa kykyä sopeutua ilmastonmuutoksen aiheuttamiin vaikutuksiin. Ilmastonmuutoksen odotetaan kiihdyttävän luontokatoa, ja luontokato toisaalta voimistaa ilmastonmuutosta.

5.2 Luontotyyppien säilyminen

Kun Suomen ilmasto muuttuu ja lajit siirtyvät, runsastuvat tai vähenevät, myös maisema muuttuu. Pienilmasto Suomen nykyisillä luonnonsuojelualueilla on todettu muuttuvan.¹¹⁵ Sekä kesän että talven lämpötilojen ennustetaan muuttuvan voimakkaasti vuosisadan loppuun mennessä. Kasvukauden aikaisen lämpösumman muutosnopeus tulee olemaan suurin Etelä-Suomen alavilla suojelualueilla. Toisaalta nykyisenkaltaisen talvi-ilmaston ennustetaan häviävän kokonaan monilta suojelualueilta Pohjois-Suomessa.

Keskimääräisen (RCP4.5) ja voimakkaan (RCP8.5) ilmastoskenaarion mukaan vuosisadan loppupuolella enää hyvin harvoilla Natura-alueilla esiintyy samantaisia kesä- ja talvilämpötiloja kuin nykyään. Tällaisia Natura-alueita luonnehtii laaja korkeusvaihtelu ja maastonmuotojen monipuolisuus, jotka jonkin verran puskuroivat ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Etenkin tasamaiden Natura-alueilla tulevaisuuden olosuhteet tulevat eroamaan suuresti nykyisistä.¹¹⁶ Tämä tarkoittaa, että luonnonsuojelualueet eivät välttämättä pysty tarjoamaan elinympäristöä sille

¹¹³ Tuomenvirta ym., 2018

¹¹⁴ Pyšek ym., 2020

¹¹⁵ Heikkinen ym., 2020

¹¹⁶ Heikkinen ym., 2020

eliöstölle sekä niille luontotyypeille ja luontoarvoille, joiden suojelemiseksi suojelu-alueet alun perin perustettiin. Luonnontilaisina alueina ne kuitenkin tarjoavat elintilaa ilmastonmuutoksen myötä sinne siirtyville lajeille sekä tilaa ylläpitää ja kasvattaa populaatioita ilmastonmuutokseen soputuville lajeille.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset luontotyypeihin ovat ensi sijassa laadullisia. Nykytiedon valossa luontotyyppiesiintymiä voi myös hävitä ilmastonmuutoksen seurauksena. Esimerkiksi rannikon hauru- ja meriajokasvallit ja primäärisuknessioon liittyvät luontotyypit, tuntureiden lumenpysymät ja -viipymät sekä pohjoisen palsat ovat uhattuina muuttuvan ilmaston takia. Häviämisaarassa olevien luontotyyppien lisäksi ilmastonmuutokselle herkimmiksi luontotyypeiksi on tunnistettu muun muassa virtavesien latvapurot, Tunturi-Lapin pienvedet, perinnebiotoopit, tunturikoivikot, tunturikankaat, eteläiset aapasuot, lähteet ja lähdesuot sekä avoimet ja puoliavoimet kallioluontotyypit.¹¹⁷

Luontaisten abioottisten ja bioottisten häiriöiden ennustetaan lisääntyvän ilmastonmuutoksen myötä. Tämän arvioidaan vaikuttavan positiivisesti metsäluontotyyppien rakenteeseen muun muassa lisäämällä kuolleen puun sekä runsaslahopuustoisten nuorten sukkessiovaiheiden ja lehtipuiden määrää.¹¹⁸

Kun luontotyyppi häviää tai sen laatu heikkenee, taustalla toimivat samat prosessit kuin yllä kuvatussa lajien monimuotoisuuden hupenemisessa: lajien tietynlainen verkosto tietyssä elottomassa maisemarakenteessa muodostaa luontotyypin. Kun monimuotoisuus häviää alueelta niin myös sen ylläpitämä luontotyyppi heikkenee. Laadultaan heikoilla elinalueilla lajit eivät pysty ylläpitämään tarpeeksi isoja populaatioita, jonka takia monimuotoisuus heikkenee, ei pelkästään luontotyyppien kadotessa vaan myös niiden haurastuessa.

5.3 Itämeren tila

Meret ovat tärkeässä roolissa ilmastonmuutoksessa, sillä suurin osa ilmaston lämpenemisen aiheuttamasta lämmöstä on varastoitu meriin. Veden lämpötilan nousulla on myös merkittävät vaikutukset meriekosysteemiin. Reunameret ympäri maailmaa ovat lämmenneet nopeammin kuin avomeret, ja kaikista reunameristä, Itämeri on lämmennyt eniten.¹¹⁹

117 Pöyry ja Aapala (toim.), 2020

118 Pöyry ja Aapala (toim.), 2020

119 HELCOM, 2021

Ilmastomuutos vaikuttaa Itämeren olosuhteisiin merkittävästi. Muutoksia on odotettavissa meren suolapitoisuudessa ja biogeokemiallisissa parametreissa, kuten happipitoisuudessa, mutta nämä muutokset ovat vielä epävarmoja.

Ilman lämpötilan tavoin myös veden lämpötila jatkaa nousemistaan. Itämeren veden lämpötilan nousulla on vaikutuksia lajistokoostumukseen. Monet veden kemialliset ja fysikaaliset prosessit muuttuvat, ja esimerkiksi viileään veteen sopeutuneet lajit todennäköisesti taantuvat eteläisempien lajien runsastuessa. Pinta-veden lämpötilan nousu muuttaa planktonin lajistokoostumusta ja suosii esim. nopeasti lisääntyviä pienikokoisia eläinplanktonlajeja, kuten rataseläimiä ja vesikirppuja. Myös hajottajabakteerien aktiivisuus lisääntyy, mikä kiihdyttää ravinteiden ja hiilen kierrätystä pintavesikerroksessa.

Itämeren jääpeitteen häviäminen vaikuttaa haitallisesti sekä Itämeren ekosysteemin pienimpiin että suurimpiin eliöihin. Merijään mikroskooppisissa suolavesikäytävissä elävät levät ja bakteerit menettävät monin paikoin elinympäristönsä. Myös itämerennorpat (*Pusa hispida botnica*) joutuvat ahdinkoon, koska ne poikivat keväisille ahtojäille. Lämpenemisen voimistumisen katsotaan olevan itämerennorpan suurin vaaratekijä tulevaisuudessa, ja sen levinneisyysalue voi tulevaisuudessa rajoittua Perämerelle. Ilmastomuutoksen vaikutukset harmaahylkeeseen eli halliin (*Halichoerus grypus*) ovat lievemmat, koska halli pystyy poikimaan myös maalle ja merijään vähetessä sen talviset ruokailualueet saattavat jopa laajentua.¹²⁰

Ravinteiden valuminen Itämereen todennäköisesti lisääntyy ilmastomuutoksen seurauksena. Talven sademäärän lisääntyminen myötävaikuttaa ravinteiden huuhtoutumiseen valuma-alueista jokien kautta mereen ja rannikkovesiin. Nämä vaikutukset näkyvät ruokojen lisääntymisenä ja umpeenkasvuna sekä rantaan ajautuvien rehevöityneiden rihmalevien lisääntymisenä.¹²¹

Kesäaikainen lämpeneminen lisää sinilevien eli syanobakteerien kasvua.¹²² Sinilevät tarvitsevat kasvuunsa sekä typpeä että fosforia – ne pystyvät sitomaan itseensä ilmasta veteen liuennutta typpikaasua, joten vain fosforin saanti rajoittaa niiden esiintymistä.¹²³

120 Suomen ympäristökeskus, 2014

121 Kontula ja Raunio (toim.), 2018

122 Viitasalo ja Bonsdorff, 2022

123 Kanoshina ym., 2003

Talviaikaan lisääntyvät sateet ja lumelta paljas ja sula maa lisäävät ravinteiden huuhtoutumista maa-alueilta, mikä lisää ravinteikkaissa vesissä viihtyviä leviä, kuten silmä-, panssariisiima-, tarttuma-, ja nieluleviä.¹²⁴ Itäisellä Suomenlahdella veden laatu näyttää tällä hetkellä paranemisen merkkejä, mutta esimerkiksi Saaristomerellä ja Selkämerellä kehitys näyttää heikkenevän. Ravinteiden huuhtoutumisen ja rehevöitymisen osalta voi olla eroja eri merialueilla.¹²⁵

Lisääntyvä hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä on yksi merkittävimmistä syistä Itämeren happamoitumiselle. Meren happamoituminen voi vaikuttaa meressä eläviin organismeihin ja erityisesti niihin, joiden ulkoinen tukiranka muodostuu kalsiumkarbonaatista.¹²⁶

Ilman lämpötilan nousu aiheuttaa meren helleaaltoja, joilla on suoria ja epäsuoria vaikutuksia luontotyyppeihin, lajeihin ja populaatioihin maa- ja vesiekosysteemeissä. Lämpeneminen todennäköisesti muuttaa Itämeren lintuyhteisöjä. Talvilämpötilojen nousun takia alueella talvehtivia lintuja esiintyy nykyään pohjoisempana kuin aikaisemmin.¹²⁷ Viimeisen kymmenen vuoden aikana hellekaudet ovat iskeneet Itämeren alueelle ja samalla lämpöaaltojen pituus näyttää pitenevän. Muutokset äärilämpötilojen yleisyydessä voivat vaikuttaa biologiseen ja ihmisten toimintaan merkittävämmiin kuin muutokset keskilämpötilassa.¹²⁸

Länsirannikolla kansainvälisestikin ainutlaatuisia luontoarvoja on sidoksissa maankohoamisilmiöön. Tämä prosessi vaarantuu, kun merenpinta kohoaa ilmastomuutoksen vaikutuksesta ja suhteellinen maankohoaminen pienenee.

5.4 Muut vesiekosysteemit

Ilmastomuutoksella on sekä suoria että epäsuoria vaikutuksia vesien tilaan. Voidaan osoittaa, että järvien jääpeiteaika on lyhentynyt ja järvien lämpötilakerrostuneisuus on muuttunut vuosisyklin aikana lämpötilojen ja sateiden

124 Suomen ympäristökeskus, 2014

125 Kontula ja Raunio (toim.), 2018

126 HELCOM, 2021

127 Suomen ympäristökeskus, 2014

128 HELCOM, 2021

muutosten sekä tulvien ajankohtien muutosten myötä. Ilmastomuutoksen osuuden erottaminen muista tekijöistä, kuten esim. maankäytön ja muun ihmis-toiminnan vaikutuksista, on kuitenkin hyvin vaikeaa.¹²⁹

Äärimmäiset sääilmiöt, kuten kesäiset hyvin kuumat jaksot, ovat merkittävimpiä ilmastomuutoksen vaikutuksia vesiekosysteemeihin. Veden lämpötilan noustessa ja kasvukauden pidentyessä vesistöjen perustuotanto voi lisääntyä, rehevöityminen voimistua ja leväkukintojen määrä kasvaa. Vesien bakteerimäärät voivat myös lisääntyä. Järvien kesäaikainen lämpötilakerrostuneisuus pitenee ja voi voimistua lämpötilan noustessa. Pohjalle vajoavan orgaanisen aineksen määrän lisääntyminen lisää todennäköisesti hapen kulutusta. Myös hapenkulutus voi kasvaa, jos lähellä pohjaa olevan vesikerroksen lämpötila kasvaa. Toisaalta jääpeitekauden lyheneminen voi olla happitilanteen kannalta eduksi.¹³⁰

Ilmastomuutos vaikuttaa vesieliöiden levinneisyyteen ja runsauden vaihteluun sekä ihmisten käyttämiin ekosysteemipalveluihin, kuten kalastukseen ja virkistyskäyttöön, mutta arviot ovat vielä melko epävarmoja. Alustavien arvioiden mukaan sisävesiluonto tulee muuttumaan merkittävästi erityisesti arktisella alueella. Paikoin lisääntyvä rehevöityminen ja mahdolliset vieraslajit voivat aiheuttaa riskejä vesistöjen ekosysteemeille. Eteläiset, lämmintä vettä suosivat lajit leviävät pohjoiseen, ja pohjoiset, kylmää vettä suosivat lajit katoavat tai pakenevat kauemmas pohjoiseen. Vaikka lajien kirjo pohjoisilla alueilla lisääntyy, muutoksen kokonaisvaikutukset tulevat olemaan haitallisia.¹³¹

Pienet vesistöt, purot ja lammet ovat erityisen herkkiä lämpötilastressille. Pahimmillaan purot voivat kuivua lähes kokonaan, mikä voi vahingoittaa niiden ekologiaa. Hydrologisen kausirytmien muutosten on havaittu vaikuttavan muun muassa pohjaeliöiden lajikoostumukseen erityisesti pienvesissä. Tulvien vähenemisen ja kesän kuivuuden yleistymisen myötä kosteana säilyvät rantavyöhykealueet kapenevat ja niiden kasvillisuuden lajirunsaus vähenee.¹³²

Lisääntyvä sadanta vaikuttaa luontotyyppeihin eri tavoin. Sadannan kasvun arvioidaan lisäävän vesien tummumista, mutta paikalliset vaihtelut ovat suuria valuma-alueen ominaisuuksista, maalajeista ja maankäytöstä johtuen. On laskettu,

129 Nunez ja Alkemade, 2021

130 Veijalainen ym., 2020

131 Veijalainen ym., 2020

132 Veijalainen ym., 2020

että kymmenen prosentin kasvu sadannassa lisää hiilen kulkeutuvuutta vähintään 30 %. Vesien tummuminen puolestaan vaikuttaa vesistöjen perustuotantoon lisäämällä vähähappisia olosuhteita ja muuttamalla valo-olosuhteita.¹³³

Hydrologisten ääri-ilmiöiden, kuten tulvien, lisääntyminen todennäköisesti voimistaa metallien ja happamuuden huuhtoutumista maaperästä erityisesti happamilta sulfaattimailta. Seurauksena vesiekosysteemien ja kalakantojen todennäköisyys altistua myrkyllisille metalliyhdisteille kasvaa. Pitkien kuivien kausien ja niitä seuraavien rankkasateiden jälkeen esiintyy korkeita myrkyllisten yhdisteiden pitoisuuksia. Erityisesti vähäjärvisillä valuma-alueilla, joissa virtaaman vaihtelut ovat nopeita, ongelma voi korostua.¹³⁴

Talviaikaisen valunnan odotetaan kasvavan, talvitulvien yleistyvän ja kevät-tulvien pienenevän ilmastonmuutoksen johdosta. Muutokset valunnassa vaikuttavat ravinteiden huuhtoutumiseen ja kiintoaineen kulkeutumiseen vesistöihin. Sisävesiluontotyyppeihin nämä muutokset vaikuttavat monella tavalla. Ilmastonmuutos nähdään yhtenä tulevaisuuden uhkatekijänä yli 80 prosentilla arvioiduista sisävesi- ja rantaluontotyypeistä. Tunturialueen vesistöihin arvioidaan kohdistuvan voimakkaimmat vaikutukset. Vaikutusten arvioidaan kohdistuvan Lounais-Suomessa esiintyviin luontotyyppihin sekä karuihin ja kirkasvetisiin järviin.¹³⁵

Metsäalueiden ravinnekuormituksen muuttumista on toistaiseksi tutkittu vähemmän kuin peltojen. Metsäalueiden ravinnekuormitusriski todennäköisesti lisääntyy kasvavan valunnan ja rankkasateiden vuoksi, koska merkittävä osa metsä-alueiden ravinteista huuhtoutuu vesistöihin tulva-aikana.¹³⁶

Avoimien luontotyyppien umpeenkasvu selittyy monilla tekijöillä. Leudot sateiset talvet, lisääntyvä ilmakehän hiilidioksidipitoisuus ja ilmakehästä tuleva rehevöittävä typpilaskeuma edistävät dyyneillä sammalien ja puiden kasvua ja kiihdyttävät umpeenkasvua. Myös meren- ja sisävesien rantaniityillä on odotettavissa ilmaston lämmetessä umpeenkasvua vähentyneen jäiden kulutusvaikutuksen johdosta. Ilmaston lämpeneminen myös kiihdyttää kasvillisuuden kasvua ja ravinteiden vapautumista, mikä voi vauhdittaa umpeenkasvua erityisesti hoitamattomilla perinnebiotoopeilla.¹³⁷

133 [de Wit ym., 2016](#)

134 [Veijalainen ym., 2020](#)

135 [Kontula ja Raunio \(toim.\), 2018](#)

136 [Veijalainen ym., 2020](#)

137 [Kontula ja Raunio \(toim.\), 2018](#)

5.5 Metsätuhot

Suomessa metsien terveydentila on säilynyt toistaiseksi pääasiassa hyvänä.

Laajamittaisia metsätuhoja ei ole esiintynyt. Esimerkiksi kirjanpainajien aiheuttamat puustokuolemat ovat tähän mennessä olleet paikallisia.¹³⁸

Ilmastonmuutos kuitenkin muuttaa Suomen metsiä. Keskilämpötilan nousu ja ilmakehän kohonnut hiilidioksidipitoisuus ovat kiihdyttäneet metsien kasvua. Tuho-riskiä metsiin aiheuttavat sekä bioottiset tekijät (kuten hirvi, erilaiset sienitaudit ja kaarnakuoriaiset, sekä muut nisäkkäät ja hyönteiset) että abioottiset tekijät (kuten tuuli, lumi, kuivuus, metsäpalot).¹³⁹

Häiriötekijät, kuten myrskyt ja metsäpalot, ovat myös luonnollinen osa metsien kiertokulkua. Vuosittainen metsäpaloala Suomessa, noin 600 hehtaaria, on noin viisi prosenttia 1920- ja 1930-lukujen tasosta. Paloala laski merkittävästi 1960-luvulla, ja on siitä asti pysynyt nykyisellä, alhaisella tasolla.¹⁴⁰ Metsätuhojen torjunnassa keskitytään erityisesti laajamittaisten ja voimakkaasti leviävien tuhojen ehkäisyyn.

Merkittävämpiä tuhoja Suomen metsissä ovat viime vuosina aiheuttaneet abioottiset tekijät, erityisesti tuuli ja lumi. Tuulituhojen arvioidaan lisääntyvän tulevaisuudessa, pääasiassa routakauden lyhenemisen ja talviaikaisen sadannan lisääntyessä, jolloin puiden vastustuskyky tuulituhoilta on pienempi. Lumituhoja esiintyy toistuvasti tykkylumelle alttilla alueilla koko Suomessa. Niitä on viime vuosina esiintynyt uusilla alueilla, ja niiden arvioidaan kasvavan.

Bioottiset tekijät, eli erilaiset tuholaiset ja sienitaudit, ovat kasvava uhka Suomen metsille. Routaisuuden väheneminen ja sen myötä lisääntyvät talvella tapahtuvat tuulituhot sekä pidentyvä kasvukausi luovat suotuisat edellytykset useille merkittävää tuhoa aiheuttavien hyönteisten ja sienien lisääntymiselle. Esimerkiksi kuivuus ja tuulituhot heikentävät erityisesti kuusikoiden elinvoimaisuutta, ja kirjanpainaja hyödyntää heikentyneitä puita lisääntymisessään. Kirjanpainaja on jo aiheuttanut paikallisia tuhoja eteläisen ja keskisen Suomessa varttuneissa kuusikoissa, erityisesti Uudellamaalla ja Kaakkois-Suomessa. Juurikäpä hyötyy kasvukauden pidentymisestä.

138 Lehtonen ym., 2020

139 Lehtonen ym., 2020

140 Lindberg & Lehtonen, 2022

Ilmaston lämpenemisen myötä vieras- ja tulokaslajit voivat osaltaan lisätä metsiin kohdistuvia riskejä. Kasvituotteiden kansainvälinen kauppa lisää metsiä tuhoavien vieraslajien riskiä, ja niiden selviytymismahdollisuudet Suomessa kasvavat olosuhteiden muuttuessa. Tulokaslajit, kuten okakaarnakuoriainen ja havunnunna, sen sijaan leviävät ilmaston lämmetessä luontaisesti Suomeen.

Alttiimpia metsiköitä tuulituhoille ovat avohakkuiden reuna-alueet. Haavoittuvimpia metsiköitä ovat erityisesti varttuneet kuusikot sekä yksipuoliset metsät.¹⁴¹ Kuusi on pääpuulajeistamme erityisen herkkä ilmastomuutoksen vaikutuksille. Sen viljely on Suomessa lisääntynyt merkittävästi, koska hirvieläinten aiheuttamat tuhot männyille ja lehtipuille ovat vähentäneet niiden käyttöä metsien uudistamisessa.

Ilmastomuutoksen kytkeytyminen hirvien ja muiden sorkkaeläinten, sekä myyrien aiheuttamaan tuhoriskiin on epävarmaa. Vähälumiset talvet kuitenkin mahdollistavat erityisesti kauriiden ja peurojen siirtymisen pohjoisemmaksi.

Metsien terveyttä tarkasteltaessa on keskeistä huomioida tuhojen yhteisvaikutuksia. Muuttuvassa ilmastossa puut altistuvat enenevässä määrin kuivuuden aiheuttamalle stressille, jolloin on odotettavissa yhteisvaikutuksia: stressi altistaa puut sienitaudeille ja edelleen muun muassa kaarnakuoriaisille. Juurikäätä puolestaan altistaa puut tuulituhoille. Kasvava abioottisten tuhojen määrä tulee lisäämään hyönteistuhon riskiä: kaarnakuoriaiset lisääntyvät tuulituhoissa sekä kuivuuden stressaamissa kuusissa.¹⁴²

Lisääntyvät kuivuus- ja hellejaksot lisäävät laajojen metsäpalojen riskiä. Metsäpalot on tähän mennessä onnistuttu pitämään kurissa tehokkaan palontorjunnan, tiheän metsätieverkoston sekä metsien hoidon avulla. Myös Suomen metsien rakenne on tehokas vähentämään metsäpaloriskiä, sillä metsikkökuviot erityisesti Etelä-Suomessa ovat pieniä. On myös muistettava, että ihmisen toiminta metsissä on merkittävä tekijä metsäpaloriskin syntymiseen.

5.6 Kalakannat

Yleisesti ottaen kalalajien kyky sietää muuttuvia olosuhteita vaihtelee, ja jotkin lajit ja elinvaiheet ovat haavoittuvampia kuin toiset. Veden lämpötilan nousu haittaa kylmän veden lajien, kuten lohen ja siian menestymistä,

¹⁴¹ Suvanto ym. 2016

¹⁴² Venäläinen ym., 2020

ja hyödyttää kalalajeja, jotka viihtyvät lämpimämmässä ja ravinteikkaammissa vesissä. Talvien jäätömyys voi myös heikentää kalojen, esimerkiksi siian ja muikun, lisääntymismenestystä.

Vielä tällä hetkellä merkittävimpien kalastuksen kohdelajien kannat ovat valtaosin hyvässä tilassa. Silakka- ja kilohailikannat ovat edelleen vahvat, samoin ahven, muikku-, särkikala- ja kuorekannat sekä Saaristomerta lukuun ottamatta kuhakannat. Eniten ongelmia on vaelluskalakannoilla. Vaellusesteistä kärsivien vaelluskalojen tilanne on heikko, useampi laji on uhanalainen eikä kestä kalastusta.

Lämpötilan nousu on hyödyttänyt monien keväällä ja kesällä kutevien kalojen lisääntymistä. Hapen liukeneminen ilmasta veteen on kuitenkin heikompaa ilman lämpötilan noustessa. Äärimmäisen lämpimissä lämpötiloissa tämä voi johtaa hapenpuutteeseen, ja seuraukset voivat olla vakavia. Kuumina kesinä veden kerrostuneisuus voi olla voimakasta. Tällöin muodostuu lämmin vesikerros, jossa hapen liukeneminen ilmasta on heikkoa ja kalat, jotka eivät siedä lämmintä pintavettä, joutuvat siirtymään syvemmälle.

Samanaikaisesti monet muut vesiympäristön lajit hyötyvät lämpenemisestä, ja niiden aktiivisuuden lisääntyessä ne kuluttavat entistä enemmän vesistön happea, myös pohja-alueelta. Tämä aiheuttaa ongelmia pohjalla eläville kaloille, mutta myös niille kaloille, jotka ovat siirtyneet syvempiin vesiin välttääkseen lämpimät pintavedet. Veden lämpötilan nousu vaikuttaa myös kalalajien alueelliseen jakautumiseen.

Ilmastonmuutoksen arvioidaan lisäävän rehevöitymisen vaikutuksia vesistöissä, sillä veden lämpötilan nousu pahentaa rehevöitymistä. Rehevöityneiden olosuhteiden lisääntyessä syntyy lisäriski happikadolle ja laajoille leväkukinnoille, kun hajoavat levät kuluttavat happea pohja-alueilta ja lisäävät ravinteiden liukenemista pohjasedimentistä. Tämä johtaa niin sanottuun sisäiseen kuormitukseen, jossa rehevöitymisprosessi jatkuu, vaikka vesiin ei virtaisikaan ravinteita ulkoisista lähteistä. Tämä prosessi koskee Itämeren sekä Suomen pieniä, eristyksissä olevia lampia ja sisävesistöjä.

5.7 Riistakannat

Ilmastomuutos vaikuttaa riistalajistoon esimerkiksi muuttamalla elinympäristöjä ja aikaistamalla kevättä. Ilmastomuutos heikentää pohjoisten lajien elinolosuhteita, jolloin se saattaa muuttaa eri lajien valtasuhteita ja elinpaikkoja. Elinympäristöjen muutos voi olla peruuttamatonta ja vaikuttaa lajeihin haitallisesti.

Esimerkiksi kanalintujen soittimet aikaistuvat, lumipukuiset lajit kärsivät lumen puutteesta ja kausikosteikoista hyötäneet lajit kärsivät. Lumipukuun vaihtavat lajit, kuten riekko ja metsäjänis, menettävät lämpiminä ja lumettomina syksyinä suojavärin tuoman edun mikä lisää niihin kohdistuvaa saalistuspainetta. Kuivat ja kuumat kesät puolestaan voivat vaikuttaa mm. kosteikoista riippuviin lajeihin, hirvieläinten vasojen painoon ja sekä lämpöstressille herkkiin hirviin ylipäättään. Joillain lajeilla, kuten itämerennorpalla, poikasten kasvuympäristö voi epäotollisina vuosina kadota tyystin. Laadultaan heikentyneet ja vähentyneet luontaiset elinympäristöt lisäävät ilmastomuutoksen aiheuttamaa riskiä riistaeläimille ja riistanhoidolle ja tekee ne entistä haavoittuvimmiksi ilmastomuutoksen vaikutuksille.

Tulokas- ja vieraslajit voivat muuttaa lajien välisiä suhteita. Ilmastomuutos voi edistää myös eteläisten kotoperäisten lajien leviämistä (esim. sorkkaeläimet, rusakko). Runsastuessaan tai levitessään uusille alueille lajeilla on taas omat kerrannaisvaikutuksensa alueen kasvillisuuteen ja muuhun eliöstöön, jonka lisäksi osa niistä voi toimia vektoreina useille eläinperäisille taudeille (Afrikkalainen sikarutto, rabies sekä jyräjoiden ja punkkien levittämät taudit).

Lajien keskinäisten runsauksien muutoksilla lajiyhteisöissä voi olla huomattavia vaikutuksia lajien välisiin suhteisiin. Tulokas- ja vieraslajien leviämisen lisäksi ilmastomuutos voi vaikuttaa kanalintukannoille merkittävään hyönteisravinnon määrään niiden poikuevaiheessa, tai myyräsykliin, mikä puolestaan vaikuttaa kanalintujakin saalistavien pienpetojen määrään. Näin aiheutuu toisiinsa vuorovaikutuksessa olevia ja vaikeasti ennustettavia muutoksia.

6 Yhteiskunnallis-taloudellinen riski- ja haavoittuvuustarkastelu

6.1 Metsätalous

Metsien merkitys hyvinvoinnille ja taloudelle on Suomessa huomattava. **Muuttuva ilmasto lisää metsätalouden riskejä, eikä kaikkia ilmastonmuutoksen aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia myöskään vielä tunneta täysin.** Metsätuhojen laajuutta on selvitetty Luonnonvarakeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen yhteistyönä. Raportin mukaan koko metsäsektorin on syytä varautua suurten, suuruusluokaltaan kymmenien miljoonien kuutiometrien kertatuhojen hoitamiseen siten, että puunhankinta keskitetään tuhoalueille ja rajoitetaan tarvittaessa hankintaa muualta.¹⁴³

Bioottisista tuholaisista hirvi ja juurikääpä ovat taloudellisesta näkökulmasta pahimpia tuhonaiheuttajia, hyönteisistä kirjanpainaaja. Metsät eivät ehdi sopeutua muutokseen yhtä nopeasti kuin niiden tuhonaiheuttajat. Tuhoseuranta on tältäkin osin välttämätöntä, ja esimerkiksi kuorellisen puutavaran varastointia metsissä joudutaan edelleen rajoittamaan kaarnakuoriaisten parveiluaikana. Juurikäävän leviäminen pohjoiseen jatkuu ja ennakkotorjuntaan on panostettava erityisesti alueilla, missä se ei vielä esiinny. Jalostuksen avulla voitaneen kuitenkin kehittää perimältään vastustuskykyisempää viljelymateriaalia. Myös viruksiin perustuvaa torjuntaa kehitetään.

Metsikkörakenteen monipuolistamisella voidaan pienentää myös kirjanpainaajatuhojen riskejä. Metsänjalostuksessa ja taimimateriaalin valinnassa on huomioitava alku-perän sopivuus puuston koko eliniän arvioituun ilmastoon.¹⁴⁴

Metsätalouden asema teollisuuden ja talouden kokonaisuudessa on erityisen tärkeä Kainuussa, Pohjois-Karjalassa ja Etelä-Savossa. Ilmastonmuutoksen vaikutuksilla metsiin voi olla erityisen merkittävä vaikutus näiden alueiden talouteen.

¹⁴³ Asikainen ym., 2019

¹⁴⁴ Asikainen ym., 2019

Yksityisten metsänomistajien taloudellista riskiä lisää vakuutusten puuttuminen. Noin 50 prosentilla metsänomistajista on vakuutus, mutta alueelliset erot vakuutuskattavuudessa ovat suuria.

Ilmastomuutoksen aiheuttamat muutokset vesitaloudessa aiheuttavat kasvavassa määrin haasteita metsätaloudelle. Roudattoman ajan lyheneminen maaperän kantavuudessa vaikeuttaa erityisesti puunkorjuuta sekä puutavaran kuljetuksia. Myrskyjen ja muiden äkillisten häiriöiden lisäksi paheneva ja pitenevä keli-rikko- ja ajoittain haitata metsäteollisuuden puunhankintaa.¹⁴⁵

6.2 Maatalous, kasvinviljely ja kotieläintalous, riistatalous ja niihin liittyvät palvelut

Maatalous on toimiala, jossa toimijat ovat joutuneet kautta aikojen sopeutumaan vuosittain vaihteleviin säätiloihin, muuttuneeseen ilmastoon ja niiden myötä satovaihteluihin. Satovaihtelu on erityisesti peltoviljelylle tyypillinen, pohjoisesta sijainnista ja pohjoisista sääolosuhteista johtuva ilmiö. Puutarhatalous ja eläintuotanto ovat vähemmän alttiita säästä ja ilmastomuutoksesta johtuvalle tuotannon vaihtelulle. Tämä kappale pohjaa Sopeutumisen tila 2017: Ilmastokestävyyden tarkastelut maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalalla -raporttiin.¹⁴⁶

Ilmastomuutos aiheuttaa ruoan alkutuotannolle, ruoka- ja ravitsemusturvalle ja elintarvikehuollolle, maaseudun elinvoimaisuudelle sekä vesistöille kuitenkin lisähaasteita. Ilmastomuutos lisää peltoviljely- ja puutarhakasvien tuotannon haasteita heikentämällä satomääriä ja -laatua. Tulevaisuudessa ilmastomuutoksen vaikutukset maatalouden toimintaedellytyksiin, kannattavuuteen ja kilpailukykyyn tulevat lisääntymään. Samalla ravinne- ja maaperän orgaanisen aineksen valumat heikentävät vesistöjen tilaa entisestään. Ruoka- ja ravintoturvan suhteen tulisi huomioida kasvilajien valinta liittyen typpilannoitteiden korvaamiseen muilla vaihtoehdoilla, kasvien talvipeitteisyys sekä talvehtivien viljelykasvien kuten syysviljojen ja nurmien talvehtimisongelmat muuttuvissa olosuhteissa.

Erityisesti pitkällä aikavälillä sekä Suomeen kohdistuvat että maailmanlaajuiset ilmastomuutokseen liittyvät vaaratekijät voivat vaikuttaa Suomen elintarvikehuoltoon sekä ruoka- ja ravintoturvaan. Ilmastomuutos voi

¹⁴⁵ Tuomenvirta ym. 2018

¹⁴⁶ Peltonen-Sainio ym., 2017

johtaa globaaliin ruoansaatavuuden heikkenemiseen, sekä hintojen nousuun ja pitkällä aikavälillä hintakriisiin. Joidenkin tärkeiden tuontituotteiden ja elintarvikkeiden saatavuus voi romahtaa ilmastonmuutoksen seurauksena kokonaan. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa elintarvikehuollon kaikkiin osiin, mutta Suomessa ja maailmanlaajuisesti suurin uhka kohdistuu alkutuotannolle.

Ilmastonmuutos lisää maataloustuotannon haasteita, kun tuotantoriskit lisääntyvät sääolojen vaihtelun lisääntymisen myötä. Tämä aiheuttaa sato-määrien heilahteluja sekä laadun heikkenemistä.

Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen vaikutukset maatalouden toiminta-edellytyksiin, kannattavuuteen ja kilpailukykyyn tulevat lisääntymään. Eri-tyisesti pitkällä aikavälillä sekä Suomessa tapahtuva, että maailmanlaajuinen ilmastonmuutos voivat vaikuttaa Suomen elintarvikehuoltoon sekä ruoka- ja ravintoturvaan.

Ilmastonmuutos voi hyödyttää esimerkiksi Suomen maa- ja puutarhataloutta sekä metsätaloutta alkuvaiheessa muun muassa pidemmän kasvukauden myötä. Samalla on huomioitava ilmastonmuutoksen vaikutus tuhoriskiin.

6.2.1 Peltoviljely

Peltoviljelylle haasteita aiheuttavat lisääntyvät rankkasateet ja liian märät pellot, Etelä-Suomen lyhentyvät tai puuttuvat routajaksot, ja erityisesti yhtä aikaa ilmenevä kasvukauden aikainen korkea lämpötila ja kuivuus, ja siten lisääntyvä haihdunta. Nämä ilmiöt haittaavat muun muassa kasvien kasvua, vähentävät maan kantavuutta ja lisäävät maan tiivistymisriskiä, sekä lisäävät kasvintuhoojien riskiä. Muun muassa roudattomuus, lumipeitteen väheneminen ja lämpöjaksot keväällä hankaloittavat syysviljojen selviämistä. Ilmastonmuutos lisää maaperän eroosiota ja ravinnevalumia ja heikentää siten maaperän viljavuutta.

Suomessa maanviljely on ilmasto-olosuhteiden vuoksi mahdotonta ilman ojitusta, eikä tuottava viljely ole mahdollista ilman toimivaa kuivatusta. Salaojitus ja muu paikalliskuivatus sekä peruskuivatusuomat muodostavat kuivatusjärjestelmän, joka on luonut suotuisat kasvuolosuhteet viljelykasveille. Lisäksi se on mahdollistanut tehokkaan konekaluston käytön ja oikein toteutettuna vähentänyt vesistö- ja ilmastokuormitusta. Vastaavasti metsäojitus on parantanut maan kuivatustilaa puuston kasvun kannalta edullisemmaksi, minkä ansiosta metsätalouskäytössä oleva pinta-ala on lisääntynyt Suomessa merkittävästi.

Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät rankkasateet asettavat isoja haasteita maa- ja metsätalouden vesienhallintajärjestelmille. **Rankkasateiden lisääntyminen johtaa tilanteisiin, joissa kuivatusjärjestelmät eivät riitä, eikä veden kyllästävä maaperä ime vettä.** Pitkäaikainen veden kerääntyminen ja maan märkyys johtavat haitalliseen vesien kerääntymiseen pelloille, sekä ojien ja isompien vesiuomien tulvimiseen. Liiallinen kosteus tuhoaa kasvien juuristoja sekä kesällä että talvella, ja koneiden käyttö märällä pellolla johtaa maaperän tiivistymiseen, joka aiheuttaa merkittäviä satotappioita. Lisääntyvä pintavalunta lisää myös eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista. Nykyinen ojitus- ja vesienhallintajärjestelmämme ei vastaa muuttuvien ilmasto-olojen vaatimuksia.

Kuivuus on aiheuttanut haasteita peltoviljelylle, ja kuivuusriskin arvioidaan ilmastonmuutoksen johdosta kasvavan. Kasvun kannalta kriittistä aikaa on kasvukauden alkuvaihe. Kuivuuden lisääntyminen alkukeväästä ja loppusyksystä haittaa kasvien kasvua ja kesä–heinäkuun voimakkaasti lisääntyvä kuivuus lisää todennäköisesti kasvikuolemia ja metsäpaloja, erityisesti hemi- ja eteläboreaalilla kasvillisuusvyöhykkeillä.

Kastelu on tähän saakka keskittynyt erikoispeltokasvituotantoon, jossa sadon arvo hehtaaria kohden on suurta. Avoin kysymys onkin, että missä olosuhteissa kastelu peltoviljelyssä (viljat, heinä) on taloudellisesti järkevää. Sateisuuden muutos ja mahdollisesti lisääntyvä kuivuus ei välttämättä yksin riitä lisäämään kastelun kannattavuutta, vaan se voi vaatia tilakoon kasvattamista ja korkeampia satotasojia ennen kuin kastelujärjestelmistä tulee kannattava investointi.

Erilaiset kasvintuhoojat, kuten hyönteiset sekä sieni- ja virustaudit uhkaavat kasveja, viljelyä ja luontoa jo nyt. Viljelyssä kasvintuhoojista aiheutuu usein taloudellisia tappioita ja sadon määrän ja laadun heikentymistä, mikä uhkaa ruoan saatavuutta. Kasvintuhoojat voivat aiheuttaa merkittävää haittaa myös luonnon monimuotoisuudelle tuhoamalla pahimmillaan laajoilta alueilta kasveja, tai jos niihin kohdistuvien hävittämistoimenpiteiden vuoksi joudutaan hävittämään kasveja.

Ilmastonmuutos lisää tuotantoa uhkaavien uusien ja jo olemassa olevien kasvintuhoojien esiintymiseen liittyvää satotappioriskiä. Suomessa jo esiintyvien kasvintuhoojien lisäksi uhkana on uusien kasvintuhoojien leviäminen kansainvälisen kaupan mukana ja ilmastonmuutoksen myötä. Ilmastonmuutos lisää myös uusien pelto- ja puutarhakasvien viljelyä ja myös näiden kasvien tuhoojien leviämistä.

Viljelijät tarkkailevat tuhoojien esiintymistä ja torjuvat niitä eri tavoin osana normaaleja viljelytoimenpiteitä. **Kasvintuhoojien lisääntyminen voi lisätä erilaisten kasvinsuojelutoimenpiteiden sekä kasvinsuojeluaineiden käytön tarvetta alkutuotannossa ja aiheuttaisi entisestään merkittävää haastetta tuotannon kannattavuudelle.** Markkinoilla saatavilla oleva kasvinsuojeluainevalikoima on myös supistunut, joten sopivia aineita ei aina välttämättä löydy.

EU-lainsäädäntö säätelee erikseen karanteenituhoojia, joista aiheutuva haitta tuotannolle ja ympäristölle on erityisen suuri. Näiden kasvintuhoojien leviäminen ja asettuminen Suomeen pyritään estämään kokonaan. Uusien karanteenituhoojien saapuminen tulisi havaita jo mahdollisimman varhain, ennen kuin ne ovat ehtineet asettua ja levitä laajemmalle, sillä hävittämistoimenpiteet ovat usein kalliita.

Muutosta viljelijöiden pellonkäytössä ja sopeutumista muuttuvaan ilmastoon on jo nähtävissä. Sen voi myös ennakoida muuttuvan ratkaisevasti varsin lyhyelläkin aikajänteellä. Esimerkiksi kevätvehnän ja rapsin viljelyalat ovat kasvaneet sekä niiden tuotanto on laajentunut uusille alueille. Myös viljelijöiden kiinnostus syysrapsin viljelyyn on kasvanut. Uusien viljelykasvien, kuten öljyhampun ja kuminan viljelyalojen arvioidaan myös kasvavan. Toisaalta muuttuvat talviolot voivat viivästyttää syyskylvöisten ja monivuotisten viljelykasvien viljelyn laajentumista tulevaisuudessa.

Keskeisinä maanviljelyn haavoittuvuustekijöinä on tuotannon heikko kannattavuus ja suoran tulotuen osuus viljelijöiden tuloista. Heikko kannattavuus ei mahdollista riskienhallintatoimiin investoimista, ja toisaalta suoran tulotuen suuri osuus viljelijöiden tuloista ei välttämättä kannusta riskienhallintatoimien tekemiseen. Esimerkiksi vähäinen satojen vakuuttaminen jättää satovahinkoriskin pääosin maanviljelijöille. Tällä hetkellä käytännössä vain yksi vakuutusyhtiö tarjoaa satovahinkovakuutuksia, mutta niiden kysyntä on vähäistä. Myöskään kuivuusjärjestelmiin investointi ei nykytiloilla ole pääosin kannattavaa.

Merkittävistä haasteista huolimatta ilmastonmuutos myös hyödyttää Suomen maa- ja puutarhataloutta. Kasvukauden pidentyminen ja talvien leudontuminen mahdollistavat uusien, nykyistä myöhäisempien ja satoisampien lajien ja lajikkeiden viljelyn. Kevään aikaistuminen ja vähälumisemmat talvet, jotka johtavat peltojen nopeamman kuivumiseen, voivat tarkoittaa, että koneilla pääsee pelloille nykyistä aikaisemmin. Vastaavasti monivuotiset kasvustot hyötyvät kasvukauden alun aikaisumisesta. Tämä on poikkeuksellista verrattuna muualla ennakoituihin, varsin yksipuolisesti haitallisiin vaikutuksiin. Vaikka kasvukausi pitenee, valo-olot eli pitkät päivä säilyvät.

6.2.2 Puutarhatalous

Ilmastonmuutos aiheuttaa haasteita myös puutarhataloudelle. Tämä koskee erityisesti avomaan puutarhatuotantoa. Kasvintuhoojat lisääntyvät, ja samalla niitä vastaan kehitettyjä kasvinsuojeluaineita poistuu markkinoilta uusien tiukempien hyväksymisvaatimusten takia. Tämä vaatii vaihtoehtoisten kasvinsuojelumenetelmien kehittämistä ja käyttöönottoa kemiallisten kasvinsuojeluaineiden käytön lisäksi. Talviset lämpötilanvaihtelut, eli jäätymis-sulamissyklin tihentyminen, vaikeuttavat puutarhakasvien talvehtimistä. Pitkät märät jaksot aiheuttavat myös hankaluuksia.

Lähes kaikilla avomaan puutarhatuottajilla on kastelulaitteet, joten kuivuuden aiheuttama riski on pienempi kuin peltoviljelyssä. Keinokastelu kuumalla ilmalla vaikuttaa kuitenkin alentavasti tuotteiden laatuun. Vakavan kuivakauden aikana tuotannossa voi tulla haasteita kasteluveden saannin kanssa. Tunneliviljely vähentää avomaaviljelyn ilmastoriskejä, koska siinä pystytään säätämään kasvuolosuhteita paremmin kuin avomaalla. Toisaalta tunneliviljelyssä kasvintuhoojien riski voi olla korkeampi. Merkittävä haavoittuvuustekijä on kotimaisen lajiketutkimuksen puuttuminen, joka on lopetettu kannattavuussyistä.

Myös kasvihuonetuotannossa ilmastonmuutos vaikuttaa lisäten esimerkiksi kasvintuhoojariskejä sekä tarvetta kasvihuoneiden jäähdytykseen kuumina aikoina. Kasvihuoneissa kasvuolojen säätely on kuitenkin helpompaa kuin avomaalla, joten myös haitalliset vaikutukset ovat pienemmät. Vaihtoehtoisia kasvinsuojelumenetelmiä on myös enemmän saatavilla kasvihuonetuotannossa kuin avomaatuotannossa, jossa on erityisesti tarve kehittää uusia kasvinsuojelumenetelmiä.¹⁴⁷

Puutarhatalouden lisäysaineistoa ostetaan rutiinisti ulkomailta ja näiden mukana tulee Suomeen säännöllisesti myös uusia kasvintuhoojia, joihin pitää kohdistaa torjuntatoimia.¹⁴⁸ Talvi tai puuttuvat isäntäkasvit myös estävät monen kasvintuhoojan asettumisen puutarhatuotantoon tai puutarhakasvien villeihin sukulaislajeihin.¹⁴⁹ Myös kasvisten mukana voi tulla uusia kasvintuhoojia ja sopivissa ilmasto-oloissa ne voivat päästä leviämään tuotantopaikoille tai metsämarjoihin.

¹⁴⁷ Euroopan komissio, 2022a

¹⁴⁸ ks. Ruokaviraston valvontaraportit

¹⁴⁹ IPPC secretariat, 2021

Esimerkkinä tästä on täplämahlakärpänen, jota on pienimuotoisesti löydetty Suomesta ulkomaisista marjoista, joista sen on havaittu voivan levitä myös tuotannossa oleviin marjoihin.¹⁵⁰

Osa kasvintuhoojista on säädelty kasvinterveyslainsäädännöllä, kuten edellä peltoviljelyn kohdalla on kuvattu. On olemassa myös muita taloudellisesti merkittäviä kasvintuhoojia, joita ei pystytä pelkästään kasvikaupassa torjumaan, vaan ne leviävät luontaisesti.¹⁵¹ Ilmastonmuutos voi lisätä kasvintuhoojien asettumista pysyvästi maahan ja näin ollen myös puutarhakasvien kasvintuhoojien seurantaan ja torjuntaan tulee kiinnittää huomiota niin viranomaistoimin kuin markkinaketjuissa ja tilatasolla.

Kasvinjalostus on merkittävä tekijä monien kasvintuhoojien torjunnassa ja sen edistämiseen tulisi myös kiinnittää huomiota.¹⁵² Ilmastonmuutos voi osaltaan mahdollistaa monipuolisemman puutarhakasvien viljelyn, mutta myös geenivarojen kestävä käyttö ja monimuotoinen viljelykasvien lajisto ja lajikkeisto voi toimia puskurina ilmastonmuutokseen sopeutumisessa ja sen hillitsemisessä.¹⁵³

6.2.3 Eläintuotanto

Eläintuotantoa uhkaa Ilmastonmuutoksen ja kansainvälisen kaupan vilkastumisen myötä eläintautien ilmaantuvuuden muuttuminen ja eläintautien siirtyminen uusille alueille. Vektorilevitteiset, eli hyönteisten levittämät taudit kuten sinikielitauti, lumpy skin-tauti ja west nile fever eli WN-kuume ovat aiheuttaneet epidemioita 2000-luvulla. Lintujen muuttoreitit ovat muuttuneet ja muuttuvat ja korkeapatogeeninen lintuinfluenssa seuraa lintujen muuttoreittejä. Korkeapatogeenisen lintuinfluenssan riski siipikarjalle (fasaanit) ja turkiseläimille on jo toteutunut Suomessa. Leudommat talvet ja kasvillisuuden muuttuminen edistävät tulokaslajeista myös villisikojen leviämistä Suomessa, mikä tuo mukanaan riskin afrikkalaisen sikaruton leviämisestä maahamme. Afrikkalaista sikaruttoa ei ole koskaan tavattu Suomessa. Elintarviketuotantoeläinten taudeilla olisi merkittäviä taloudellisia seuraamuksia Suomen elintarviketeollisuudelle.

150 Nissinen et al. 2023

151 IPPC secretariat, 2021

152 IPPC secretariat, 2021

153 FAO, 2022

6.2.4 Kalastus ja vesiviljely

Vesiviljelylaitokset, jotka ottavat vetensä läpivirtauksella, kärsivät veden lämpötilan noususta. Esimerkiksi vuosien 2014, 2018 ja 2020 kuumina kesinä tämä johti laajoihin kalakuolemiin. Lisääntyvällä rehevöitymisellä on kielteisiä vaikutuksia vesiviljelytuotantoon sekä sisämaassa että rannikkovesissä, myös mahdollisesti tiukentuvan ympäristölupamenettelyn kautta.

Kaupalliseen kalastukseen vaikuttavat sekä ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset kalakantoihin, että muuttuvien ympäristöolosuhteiden, kuten jääolosuhteiden, vaikutus kalastukseen. Pitkät jäättömät jaksot voivat pidentää meritroolikalastuksen kalastuskautta, mutta muu talviaikainen kalastus kärsii jääpuutteesta. Etelä-Suomessa vähäjäiset tai jäättömät talvet ovat yleistyneet, talvikalastuskausi lyhentynyt ja kelirikkoajat pidentyneet. Jäättömänä talvena kala liikkuu vähän ja niitä on silloin vaikea pyytää. Rannikolla hylkeet vaikeuttavat kalastusta, kun pyyntialueet eivät ole jäässä.

Vieraslajit voivat olla erittäin haitallisia vesiekosysteemeissä. Rannikkovesistä ja sisävesistöistä on jo löydetty useita vierasperäisiä kalalajeja, kuten mustatäplätkokko (*Neogobius melanostomus*) ja aurinkoahven (*Lepomis gibbosus*). Vaikka ilmastonmuutos ei sinänsä aiheuta vieraslajien siirtymistä, se saattaa tehdä Suomen ilmastosta sopivamman joillekin vieraslajeille, jotka eivät muuten selviäisi. Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi kalavesien hoidossa tällä hetkellä yleisesti istutuslajeina käytetyt kirjolohi ja karppi, joiden poikaset eivät tällä hetkellä selviydy luonnossa ensimmäisestä elinvuodestaan. Myös kyttyrälohen runsastuminen Pohjois-Atlantilla näyttää liittyvän ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin meriekosysteemeissä ja laji voi mahdollisesti levitä myös Itämerelle.

6.2.5 Poronhoito

Poronhoito on laajoja alueita hyödyntävä arktinen luontaiselinkeino, joka perustuu sekä porojen kykyyn hankkia olosuhteiden salliessa ravintonsa ja tulla toimeen luonnonlaitumilla, että poronhoitajien perinteiseen tietoon poroista ja laidunympäristöstä.

Poronhoito on ilmastonmuutoksen negatiivisille vaikutuksille herkkä elinkeino. Ilmastonmuutos ja muuttuvat sääolot vaikuttavat suoraan poron ravinnonsaantiin, terveyteen ja hyvinvointiin sekä käytännön

kannalta aikaisempaa suotuisampia. Myös muun maankäytön laajuus paliskunnissa ja todennäköisesti myös ilmastonmuutoksen aiheuttamat ekosysteemimuutokset selittävät osaltaan jäkälälaidunten kuntoa ja kasvilajimuutoksia.¹⁶²

Lisääntyvä maankäyttö poronhoitoalueella vaikeuttaa poronhoidon sopeutumista. Monimuotoinen ja rauhallinen laidunympäristö mahdollistaa luonnonlaidunien (muun muassa vanhojen metsien loppolaitumet) löytämisen myös syvän tai jäisen lumen aikana, tai kesän hellejaksoina. Epäedulliset muutokset porojen laidunympäristössä ovat vähitellen muuttaneet poronhoitoa ja lisänneet porojen talviaikaisen lisäruokinnan ja tarhauksen tarvetta. Laidunten vähenemisestä ja pirstoutumisesta on aiheutunut ristiriitoja ja ongelmia poronhoidon sekä muiden elinkeinojen välille.¹⁶³

Rajalliset mahdollisuudet muun maankäytön paineen hallitsemiseksi vaikeuttavat laidunten kestäväää käyttöä ja ilmastonmuutokseen sopeutumista.¹⁶⁴ Poroja ei voida siirtää muun maankäytön alta toisille alueille.

6.2.6 Metsästäys ja riistatalous

Ilmastonmuutoksen vaikutukset riistaeläimiin ja riistatalouteen ovat moninaiset. Ilmastonmuutos vaikuttaa Suomessa jo olevien lajien elinolosuhteisiin sekä vahvistavasti että heikentävästi, jolloin se saattaa muuttaa eri lajien valtasuhteita ja elinpaikkoja. Esimerkiksi lumipukuun vaihtavat lajit menettävät suojaväriin tuoman edun, kun taas tulokas- ja vieraslajit usein hyötyvät talvien leudontumisesta. Laadultaan heikentyneet ja vähentyneet luontaiset elinympäristöt lisäävät ilmastonmuutoksen aiheuttamaa riskiä riistaeläimille ja -taloudelle.

Kotimaisten riistalajien osalta elinympäristöjen muutos voi olla peruuttamaton ja vaikuttaa lajeihin haitallisesti. Esimerkiksi muutokset lumisuudessa ja jäätilanteessa voivat ajaa tietyt lajit ahtaalle, vaskojen koko voi pienentyä, talviaikainen saalistus voi kasvaa (metsäjänis, riekko) tai poikasten kasvatusympäristö kadota (itämeren norppa).

162 Stark ym. 2023

163 Horskotte ym. 2022

164 Löf ym. 2022

Toisaalta ilmastonmuutos saattaa edistää lajien leviämistä, mikä voi kasvattaa riistaresurssia. Muutoksesta hyötyviä lajeja ovat esimerkiksi valkohäntäpeura, metsäkauris ja villisika. Riistakantojen hoidossa tulee huomioida, että riistalajikannat ovat vuorovaikutuksessa keskenään, jolloin muutokset yhden lajin kannassa vaikuttavat muiden kantojen suuruuteen

Metsästys on Suomessa suosittu harrastus, ja metsästysseurat ovat tärkeitä maaseudun elinvoimaisuuden kannalta. Riista tuo myös lisän elintarvikehuoltovarmuuteen, ja eräkulttuuri ylläpitää ja luo taitoja selviytyä häiriötilanteista.

6.3 Elintarviketeollisuus

Elintarviketeollisuudelle riskejä syntyy sekä kotimaisen ruuantuotannon riskien kautta että heijastevaikutuksena tuontielintarvikkeiden ja -tuotanto-panosten myötä. Elintarvikeketjuun vaikuttavat myös mm. raaka-aineiden, tuotantolaitteiden huolto- ja korjausosien sekä polttoaineiden ja lannoitteiden saatavuuteen ja logistiikkaan liittyvät riskit. Toteutuneissa riskitarkasteluissa on viitattu ilmastonmuutokseen, mutta mahdollisia kehityskulkuja ei ole analysoitu tarkemmin.

Maatalouden tai elintarviketeollisuuden kannalta olennaisiin toimitusketjuihin Suomessa vaikuttavat sää- ja ilmastotapahtumat, jotka liittyvät sadonmenetyksiin ja toimitusketjun logistiikkaan sekä lannoitteiden saatavuuteen. Vaikka rajat ylittäviä vaikutuksia pidetään erittäin merkityksellisenä ilmastonmuutoksen vaikutusten ryhmänä, niitä on tähän mennessä käsitelty vain vähän.¹⁶⁵

6.4 Energian tuotanto ja jakelu

Tuuli- ja lumimyrskyt, salamaniskut ja tulvat ovat Suomen energiasektorin suurimmat sääriskit. Myrskyt ja puiden latvuksiin kohdistuvat suuret lumikuormat ovat aiheuttaneet sähkökatkoja asiakkaille. Haasteita energiantuotannolle ja -jakelulle aiheuttavat myös pitkään kestävät sääjaksot, jotka usein osuvat samaan aikaan suhteellisen suuren energiankysynnän ja sähköjärjestelmien ylläpitoa vaativien olosuhteiden kanssa. Tällaisia ilmiöitä ovat pitkät äärimmäisen kylmät jaksot, pitkäaikainen lumisade ja lumikuorma.

¹⁶⁵ Tuomenvirta ym., 2018

Tuulisuus ja matalapainemyrskyt ovat aiheuttaneet viime vuosina huomattavia yhteiskunnallisia vaikutuksia muun muassa sähkökatkojen myötä. Äärevät sääilmiöt ovat aiheuttaneet häiriötilanteita Suomen energiasektorille, ja erityisesti vaurioita sähkönjakeluinfrastruktuurille. Vaurioriskien vähentämiseksi ilmajohtoja on korvattu maakaapeleilla etenkin harvaan asutuilla alueilla.

Kaupungeissa maakaapelointia on toteutettu jo aiemmin. Infrastruktuurin uudistaminen on kuitenkin hidasta pitkäaikaisten investointien vuoksi, ja siksi sääilmiöiden aiheuttamia sähkökatkoja tulee olemaan myös tulevaisuudessa. Kantaverkossa häiriöttömän sähkönsiirron turvaamiseksi raivataan säännöllisesti kantaverkon johtoaueita ja varmistetaan pensaiden ja puiden riittävä etäisyys virtajohtimista. Sähköverkon toimivuus on tärkeää myös tietoverkkojen toimivuudelle.

Ilmastonmuutos ja sen vaikutukset ydinvoimalaitosten käyttöturvallisuuteen on otettu huomioon lainsäädännössä, viranomaisvaatimuksissa ja suunnitteluperusteissa. Ydinvoimalaitosten suunnittelua ja ulkoisiin uhkiin, kuten harvinaisiin sääolosuhteisiin ja tulviin varautumista koskevat vaatimukset on esitetty Säteilyturvakeskuksen määräyksissä ja ydinturvallisuus (YVL)-ohjeissa. Niistä on säädetty ydinenergialaissa vuonna 2008. Esimerkiksi laitosten jäähdytykseen käytetyn veden lämpötilan nousu kuumina kesinä voi pakottaa laitosten tehon alentamiseen. Yhteiskunnan sähköistyminen ja riippuvuus teknologiasta lisää yhteiskunnan altistumista ilmastonmuutokselle, sillä ne lisäävät vaatimuksia sähköntuotanto- ja jakeluvarmuudelle.

Pitkät hyvin vähäiset sademäärät, jotka aiheuttavat hydrologista kuivuutta, vähentävät vesivoiman tuotantoa. Tällä on merkitystä Suomessa, koska vesi-voimalla on keskeinen rooli säätövoiman lähteenä, ja laajemminkin, koska pohjoismaiset sademäärät määräävät suurelta osin sähkön hinnan pohjoismaisessa sähköpörssissä.

Energiajärjestelmien on oltava joustavia, eikä niitä saa alimitoitaa, sillä hyvin kylmät talvet ovat mahdollisia vielä vuosisadan loppupuolella, jolloin lämmityskapasiteetin tarve on suuri erityisesti Itä- ja Pohjois-Suomessa. Toisaalta lämpenevien kesien vuoksi rakennusten jäähdytystarvetta lisäävät helleaallot voivat vaikuttaa maassa joka puolella.

Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen seuraukset energiajärjestelmän toimivuudelle riippuvat osittain siitä, miten järjestelmä muuttuu meneillään olevan vihreän energiamurroksen seurauksena. Vaikutukset kohdistuvat todennäköisesti sekä energian tuotantoon, siirtoon, jakeluun että kulutukseen.

Uusiutuvien energialähteiden, erityisesti tuuli- ja aurinkoenergian, osuuden kasvu sähköntuotannossa lisää myös säästä johtuvaa tuotannon vaihtelua.

Tuulivoimaloihin kohdistuvat sääriskit, esimerkiksi jäätymisestä johtuvat riskit, vaikuttavat hallittavilta. Bioenergian tuotantoon ja korjuuseen liittyy ilmastonmuutoksesta johtuvia riskejä: talvella pitkät lämpimät jaksot ja pakkasviiveet voivat vaikeuttaa pääsyä syrjäisille alueille, joiden maaperä on huonosti kantavaa.

6.5 Liikennejärjestelmä ja -infrastruktuuri

Toimintavarma ja turvallinen liikennejärjestelmä ja -infrastruktuuri on käytännössä kaiken ihmisten, yhteiskunnallisen ja taloudellisen toiminnon perusta.

Sään ja ilmaston vaikutukset liikennejärjestelmään aiheuttavat onnettomuus-, vaurioitumis- ja myöhästymisriskejä, jotka kaikki aiheuttavat kustannuksia, arvonmenetyksiä ja terveydellisiä vaikutuksia toimijoille ja koko yhteiskunnalle.¹⁶⁶

Ilmastonmuutos vaikuttaa kuljetusjärjestelmiin, liikenteen kehitysnäkymiin, rata- ja tierakenteisiin, kunnossapitoon ja siten sopeutumistarpeeseen.¹⁶⁷

Liikenteen häiriöt vaikuttavat edelleen muiden toimialojen toimintaan henkilöiden ja tavaroiden kuljetusten sekä tiedon jakamisen kautta. Liikenteen ja logistiikan sää- ja ilmastoriskien hallinta vaikuttaa merkittävästi yhteiskunnan toimintavarmuuteen, sillä liikenne yhdistää monia yhteiskunnan toimintoja, ja logistiikka on huoltovarmuuden kannalta kriittinen toiminto.¹⁶⁸

Sään ääri-ilmiöihin ja ilmastonmuutokseen liittyvät vaikutukset kohdistuvat väylien kunnossapitoon ja palvelutasoon (sis. kunnossapito, hoito ja korjaus, rakentaminen, tekniset järjestelmät, titorakenteet, materiaalit, varaosat, maantielautat, talvimerenkulku), **liikenneverkkoihin kohdistuviin ulkoisiin palveluihin** (viestiyhteydet, sää-, meri- ja olosuhdepalvelut), **liikenteenohjauksen järjestämiseen sekä toiminnan johtamiseen ja oman toiminnan varmistamiseen.**¹⁶⁹ Sään ääri-ilmiöt voivat aiheuttaa liikenteelle vakavia haittoja tai onnettomuuksia.

Säähän liittyviksi vaaratekijöiksi väylänpidolle on tunnistettu

¹⁶⁶ Tuomenvirta ym., 2018

¹⁶⁷ Saarelainen & Makkonen, 2007

¹⁶⁸ Tuomenvirta ym., 2018

¹⁶⁹ Väyläviraston valmiussuunnitelma (ei julkinen)

- talvimyrskyt (esim. paljon lunta tai pitkä pakkasjakso myrskyn jälkeen sekä merijään liike, puristus ja valliintuminen),
- kesämyrskyt (esim. ukkosmyrsky),
- nopeasti syntyvä laaja tulva, vedenpinnan äkillinen nousu,
- rankkasateet (ja niistä johtuvat sortumat)
- muut poikkeukselliset sääilmiöt (esim. nopeat lämpötilamuutokset tai pitkäkestoiset lämpimät jaksot), ja
- useampi yhtäaikainen laaja metsäpalo.¹⁷⁰

Väylävirasto on valmiussuunnitelmassaan tunnistanut luonnon ääri-ilmiöt yhdeksi toimintansa kannalta keskeisimmiksi uhkiksi tai vakaviksi häiriötilanteiksi. Muuttuviin sääolosuhteisiin varautuminen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutusten hallinta on tunnistettu toimintoriskiksi kaikkien liikennemuotojen näkökulmasta. Haavoittuvuudeksi on tunnistettu systemaattisen varautumistoiminnan puuttuminen muuttuviin sääolosuhteisiin liittyen (ojitukset, puunraivaus, tulvakohteet, satamien merivesitulvakohteet, poikkeuksellinen lumimyrsky ja niin edelleen).¹⁷¹

Ilmastomuutoksen on tunnistettu voivan vaikeuttaa väyläverkon palvelutason saavuttamista ja säilyttämistä myös pitkällä aikavälillä. Palvelutaso voi heiketä, jos väyläverkon elinkaari jää ennustettua lyhyemmäksi, kun ankarat ilmasto-olot heikentävät väylien kestävyyttä ja kuntoa. Ääri-ilmiöiden vaikutusten lisäksi pidemmän aikavälin vaikutusten ja muutosten, esim. lyhentyneiden talvien tai nousseiden lämpötilojen aiheuttamien toimenpiteiden ja rahoitustarpeiden tunnistaminen voi olla jopa tärkeämpää infran kannalta.¹⁷² Haavoittuvuudeksi on lisäksi tunnistettu, ettei ilmastotietoa onnistuta hyödyntämään riittävästi.¹⁷³

Kaikki liikennemuodot ovat alttiita sääolosuhteille, mutta riski- ja haavoittuvuustekijät vaihtelevat liikennemuodosta riippuen. Näitä ovat esimerkiksi kulkuneuvojen ja kuljettajien ominaisuudet, väylien ominaisuudet ja muun liikenteen vuorovaikutus sekä käytettävissä oleva sää- ja kelitieto. Riski- ja haavoittuvuustekijät vaihtelevat myös alueittain.¹⁷⁴ Sääilmiöiden tai -olosuhteiden aiheuttamat häiriöt voivat painottua liikennemuodoittain. Esimerkiksi Valio-myrsky (2015) ja Helena-rajuilma (2014) aiheuttivat enemmän häiriötä raideliikenteelle kuin

170 Väyläviraston valmiussuunnitelma (ei julkinen)

171 Väyläviraston toimintoriskit 2021 (ei julkinen)

172 Väyläviraston toimintoriskit 2021 (ei julkinen)

173 Väyläviraston toimintoriskit 2021 (ei julkinen)

174 [Tuomenvirta ym., 2018](#)

tieliikenteelle, mutta tykkylumen aiheuttamia liikennehäiriötä havaittiin molemmille.¹⁷⁵ Mahdollisesti lisääntyvänä vaaratekijä on jäätävä sade, joka aiheuttaa liukautta ja sähkölinjojen katkoksia ja siten liikennehäiriöitä ¹⁷⁶.

Raide-, tie- ja meriliikenteen ohjauksesta sekä lennonvarmistuksesta vastaava Fintraffic on kartoittanut joulukuussa 2021 ensimmäistä kertaa ilmastomuutokseen liittyviä riskejä liikenteenohjauksen ja liikennetiedon osalta.

Fintraffic on tunnistanut äärisääilmiöiden (kuten myrskyt, tulvat, sateet) vaikuttavan liikenteenohjauskeskusten tai yksiköiden kykyyn toimia ja voivan aiheuttaa vaurioita liikenneinfraan, rakennuksiin, keskusten laitteisiin ja tietoliikenneyhteyksiin. Riskejä voidaan vähentää infraan kohdistuvilla muutoksilla (suojaukset). Äärisääilmiöt voivat vaikeuttaa myös energiansaantia ja nostaa energian ja sähkön hintaa. Tähän voidaan varautua omilla kriittisten järjestelmien varajärjestelyillä, energiatehokkaammilla ratkaisuilla ja hintojen suojamekanismeilla.¹⁷⁷

Uutta tietoa väyläverkon resilienssistä on saatu Väyläviraston selvityksessä, jossa tarkastellaan sietokykyisen (resilientin) väyläverkon merkitystä, arvioidaan väyläverkon resilienssin mittaamisen ja hallinnan menetelmiä ja soveltuvuutta Suomeen sekä havainnollistetaan, miten menetelmiä voidaan käyttää todellisissa kohteissa.¹⁷⁸

Väylästäön kunto on eräs resilienssin mittari. Hyväkuntoinen väylästäö kestää iskuja, shokkeja ja haitallisia ilmiöitä paremmin kuin huonokuntoinen. Perinteisten väylästäön kuntomittareiden (esim. tasaisuus, kantokyky) lisäksi olisi hyvä tarkastella väylän kestävyyttä koko elinkaaren aikana ja myös onko odotettavissa kunnon oletettua nopeampaa alenemista. Väylästäö, joka myös poikkeuksellisissa ja hankalissa olosuhteissa kykenee tuottamaan riittävää palvelutasoa, on häiriösietokykyinen eli resilientti. Esimerkiksi väylästäön vioista tai palvelutason romahdukista johtuvat myöhästymiset tai matka-aikojen viivästymiset toimivat epäsuorina resilienssimittareina.

Selvityksen mukaan ilmastomuutos liittyy kiinteästi liikennejärjestelmien toimivuuteen sekä väyläverkon ohjaukseen, suunnitteluun, rakentamiseen ja rahoitukseen. Muutokset vaikuttavat myös liikennevälineiden ja liikenteen käyttövoimien markkinoihin sekä käyttövoimien jakeluinfrastruktuuriin ja -palveluihin.¹⁷⁹

¹⁷⁵ [Tuomenvirta ym., 2018](#)

¹⁷⁶ [Kämäräinen ym., 2016](#)

¹⁷⁷ [Fintraffic, 2021](#)

¹⁷⁸ [Ojala & Leviäkangas, 2022](#)

¹⁷⁹ [Ojala & Leviäkangas, 2022](#)

Väyläverkon tämänhetkinen ilmastokestävyys on arvioitu lähtökohtaisesti hyväksi muun muassa siksi, että rakenteiden suunnittelussa käytettävät mitoituskorkeudet ovat verrattain isoja. Sillat ovat kriittisimpiä kohteita, ja niiden vauriot ovat myös hankalimpia korjata.

Erilaisiin häiriötilanteisiin varautuminen on osa perustoimintaa niin liikenteen ohjauksessa kuin kunnossapidossakin. Ilmastoriskejä ei kuitenkaan tällä hetkellä arvioida koko toiminnan kattavasti. Väyläverkon muuttaminen ilmastokestävämmäksi on hidasta, koska parantamistoimet kohdistuvat vain hyvin pieneen osaan verkkoa. Korjausvelka heikentää väyläverkon ilmastokestävyyttä. Liikenne- ja viestintäministeriön mukaan myös korjausvelan vähentämiseen tähtäävä perusväylänpidon perussuunnitelma ja sen mukainen väylien hoito, korjaus ja parantamistoiminta vastaavat ilmastomuutokseen ja sen aiheuttamiin riskeihin sopeutumiseen. Pitkäjänteinen liikennejärjestelmäsuunnittelu ja sen konkretisointi yhtäältä niin suunnittelu- kuin investointiohjelmina vahvistavat osaltaan väyläverkon ilmastokestävyyttä.

Liikennejärjestelmän nykytilasta ja kehittämistarpeista kerätään strategisen tason kokonaiskuva Liikennejärjestelmäanalyysiin. Traficom on julkaissut syksyllä 2021 uuden [Tieto.Traficom.fi](https://tieto.traficom.fi) -tietoportaalin, johon keskitetään ja jonka kautta kehitetään liikenteen ja viestinnän verkkoja sekä palveluita koskevien tietojen julkaisua. Tarkoituksena on tuoda uuteen palveluun myös liikennejärjestelmän turvallisuutta ja toimintavarmuutta koskevaa tietoa. Uudessa palvelussa on mahdollista koota eri teemojen, kuten esimerkiksi liikenteen ja viestinnän haavoittuvuuteen liittyviä tietoja yhteen näkymään.

6.5.1 Tieliikenne ja -infrastrukturi

Lähes kaikki sääilmiöt aiheuttavat häiriöitä tieliikenteelle. Myrskyt, rajuilmat, ukkonen, sumu, lumipyry sekä sateet ja tulvat vaikuttavat ajo-olosuhteisiin, kun esteitä voi kaatua teille ja näkyvyys ja pintakitka vähenevät. Nopeasti syntyvät laajat tulvat, myrskyt, sortumat ja pitkäkestoiset pakkasjaksot tai helteet sekä rankat lumi- ja vesisateet voivat aiheuttaa vakavia haittoja tai onnettomuuksia.¹⁸⁰ Myös alikulut, tiet ja kadut voivat tulvia. Sään ääri-ilmiöt voivat johtaa myös maarakenteiden sortumiseen, viemäreiden tukkiutumiseen ja tulvimiseen ja tien vierustojen eroosioon.¹⁸¹

¹⁸⁰ Väyläviraston valmiussuunnitelma (ei julkinen)

¹⁸¹ [EEA, 2014](#)

Tieliikennettä hankaloittavat erityisesti talvella esiintyvät sääilmiöt, kuten voimakas lumentulo, lumipyryt, lumikuorman määrä ja jäätävä sade.¹⁸²

Vaikeina talvina onnettomuudet tieliikenteessä voivat lisääntyä jopa 20 % normaaliin talveen nähden. Väyläviraston mukaan erityisen haasteellisissa olosuhteissa talviliikenneonnettomuudet saattavat kuitenkin lisääntyä päivän aikana jopa satoja prosentteja, jolloin vaikutukset erityisesti suurilla kaupunkiseuduilla voivat olla merkittäviä.

Liikenne- ja viestintäviraston mukaan runsas lumentulo kaupunkialueilla voi hankaloittaa huoltoliikennettä merkittävästi, ja tähän varautuminen olisi tärkeää. Ilmaston muuttuessa jäätymis-sulamissyklit ja jäätävät sateet lisääntyvät, eikä liukkauden torjunta pysy välttämättä tilanteissa mukana.

Pääteiden liukkaus voi johtaa onnettomuuksiin, jolloin liikenne ohjataan tai ohjautuu vaihtoehtoisille pienemmille teille, joilla olosuhteet voivat olla vielä huonommat ja onnettomuuksia voi tulla lisää. Liikenne- ja viestintäviraston mukaan ongelmana eivät pelkästään ole välittömät henkilövahingot, vaan väylien katkeaminen pitkäksi aikaa ja tärkeiden kuljetusten pysähtyminen. Vaihtoehtoisten reittien käyttöönoton helppous ja välityskyky vaikuttavat haavoittuvuuteen, sillä useat sääilmiöt (myrskyt, tulvat jne.) voivat katkoa teitä, jolloin liikenteessä olijoiden on osattava ja pystyttävä reagoimaan ja muuttamaan suunnitelmiaan sen mukaan. Onnettomuusriski huonoissa keli- ja sääolosuhteissa (erityisesti lumisateella ja liukkailla tienpinnoilla) on korkeampi moottoriteillä kuin kaksi- ja monikaistaisilla teillä, vaikka muutoin moottoriteiden onnettomuusriski onkin alempi.¹⁸³

Ilmastonmuutos on tuonut mukanaan uusia haasteita, kuten kelirikko-ongelmat myös talvikaudella.¹⁸⁴ Väyläviraston mukaan talvella 2019–2020 (joka oli Lappia lukuun ottamatta mittaushistorian lämpimin Suomessa) kelirikkoa oli paikoin koko talven, jolloin teiden kantavuus oli heikompaa, mikä vaikeutti raskaita kuljetuksia. Keväällä 2021 kelirikko oli niin vaikea, että se häytti elinkeinoelämän kuljetuksia. Esimerkiksi maitoauto ei päässyt hakemaan maitoa tiloilta Lapissa. Kelirikko on ongelma erityisesti alempiasteisella tieverkolla, jossa sorateiden märkyys pahentaa sitä.

182 [Groenemeijer ym., 2016](#)

183 [Malin ym., 2017](#)

184 [Liikennevirasto, 2018](#)

Sään muuttuminen lisää tiestön kosteusrasitusta ja aiheuttaa siltojen rapautumista. Leutoina talvina teiden pinnat ovat alttiina märkyydelle ja liukkaudentorjunta-aineille aiempaa useammin, mikä kuluttaa päällysteitä.

Kuumuus, kuten muutkin hankalat olosuhteet, voi aiheuttaa kuljettajien väsymystä, jalankulku- ja pyöräväylien vaurioita ja kulkuneuvojen vikoja sekä tien pinnan halkeilua ja siltojen ja muiden rakenteiden vauriota.¹⁸⁵ Kuivat ja kuumat kaudet heikentävät sorateiden pintarakennetta ja lisäävät pölyämishaittoja. Ilmastomuutoksen myötä teiden romahtamisen riski kasvaa, kuljetusreittien tulvariski lisääntyy, ja pohjavedenpinnan nousun ja laskun aiheuttamat riskit ja ilmastomuutoksen vaikutukset yleisesti lisääntyvät.¹⁸⁶

Tienpitäjän (ELY-keskusten liikennevastualueet) kannalta katsottuna merkittävin säälähtöinen vaikutus on edelleen kulkuyhteyden katkeaminen kokonaan. Erityisesti maaseutuelinkeinojen harjoittajia on melko paljon yhden ainoan kunnollisen tieyhteyden takana. Iso osa maamme ruoasta ja luonnonvaroista (esim. maa-ainekset, puu) tulee vähäliikenteiseltä tieverkolta, josta suuri osa on sateisille talville ja kuiville kesille erityisen herkkää soratieverkkoa. Tulvimisen aiheuttama vedenpinnan nousu, runsaiden sateiden aiheuttama tierakenteen vakavuuden tai kantavuuden menetys saattavat estää raskaiden ajoneuvojen liikennöinnin kokonaan. Muille toimialoille ja ihmisryhmille nämä aiheuttavat ELY-keskusten mukaan lähinnä matkojen ja matka-aikojen pidennystä, mutta eivät estä matkojen tekoa kokonaan.

Yhtenä tieliikenteen merkittävänä haavoittuvuustekijänä Suomessa on teiden heikko kunto, jota korjausvelka heikentää. Maanteille kohdistuva korjausvelka vuoden 2021 alussa on 1 539 milj. euroa, joka kasvoi vuoteen 2017 verrattuna 242 milj. euroa.¹⁸⁷ Ilmaston muuttuessa paine tieinfrastruktuuriin oletettavasti kasvaa entisestään.¹⁸⁸ Mikäli korjausvelka jatkaa samansuuntaista kehitystä, voivat tieliikenteen turvallisuuteen liittyvät riskit kohota ja teiden välityskyky pienentyä, mikä tarkoittaa myös taloudellisten kustannusten kasvua.¹⁸⁹ Korjausvelan kasvaminen ja kunnan rapautuminen voidaan ajatella resilienssin puutteeksi liikenneväylästä tarkasteltaessa. Ajan kuluessa väylästä sietokyky alenee, kun ilmasto ja liikennekuormitus rapauttavat väylästä. On nähtävissä, että ilmastomuutos voi häiritä yhä

185 EEA, 2014; Tuomenvirta ym., 2018

186 Saarelainen, 2006

187 Junes ym., 2021

188 Ruotoistenmäki, 2009

189 Tuomenvirta ym., 2018

enemmän kriittisiä järjestelmiä, nostaa käyttökustannuksia, pahentaa infrastruktuurin rahoitusvajetta ja aiheuttaa merkittäviä heijastusvaikutuksia yhteiskuntaan ja talouteen.¹⁹⁰

6.5.2 Raideliikenne- ja -infrastruktuuri

Äärisääliömiöt kuten tulvat, myrskyt, sortumat ja rankat lumi- ja vesisateet voivat aiheuttaa raideliikenteelle vakavia haittoja sekä onnettomuuksia.¹⁹¹ Myös myrskytuulet, ukkonen ja merenpinnan nousu aiheuttavat liikennehäiriöitä ja turvallisuusongelmia.¹⁹²

Raideliikenteelle ja -infrastruktuurille merkityksellisiä vaaratekijöitä ovat jäätymis- ja sulamissyklin muutos sekä lämpötilan vaihtelut ja kuumuus.

Ne aiheuttavat rakenteiden kuivatus- ja stabiliteettiongelmia (kuten routa-nousuja), virransyöttöhäiriöitä, kulunvalvonnan häiriötä ja uhkaavat raideliikenteen turvallisuutta.¹⁹³

Kuumuus voi aiheuttaa raiteeseen hellekäyrää ja ylikuumentaa liikkuvan kaluston laitteistoja.¹⁹⁴ Hellekäyrä aiheutuu teräksen lämpölaajenemisesta, kun kisko laajenee lämmön vaikutuksesta ja yrittää pakottaa kiskon irti kiinnityksestään ja siirtämään raidetta sivusuunnassa. Radoilla, joiden tukikerrokset ovat heikentyneet, hellekäyräriskit todennäköisesti kasvavat hellejaksojen pidentyessä ja sademäärien kasvaessa, mikä voi lisätä radan kunnossapidon haasteita. Kunnostustöiden tekeminen hellejakson aikana vaatii lämpötilaseurantaa. Kesällä 2021 hellekäyrä aiheutti tavarajunan kuuden vaunun suistumisen kiskoilta.¹⁹⁵ Kylmällä kelillä kalusto ja ajojohdot voivat jäätä.¹⁹⁶

190 [Ojala & Leviäkangas, 2022](#)

191 Rautatieliikenteen valmiussuunnitelma (ei julkinen)

192 [Väylävirasto, 2020](#)

193 [Saarelainen & Makkonen, 2008](#)

194 [EEA, 2014](#)

195 [Onnettomuustutkintakeskus, 2022](#)

196 [EEA, 2014](#)

Suuret myrskyt saattavat kaataa puita raiteille junien eteen tai katkaista sähköradan ajolangat. Tuiskuava lumi voi jäädä vaihteiden kielten väliin ja estää vaihteen toiminnan.¹⁹⁷ Runsaat sateet voivat aiheuttaa maarakenteiden vettymistä ja eroosiota.¹⁹⁸ Lisäksi sääriskit vaikuttavat raideliikenteen ajo-olosuhteisiin, kun näkyvyys ja pintakitka vähenevät tai kun puita kaatuu raiteille tai sähkölinjoille.¹⁹⁹

Pintakitka voi vähentyä myös lehtikelin seurauksena. Lehtikelillä tarkoitetaan puiden pudottamien lehtien päätymistä raiteille ja liiskaantumista junan pyörien alle, jolloin pito vähenee.

Toteutuessaan sääriskit voivat aiheuttaa myöhästymisiä, viivästyksiä ja epäoptimaalisia toimintoja, kun esimerkiksi rahdit viivästyvät tai juna-vuoroja joudutaan perumaan.^{200, 201} Ne voivat aiheuttaa myös vaaratilanteita ja onnettomuuksia.

Näillä kaikilla on kustannusvaikutus toimitusketjujen ja myöhästymisten kautta.²⁰² Kustannuksia syntyy myös rataverkon haltijoille, rautatieliikenteen harjoittajille ja esimerkiksi kaupunkien julkiselle liikenteelle korjauksista ja ylläpidosta.²⁰³

Raideliikenteessä haavoittuvuuteen voivat vaikuttaa henkilö- ja tavaraliikenteen määrä²⁰⁴ sekä käytössä olevat kaluston, liikenteenohjauksen ja turvalaitteiden teknologiat sekä sähköverkot.

Yhtenä haavoittuvuustekijänä on yksiraiteisuus ja vaihtoehtoisten reittien puute. Vaihtoehtoisia reittejä on poikkeustilanteen sattuessa hyvin vähän, minkä vuoksi raideliikenteen infrastruktuuri on erityisen altista useiden sääilmiöiden vaikutuksille.²⁰⁵ Vaihtoehtoisten reittien käyttöönoton helppous ja välityskyky vaikuttavat haavoittuvuuteen, sillä useat sääilmiöt (myrskyt, tulvat jne.) voivat katkoa raide-yhteyksiä, jolloin liikenteessä olijoiden on osattava ja pystyttävä reagoimaan ja

197 Rautatieliikenteen valmiussuunnitelma (ei julkinen)

198 Saarelainen & Makkonen, 2008

199 Tuomenvirta ym., 2018

200 Tuomenvirta ym., 2018

201 Groenemeijer ym., 2016

202 Tuomenvirta ym., 2018

203 Enei ym., 2011

204 Saarelainen & Makkonen, 2008

205 Väylävirasto, 2020

muuttamaan suunnitelmiaan sen mukaan. Junien ajaminen on haasteellisinta ja altteinta sääriskien vaikutuksille enemmän nousuja ja laskuja sisältävillä rataosuuksilla erityisesti mäkeen jäämisen uhan vuoksi.²⁰⁶

Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan haavoittuvuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat myös radan tyyppi (esim. päällysrakenneluokka), raiteiden kapasiteetti sekä rautatieammattilaisten tietoisuus sään ja ilmastomuutoksen vaikutuksista ja niiden välistä yhteydestä.²⁰⁷

6.5.3 Merenkulku

Merenkulku on Suomen viennin ja tuonnin kannalta erittäin tärkeä, koska yli 80 % ulkomaankaupasta kulkee vesiteitse. Merenkulun varmistaminen on Suomelle merkittävä ja kriittinen asia. Vaikka merenkulku altistuu sääolosuhteille jatkuvasti, ilmastomuutoksen edetessä merenkulku hankaloituu ja huonot keliolosuhteet lisääntyvät.

Ilmastomuutoksen myötä merenkulun sää- ja ilmastoriskien hallinnassa huomioon otettava vaaratekijä on erityisesti jääpeitteen muuttuminen.²⁰⁸

Merialueilla lisääntyvät jäätämislle (jään kertyminen alusten rakenteisiin) otolliset olosuhteet. Ohuempien jäiden valliintuminen ja sohjoontuminen on varsinkin helppompien talvien ongelma, jota jäätä entistä enemmän murtavat uudet tuulipuistot tulevat lisäämään.

Jääpeitteen laajuus voi vuosittain vaihdella merkittävästikin, vaikka ilmasto lämpenee. Jäänmurto on meriliikenteen kuljetuksille välttämätön palvelu Suomen ilmastoon ja maantieteellisen sijainnin vuoksi.²⁰⁹ Mahdollinen kovien tuulien lisääntyminen ja sen aiheuttama valliutuminen vaikeuttaa jääkentän läpipääsyä lisäten epävarmuutta kuljetusten luotettavuudesta. Jäiden valliutuessa niiden läpi pääseminen edellyttää aina jäänmurtaja-avustusta, vaikka matka vallin läpi pääsemiseksi olisi lyhyt.

²⁰⁶ Tuomenvirta ym., 2018

²⁰⁷ Lindgren ym., 2009

²⁰⁸ Luomaranta ym., 2010

²⁰⁹ Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021b

Merijään muutosten merkitys on suurempi Itämeren pohjoisosassa, erityisesti laivaliikenteen kannalta. Itäisellä Suomenlahdella, vaikka jäättilanne helpottuu, tilanne vaatii jäänmurtokalustolta erilaista sopeutumiskykyä. Perinteiset jäänmurtaajat eivät voi toimia poikkeuksellisella tuulella eivätkä uusissa jäätilanteissa, vaan tarvitaan uudenlaista kalustoa. Joudutaan liikkumaan myös avoimella merellä.

Merenkululle muutos tarkoittaa pitkällä aikavälillä pienentyneen jääpeitteen pinta-alan johdosta lyhyempiä matkoja jäissä ja mahdollisesti vähemmän rajoituksia merenkulun reitteihin. Keskimääräisesti pienempi jääpeite ei tosin tarkoita, että ankarat jäätalvet tai ajojää häviäisivät kokonaan²¹⁰ tai että paikalliset olosuhteet helpottuisivat. Alueellisesti muutos voi lisätä jäänmurtaaja-avustuksen tarvetta nopeiden olosuhdevaihteluiden ja niiden seurauksena puristavan ja valliintuneen jääkentän sekä kauppa-aluskaluston ympäristösääntelystä johtuvan, heikentävän jäissäkulkusuorituskyvyn takia. Nopeasti vaihtelevat ja vaikeasti ennakoitavat tilanteet edellyttävät riittävän avustuskapasiteetin ylläpitämistä.

Lisäksi laaja merituulivoiman rakentaminen tulee sekä merkittävästi rajaamaan talvimerenkulussa aiemmin normina ollutta helpoimpien jääolosuhteiden kautta reitittämistä ja toisaalta liikkuvissa merijäissä tuulivoimalat muokkaavat itse jääkentää, jolloin jäävallien ja raskaiden sohjovöiden todennäköisyys voi merkittävästi kasvaa. Tuulivoimapuistojen väliin jäävät kapeat meriliikennekäytävät osaltaan lisäävät jäänmurtaaja-avustuksen tarvetta koska kauppa-alusten kiinnijuuttumisriskistä ja sen myötä liikkuvissa jäissä päin tuulivoimalaa ajautumisesta johtuen aluksia ei voida jättää yrittämään itsenäisesti etenemistä.²¹¹

Navigoinnille haasteita aiheuttavat erityisesti myrskytuulet, korkea aallokko, rankkasateet, lumipyryt, meriveden pinnan nopeat muutokset, alhainen lämpötila ja kova tuuli, sumu sekä merenpinnan nousun myötä tapahtuva sedimenttikerrosten ja matalikkojen sijainnin muuttuminen.²¹²

Sääolosuhteiden takia merenkulussa voi olla tarpeen liikkua tavallista hitaampaa nopeutta, mikä on turvallisuuden kannalta tärkeää, mutta saattaa vaikuttaa esimerkiksi tavarakuljetusten kustannuksiin ja täsmällisyyteen.²¹³ Tällä puolestaan on edelleen vaikutusta muihin toimialoihin.

210 Höglund ym., 2017

211 Heinonen, 2019

212 Tuomenvirta ym., 2018

213 Vajda ym., 2011

Majakat ja turvalaitteet ovat alttiita suurille jääkuormille ja voimakkaalle säärasitukselle. Vaikka jääkentän koko pienenisikin, aiheuttaa kova tuuli jäiden puristumista valleiksi.

Toteutuessaan sää- ja ilmastoriskit aiheuttavat kustannuksia myös sisävesiliikenteelle.²¹⁴ Saimaan alueella väyläsyvyydet on sidottu määritettyyn vedenpinnan alatasoon. Jos vedenpinnan taso laskee pitkän kuivan kauden takia alatason alle, vähentää se alusten käytössä olevaa väyläsyvyyttä ja sitä kautta alusten lastinottokykyä.

6.5.4 Lentoliikenne

Suomessa haasteita lentokenttien ylläpidolle ja operoinnille aiheuttavat erityisesti talviolosuhteet, mikä heijastuu lentoliikenteen sujuvuuteen ja edelleen turvallisuuteen. Esimerkiksi kiitoteiden liukkaus ja lämpötilavaihtelut aiheuttavat työtä lentokenttähenkilöstölle.²¹⁵ Lumenpoisto kiitoteiltä vie aikaa ja saattaa jossakin määrin rajoittaa lentojen määrää.²¹⁶ Lisäksi lentokoneille maassa tehtävät jäänpoistokäsittelyt tuovat usein lisäviiveitä, koska jäänpoistokapasiteetti on rajallinen ja aikataulusuunnittelu ei välttämättä huomioi jäänpoistotapahtumaa, joka ei toteudu kaikilla lennoilla.

Ilmastonmuutos hankaloittaa lentoliikennettä ja lisää huonoja keliolosuhteita.²¹⁷ Tunnistettuja säähän ja ilmastonmuutokseen liittyviä vaaratekijöitä lentoliikenteelle ovat SIETO-raportin mukaan rankkasateet, sadannan kasvu ja hulevesien lisääntyminen, sumu, lumi, tuuli ja ukkonen, kuumuus, lumimyrsky ja jäätävä sade. Lentoliikenteessä ilman lämpeneminen pienentää lentokoneen kokemaa nostetta, minkä vuoksi lentokoneiden painoa saatetaan rajoittaa ja jopa matkustajia jättää pois kyydistä.²¹⁸ Kuumuudella voi olla vaikutusta myös lentokenttien infrastruktuuriin.²¹⁹

²¹⁴ Enei ym., 2011

²¹⁵ Finavia, 2017

²¹⁶ Tuomenvirta ym., 2018

²¹⁷ Sorvali, 2018

²¹⁸ Lehtonen & Lång, 2017

²¹⁹ Leviäkangas ym., 2012

Ilmastonmuutos muuttaa yläilmakehän suihkuvirtausten sijaintia ja voimakkuutta. Tällä ei nykytiedon mukaan kuitenkaan ole suurta vaikutusta esim. Atlantin yli kulkevaan lentoliikenteeseen.²²⁰

Lentoliikenteen haavoittuvuuteen vaikuttaa lentoliikenteen määrä.²²¹ Hankalissa sääolosuhteissa lentäjien ja muun henkilöstön ammattitaito on tärkeää. Toteutuessaan sääriskit aiheuttavat lentoliikenteen myöhästymistä ja peruutuksia ja lisätöitä henkilöstölle.^{222, 223} Liukkaiden olosuhteiden arvioidaan tulevaisuudessa lisääntyvän, mikä puolestaan lisäänee liukkaudentorjunta-aineiden käyttöä.

Kiitoratojen ja infrastruktuurin tulvavauriot ovat mahdollisia, kun hulevesien määrä ylittää viemärikapasiteetin ja kiitoteiden kuivatusjärjestelmien kuormittuvat.²²⁴ Hulevesiverkostojen välityskapasiteetin riittämättömyys saattaaakin pidemmällä aikavälillä aiheuttaa tarvetta rakenteellisille sopeutumistoimille, kuten putkikokojen kasvattamiselle ja ylivuotoreittien lisäämiselle.²²⁵

Keskimäärin jopa 7,5 prosenttia lennonaikaisista kokonaisviivästyksistä verkostotasolla johtuu myrskyistä, ja suuntaus on kasvava. Vuonna 2019 suurten myrskyjen välttämiseksi lennettiin arviolta yli miljoona ylimääräistä kilometriä (vieden yli 6 000 tonnia polttoainetta ja aiheuttaen 19 000 tonnia hiilidioksidipäästöjä). Toisaalta ennakoitujen tulevaisuuden muutokset tuulissa voivat lyhentää lentoaikoja ja säästää vuosittain arviolta 55 000 tonnia polttoainetta ja lähes 175 000 tonnia hiilidioksidia. Euroopan lennonvarmistusjärjestö EUROCONTROLin syyskuussa 2021 julkaiseman Euroopan lentoliikenteen ilmatoriskitutkimuksen²²⁶ mukaan Euroopan pohjoiset alueet muuttuvat matkailijoille suotuisammiksi erityisesti kesällä, mutta myös ympäri vuoden.

Finavia on hulevesien hallinnan lisäksi tutkinut ilmastonmuutoksen vaikutuksia liukkaudentorjuntaan ja vesistötulvatilanteisiin sekä vaikutuksiin varautumista.²²⁷ Lentoasemien kunnossapidossa on lisäksi tunnistettu osa-alueita, jotka edellyttävät jatkoselvityksiä esim. liukkaudentorjunnan määrän ja/tai keinojen tai

220 Irvine ym., 2016

221 Leviäkangas ym., 2012

222 Leviäkangas ym., 2012

223 Vajda ym., 2011

224 EEA, 2014

225 Viitanen, 2015

226 Eurocontrol, 2021

227 Viitanen, 2015

lentokenttärakenteiden kestävyys osalta. Finavian mukaan kaiken kaikkiaan lentoasemien haavoittuvuustarkastelussa keskeistä on hyvä sopeutumiskyky vaikutusten realisoituessa pitkähkön ajan kuluessa.

6.5.5 Tavara- ja jakeluliikenne

Ilmastonmuutoksen vaikutukset sään ääri-ilmiöineen vaikuttavat posti- ja logistiikkatoimialaan globaalisti. Tavara- ja jakeluliikenteen merkitys ihmisten arjelle ja sen sujumiselle korostuu nykypäivänä. Mikäli sään ääri-ilmiöt vaikeuttavat tätä ketjua, näkyy se ihmisten arjessa monella eri tavalla. Myös liikenteen infrastruktuurille ja kulkuneuvoille voi sääilmiöiden takia syntyä vahinkoa tai kulumista ja eri kulkumuotojen ylläpidolle aiheutuu haasteita ja lisäkustannuksia.

Logistiikkaketjuun kohdistuvia sää- ja ilmastoriskejä voidaan hallita esimerkiksi kuljetusketjujen suunnittelun ja aikatauluttamisen kautta, ottamalla huomioon sääolosuhteet ja niiden mahdollinen muuttuminen. Tavara-liikenteen logistiikkatiedon digitalisoituessa vaihtoehtoisten logististen ketjujen suunnitteluun digitaalinen tieto ja sen jaettavuus toimijoiden kesken parantavat mahdollisuuksia suunnitella vaihtoehtoisia reittejä ja kuljetustapoja. Tietojen saatavuus, jaettavuus ja yhteensopivuus eri toimijoiden kesken ovat tässä avainasemassa. Tämä on tärkeää myös yksityisen sektorin toimijoiden näkökulmasta, jotta ne voivat mahdollisimman sujuvasti tehdä reittien uudelleensuunnittelua.

Esteettömyystyö ja esteettömyystieto voivat toimia henkilö- ja tavara-liikenteen vaihtoehtoisten matka- ja logistiikkaketjujen suunnittelun tukena. Esteettömät matkaketjut, joissa huomioidaan esimerkiksi pyörätuolin tai muiden apuvälineiden kanssa liikkuvat, soveltuvat usein laajaan tarpeeseen ja epäjatkuvuuskohdat on niiden osalta tarkasteltu. Samalla kun esteettömyystieto lisää matka- ja kuljetusketjujen joustavuutta ja mahdollistaa vaihtoehtoisten reittien ja kulkumuotojen joustavan hyödyntämisen, esteettömyystietoon pohjautuvat palvelut voivat kuitenkin myös merkittävästi häiriintyä yllättävien sääilmiöiden johdosta, jolloin esimerkiksi runsaan vesi- tai lumisateen vuoksi henkilöiden tai ajoneuvojen pääsy pysäkillä tai pysäkiltä ajoneuvoon voi estyä. Tällaisiin häiriöihin varautumiseksi esteettömyystietoon tulisi yhdistää myös esimerkiksi väylien kunnossapito.

Postiyritysten täytyy postilain mukaan varautua poikkeusoloihin ja normaaliolojen häiriötilanteisiin ja postinjakelun pitää toimia kriisin keskelläkin. Poikkeustilanteessa jakelussa etusijalle menevät yleiseen turvallisuuteen liittyvät lähetykset: verilähetykset ja laboratorionäytteet, viranomaisten tiedotteet ja muut viranomaisten määrittelemät palvelut.

Postin jakelu- ja logistiikkaliiketoiminnassa tärkeä rooli on niin henkilöstöllä, kuin myös kiinteistöillä. Postin työntekijät, jotka ajavat vuodessa reilut 200 miljoonaa kilometriä, ovat alttiita voimakkaille sään ääri-ilmiöille. Kiinteistöille paikalliset voimakkaat rankkasateet ja myrskytuulet ovat jo aiheuttaneet erilaisia vahinkoja. Voimakkaat lämpötilavaihtelut aiheuttavat vaurioita terminaalien ja lajittelukeskusten pihoilta. Hellejaksot puolestaan kuormittavat kiinteistöjen lämmönsäätöjärjestelmiä.

Liikenteen sähköistymisen myötä sähköntoimituksen laajat katkokset voivat vaikuttaa toimintavarmuuteen ja aiheuttaa vakavia ongelmia, jotka pitkään jatkueksaan voivat keskeyttää liikenteen ja kuljetukset lähes täysin. Sähkön varastointi on myös paljon hankalampaa kuin polttoaineiden. Myös polttoaineenjaku on riipuvainen sähköstä.

Posti on tunnistanut kiinteistöihin kohdistuvia riskejä myrskyjen ja rankkasateiden (mm. kosteusrasitukset rakenteille, vesivuodot, sadevesikaivojen ja pumppaamoiden täyttyminen ja pihojen tulviminen, pohjavesien nousu ja sen hallinta, myrskyn aiheuttamat vauriot, ukkosvauriot, tulvat) sekä voimakkaiden lämpötilan vaihteluiden, lumen ja helteen osalta (lumikuormat ja kinostunut lumi, routavauriot piholla ja ajoväylillä, kriittisten konesalien ja laittilojen jäähtytys sekä työskentelyolosuhteet).

Huoltovarmuuskeskus on käynnistänyt maaliskuussa 2021 Logistiikka 2030 -kehitysohjelman, jonka tarkoitus on tunnistaa logistiikan toimintaympäristössä tapahtuneet muutokset Suomessa ja kansainvälisesti. Ohjelmalla vahvistetaan kriittistä logistista infrastruktuuria sekä logistiikkapalveluiden toimintakykyä ja -edellytyksiä Suomessa.²²⁸

6.5.6 Pyöräily

Lumettoman kauden piteneminen helpottaa pyöräilyä, mutta tuulisuus ja sateisuus voivat ajoittain vähentää sen houkuttelevuutta. Tuuli vaikeuttaa liikumista etenkin rannoilla ja silloilla. Puuskittaisessa ja kovassa tuulessa kaatumis- ja loukkaantumisriski on suurempi varsinkin talviolosuhteissa.²²⁹

228 Huoltovarmuuskeskus, 2021

229 Suomen ympäristökeskus, n.d.

Pyöräilyn edistämiseksi muuttuvassa ilmastossa on tärkeää huomioida sään ääri-ilmiöiden vaikutus väylien käytettävyyteen jo suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa.²³⁰ Lämpötilan muutosten (erityisesti alhaiset lämpötilat), sademäärän ja voimakkaan tuulen on havaittu vaikuttavan pyöräilyä vähentävästi.²³¹ Berliiniä koskeneessa tutkimuksessa arvioitiin toisaalta ilmastomuutoksen kasvattavan pyöräilyn suosiota etenkin talvella, jos kaikki muut tekijät pysyvät ennallaan. Suomessa talvipyöräilyn suosiota on pyritty kasvattamaan esimerkiksi talvikunnossapitokokeiluilla.²³²

Pidentyvä lumeton aika ja talvien lämpeneminen mahdollistavat pyöräilykauden jatkamisen pidemmälle syksyyn, kunhan väylien kunnossapitoon kiinnitetään huomiota.²³³ Pidempi pyöräilykausi tasoittaa käyttäjämäärien kuukausivaihtelua ja voi lisätä käyttäjämääriä. Tämä voi tuoda osaltaan tarvetta lisätä kapasiteettia esim. muuttamalla yhdistettyjä kävelyn ja pyöräilyn väyliä erotel-
luiksi, mikä tarkoittaisi useimmiten väylien leventämistarvetta. Pyöräiliikenteen ja kävelyn seudullisten verkkojen suunnittelun ja verkkohierarkian merkitys osana yhdyskuntasuunnittelun prosesseja korostuu tästä syystä.

Lauhtuvat talvet eivät kuitenkaan ole pelkästään hyvä asia pyöräiliikenteen kannalta. Jos yhä pohjoisempana talvilämpötilat pyörivät nollan ympärillä, eikä ”oikeaa talvea” tule, tulee etelässä nyt vahvemmin esillä olevat väylien liukkaudentorjunnan haasteetkin vahvemmin yhä pohjoisemmaksi. Liukkaudentorjunnalla on merkittävä vaikutus väylien käytettävyyteen pyöräiliikenteessä ja erityisesti jalankulussa. Routimisen muutokset voivat aiheuttaa pyöräilyväylien rakenteelle ja päällysteelle samoja ongelmia kuin tieliikenteen väylille.

6.5.7 Jalankulku

Ilmastomuutoksen myötä yleistyvien liukkaiden keliä ja väestön ikääntymisen myötä liukastumistapaturmia on todennäköisesti jatkossa enemmän, ja niiden seuraukset voivat olla entistä vakavampia. Liukastumisissa ja kaatumisissa loukkaantuneiden määrä on jopa 30-kertainen verrattuna liikenneonnettomuuksissa loukkaantuneisiin. Talven äärisään aiheuttamalla riskeillä on

²³⁰ Hippi ym., 2017

²³¹ Koetse & Rietveld, 2009

²³² Turun kaupunki, n.a.

²³³ Aalto-yliopisto, n.d.

tapahtuessaan suoria taloudellisia vaikutuksia sairaanhoidon ja sairauspoissaolojen kautta (liukastuminen).²³⁴ Tapaturmista kertyy vuosittain merkittäviä kustannuksia, jotka voivat olla suurempia kuin talvikunnossapidon kustannukset.²³⁵

Liukastumistapaturman taustalla vaikuttavat tyypillisesti liukkaat olosuhteet, talvikunnossapidon puutteet tai keliin sopimattomat kengät sekä kiire.^{236, 237} Suuri vaikutus on myös jalkakäytävien ja kävely- ja pyöräilyväylien kunnossapidolla ja oikea-aikaisella liukkauden torjunnalla.²³⁸

Liukastumistapaturmia ja niiden ehkäisyä koskeneen tutkimuksen tulosten perusteella suositellaan, että liukastumis- ja kaatumistapaturmien tilastointia tulisi parantaa. Lisäksi liikenneturvallisuustyötä tulisi laajentaa sisältämään jalankulkijoiden yksittäisonnettomuudet. Myös Ilmatieteen laitoksen viranomaistoimintana toteutetun liukkaan jalankulkusään varoittamisen näkyvyyttä tulisi nostaa mediassa samalle tasolle muun säävaroittamisen kanssa.²³⁹

6.5.8 Tietoliikenne

Moni toiminto on nykyisin entistä riippuvaisempi tietoliikenteen toimivuudesta, ja riippuvuus toimivista tietoliikennejärjestelmistä on lisännyt yhteiskunnan alttiutta sään ääri-ilmiöiden vaikutuksille. Ilmastonmuutos voi lisätä viestintäinfrastruktuuriin kohdistuvien häiriöiden riskiä esimerkiksi tulvien ja sähkökatkosten kautta. Näihin on kuitenkin varauduttu Suomessa jo pitkään. Liikenne- ja viestintäviraston mukaan niiden vaikutuksia on tärkeä aktiivisesti seurata ja tarvittaessa rajoittaa riskejä viestintäverkkojen toimintavarmuutta koskevan sääntelyn kautta.

Tietoliikenteen sääriski aiheutuu erityisesti sen toiminnan mahdollistavan sähköjakeluverkon altistumisesta sääilmiöille. Sähköjakeluverkko, etenkin ilmajohdoverkot, on altis erityisesti myrskyille, rajuilmoille ja tykkylumelle.²⁴⁰ Kovan tuulen seurauksena voi ilmetä tietoliikennejärjestelmien häiriöitä. Häiriöt ovat usein

234 Hippi ym., 2017

235 Malin ym., 2022

236 Malin ym., 2022

237 Hippi ym., 2017

238 Hippi ym., 2017

239 Malin ym., 2022

240 Maa- ja metsätalousministeriö, 2005

seurausta sähköön jakelun katkoksisista esimerkiksi sähkölinjoille kaatuneiden puiden takia.²⁴¹ Myös salamointi saattaa aiheuttaa häiriöitä ja vaurioittaa laitteita. Suuret lumimäärät voivat aiheuttaa tietoliikennejärjestelmien häiriöitä. Esimerkiksi tykkylumen johdosta sähkölinjojen päälle katkenneet puut ja puiden oksat voivat johtaa pitkäkestoisiin sähkökatkoksiiin. Tietoliikenneverkossa on varavoimajärjestelmiä, mutta tietoliikenteeseen heijastuvat silti sähkönjakelun häiriöt. Tietoliikenteen haavoittuvuuteen vaikuttavat myös järjestelmien vikasietoisuuden varalaitteet ja varavoimakoneet.²⁴²

Tulvien ja maastopalojen vaikutukset tietoliikenneverkon laitetiloihin voivat lisätä tietoliikennehäiriöiden riskiä. Maanvyörymät ja maan vajoaminen voivat vahingoittaa meri- ja maakaapeleita aiheuttaen häiriöitä tietoliikennejärjestelmiin. Pitkäkestoisen helteen seurauksena laittilojen jäähtytys voi ylikuormittaa, josta voi seurata häiriöitä tietoliikennejärjestelmissä. Liikenne- ja viestintäviraston mukaan myös pakkautuneet ahtojät voivat myös vaurioittaa merikaapeleita aiheuttaen häiriöitä sähköverkkoon ja tietoliikenneyhteyksiin.

Ilman sopeutumistoimia vauriot ilmajohtoverkoille ja katkokset maakaapeleissa lisääntyvät ilmastonmuutoksen johdosta. Lisäksi vikojen korjaamisesta ja niihin varautumisesta aiheutuu lisäkustannuksia.²⁴³ Se osa tietoliikenteestä, joka kulkee satelliittien välityksellä, ei ole kovin altis sääolosuhteille.²⁴⁴

Tietoliikenteen häiriöt voivat heijastua myös muiden toimialojen toimintaan. Esimerkiksi vuoden 2010 rajuilmojen aiheuttamilla tietoliikennejärjestelmien häiriöllä oli välillisesti vaikutusta myös vesihuoltoon.²⁴⁵

ICT-ala kuluttaa energiaa ja materiaaleja, mutta sillä on merkittävä rooli ja potentiaali ilmasto- ja ympäristöhaasteisiin vastaamisessa kuten ilmastonmuutokseen sopeutumista helpottavien ratkaisujen tuottamisessa.²⁴⁶

Suomen Erillisverkot -konserni on valtion kokonaan omistama erityistehtävä-yhtiö, joka turvaa yhteiskunnan toimintaa ja kriittistä viestintää kaikissa olosuhteissa. Erillisverkot tuottaa yhteiskunnan turvallisuutta ja toimivuutta tukeville

241 Onnettomuustutkintakeskus, 2010

242 Onnettomuustutkintakeskus, 2010

243 Sorvali, 2013

244 Maa- ja metsätalousministeriö, 2005

245 Onnettomuustutkintakeskus, 2010

246 Ojala & Oksanen, 2021

organisaatioille ICT-palveluja kriittiseen viestintään, tilannejohtamiseen ja kriittisen infrastruktuurin suojaamiseen. Erillisverkot on tunnistanut ilmastomuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden voivan aiheuttaa uhkia mobiiliverkoille mm. sähkökatkoina. Toisaalta sään ääri-ilmiöistä toipuminen on Erillisverkkojen tuottamalle yhteiskunnan toimintavarmuutta lisäävälle palvelulle mahdollisuus. Tarve palveluille kasvaa myös pandemioiden myötä. Häiriö- ja poikkeustilanteiden määrän kasvun arvioidaan lisäävän henkilöstökustannuksia sekä verkkojen ylläpitokustannuksia. Vakavan häiriötilanteen kustannukset voivat vaihdella tuhansista euroista miljooniin euroihin.²⁴⁷

Erillisverkot tarjoaa palveluillaan myös ratkaisuja ilmastonmuutokseen sopeutumiseen, esimerkiksi parempana varautumisena sään ääri-ilmiöihin, kuten myrskyihin, tulviin ja metsäpaloihin sekä niiden vaikutuksista toipumisen edistämisenä.²⁴⁸

Digitalla ei ole tehty varsinaisia ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja seurauksiin liittyviä riski- ja haavoittuvuustarkasteluja. Erinäisiä keskusteluja ja pohdintoja aiheesta on kuitenkin käyty osana yhtiön liiketoimintaan liittyvien huoltovarmuustoimintojen vuoksi. Huoltovarmuustekijöistä johtuen Digita on varautunut erilaisiin häiriöihin, mutta niiden osalta ei ole erikseen eritelty mikä häiriö on ilmastonmuutoksen aiheuttama.

Traficom määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista ja määräys viestintäverkkojen suojaamisesta määrittelevät varautumista ja sopeutumista koskevat velvoitteet.²⁴⁹ Operaattoreiden on huolehdittava siitä, että niiden toiminta jatkuu mahdollisimman häiriöttömästi myös normaaliolojen häiriötilanteissa sekä valmiuslaissa tarkoitetuissa poikkeusoloissa. Määräyksellä viestintäverkon sähköisestä suojaamisesta tehdään pakolliseksi tietyt yleisen viestintäverkon ja yleiseen viestintäverkkoon liitetyn viestintäverkon suojaustoimenpiteet, joilla verkko saadaan sietämään ja kestämään ilmastollisia ja toisten verkkojen aiheuttamia ylijännitteitä.

Määräysten tarkoituksena on parantaa viestintäverkkojen ja -palveluiden luotettavuutta ja resilienssiä niin haastavissa sääolosuhteissa kuin normaalioloissa sekä ehkäistä viestintäverkkoa aiheuttamasta vaaraa odottamattomissa tilanteissa. Traficom koordinoi ja seuraa operaattoreiden määräysten noudattamista.

247 [Erillisverkot, 2020](#)

248 [Erillisverkot, 2020](#)

249 [Traficom, 2021](#)

6.6 Vesihuolto

Vesihuolto takaa puhtaan veden saatavuuden sekä toimivan jäteveden puhdistuksen. Tulvat, lisääntyvä pintavalunta, keskilämpötilan nousu, routaisuuden muutokset ja raakavesivarojen laadun vaihtelut voivat aiheuttaa tekniikkaan ja veden laatuun liittyviä ongelmia vesihuoltolaitoksille. Kuivuus voi aiheuttaa veden riittävyys- ja laatuongelmia, ja rankkasateet lisäävät ravinnehuuhtoumia raakavesiin. Seuraukset kohdistuvat ihmisten hyvinvointiin, terveyteen ja talouteen.

Ilmastonmuutos voi lisätä vesivälitteisten epidemioiden riskiä, sillä sateiden lisääntyminen ja keskilämpötilan nousu heikentävät vesistöjen mikrobiologista laatua. Vesistöjen laadun heikkeneminen vaikuttaa myös veden virkistyskäytön terveysriskeihin. Esimerkiksi helteinen sää voi lisätä *Vibrio*-sukuun kuuluvien bakteerien määrää lämpimissä suolapitoisissa rannikkovesissä ja aiheuttaa terveyshaittoja uimareilla.²⁵⁰ Lancet Countdown yhteistyössä kehitetty indikaattori rannikkoalueiden ilmastollisesta sopivuudesta *Vibrio*-bakteereille osoittaa sopivien alueiden määrän Suomessa kasvaneen 3 %, kun verrataan vuosia 1982–1984 vuosiin 2018–2020.²⁵¹

Vesiepidemioiden uhkaan ja vesilaitosten toimintaan vaikuttavat myös ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät sään ääri-ilmiöt (mm. helteet, myrskyt ja kuivuus) sekä tulvariski,²⁵² joka voi lisätä mm. *Cryptosporidiumin* esiintymistä.²⁵³

Kuivuus aiheuttaa veden riittävyysongelmia ja pohjavedenpintojen lasku aiheuttaa laatuongelmia. Esimerkiksi kesien 2018 ja 2020 kuivuudet ovat lisänneet tarvetta vesihuollon varautumiseen ja varavesitarpeen kartoittamiseen.

Myrskyt ja niiden aiheuttamat sähkökatkot aiheuttavat riskin erityisesti syrjäseuduilla sijaitsevien vesihuoltolaitosten sähkösaannille, vaarantaen vedenjakelun ja jätevesien johtamisen ja käsittelyn, mutta myös laajoihin useita vesihuoltolaitoksia koskeviin sähkökatkoksiin on varauduttava.

Suomen vesihuoltosektorilla on lähtökohtaisesti hyvät edellytykset sopeutua ilmastonmuutokseen. Vesilaitostoimijat ovat kyselyn perusteella hyvin tietoisia ilmastonmuutoksesta ja pitävät yleisellä tasolla ilmastonmuutosta uhkana Suomen

250 Amato ym., 2022

251 European Climate and Health Observatory, 2021

252 Meriläinen ym., 2021

253 Gertler ym. 2013

vesiturvallisuudelle.²⁵⁴ Lähes kaikki vesilaitokset (94 %) kokivat, että heidän vesilaitoksensa pystyy vastaamaan sään vaihteluiden asettamiin haasteisiin tällä hetkellä riittävästi. Vain harva vesihuoltolaitos kokee ilmastonmuutoksen uhkaavan oman laitoksen vesiturvallisuutta. Sähkökatkoihin on selvityksen perusteella varauduttu kohtuullisen hyvin.

Kuitenkin vain puolet selvitykseen osallistuneista laitoksista on varautunut esimerkiksi hellejaksoihin, pitkittyneeseen kuivuuteen, lauhaan talveen tai tulviin. Heikkoa varautumista voi selittää se, että vastaajat olivat pääasiassa pieniä pohjavesilaitoksia, joilla ei aiemmin ole ollut ongelmia mainittujen sääilmiöiden kanssa.

Suurimpana haavoittuvuutta aiheuttavana tekijänä vesihuoltoalalla on taloudellisten ja ajallisten resurssien niukkuus, erityisesti pienten vesilaitosten ja vesiosuuskuntien osalta. Vesihuoltolaitoksia on 1 100, ja noin 80 suurinta toimijaa tuottaa noin 80 prosenttia kaikista palveluista. Suomen Vesilaitosyhdistys ry on arvioinut vesilaitosten kokonaisinvestointitarpeen lähes kaksinkertaisuvan nykytilanteesta vuoteen 2040 mennessä.²⁵⁵ Merkittävin osa sarenausvelasta kohdistuu vesihuoltoverkostoihin. Jos rankkasateet lisääntyvät eikä vesihuoltoverkoston uusimistahtia kasvateta saneerausvelan kuittaamiseksi, nykyisten järjestelmien kapasiteetti tulee ylittymään yhä useammin. Saneerauksia tarvitaan jo nyt ja lisääntyvissä määrin tulevaisuudessa huonokuntoisen verkoston vuotojen vähentämiseksi, sekaviemäröinnistä eroon pääsemiseksi ja kapasiteetin turvaamiseksi.²⁵⁶

Ilmastonmuutoksen vesilaitoksiin kohdistuvien riskien vähentäminen ja niihin varautuminen on avainasemassa sopeutumisen parantamisessa. Vesilaitosten on mahdollista varautua raakaveden määrällisiin ja laadullisiin riskeihin talousveden riskienhallintajärjestelmällä (Water Safety Plans) ja vastaavasti jäteveden viemäröinnin ja käsittelyn ennakoivalla suunnittelulla.

Vuonna 2019 käynnistetyllä kansallisella vesihuoltouudistuksella tavoitellaan turvallista ja laadukasta vesihuoltoa, myös ilmastonmuutokseen sopeutumisen osalta. Uudistuksessa mm. tarkistetaan vesihuoltolainsäädäntöä siten, että lainsäädäntö edistää aktiivisempaa ja systemaattisempaa sopeutumistoimintaa.

254 Meriläinen ym., 2019

255 Suomen vesilaitosyhdistys ry, 2020

256 Berninger ym., 2018

6.7 Rakennettu ympäristö

Ilmastonmuutos asettaa rakennetulle ympäristölle haasteita alueellisen ja vuodenaikaisen vaihtelun vuoksi. Edelleen joudutaan varautumaan vuosi- vaihtelun kautta nykyisiin ja alueittain jopa kasvaviin lumikuormiin. Merkittävimmät rakennettuun ympäristöön kohdistuvat ilmatoriskit liittyvät lämpötilan vaihteluihin, sateisiin, tulviin, merenpinnan nousuun ja kuivuuteen.

Muutokset sulamis-jäätymissyklissä ja viistosademäärissä kasvattavat pakkasrapautumisen riskiä rakennuskannassa.²⁵⁷ Pakkasrapautumisen muutos Suomessa vaihtelee alueittain merkittävästi, jolloin muutos kohdistuu eri tavalla Suomen eri osiin. Pakkasrapautumisen lisäksi betonirakenteisiin kohdistuu raudoitteiden korroosioriskiä. Viistosateen rasiustaso on merkittävästi suurempi Etelä-Suomessa verrattuna Keski- ja Pohjois-Suomeen. Suhteellisen isompi viistosateen rasiustaso eteläisillä rannikkoalueilla selittyy sekä suuremmalla tuulenvoimakkuudella että vesi- ja räntäsateiden isommalla määrällä.²⁵⁸

Tulevaisuudessa nykyisen rannikkoilmaston kaltaisten olosuhteiden odotetaan leviävän laajemmin sisämaahan, mikä lisää sulamis-jäätymissykliä aiheuttamaa pakkasrapautumisen riskiä alueilla, joilla se on toistaiseksi ollut vähäisempää. Rakennusten julkisivujen ja parvekkeiden lisäksi myös muihin betonirakenteisiin, kuten siltoihin ja parkkihalleihin, kohdistuu pakkasrapautumisen riskiä.²⁵⁹ Betonin ollessa hyvin yleinen rakennusmateriaali, ovat nämä vaikutukset pääosin taloudellisia.

Kosteusrasituksen muutoksen vaikutus rakenteiden homehtumisriskille on monimutkainen asia, ja se toteutuu eri puolilla Suomea eri tavalla. Siihen liittyvät haasteet liittyvät pääasiassa olemassa olevaan kiinteistökantaan, jota ei ole suunniteltu eikä toteutettu tulevaisuuden ilmasto varten. Vaikutus on myös hyvin erilainen eri aikakausien rakennuksissa ja erilaisissa rakennusmateriaaleissa. Lisääntynyt kosteusrasitus voi aiheuttaa epäsuorasti terveysriskiä. Kaikki rakennuskantaan kohdistuvat riskit heijastuvat myös rakennettuihin kulttuuriympäristöihin ja rakennusperintöön.

257 Tuomenvirta ym., 2018

258 Laukkarinen ym., 2022

259 Tuomenvirta ym., 2018

Sateiden aiheuttamat kosteusvaurioriskit ovat jo tällä hetkellä merkittäviä, ja näiden riskien odotetaan kasvavan jatkossa lisääntyneiden sateiden vuoksi.

Keskilämpötilan nousu muuttaa myös lumen sateeksi, mikä lisää entisestään rakennusten kosteusvaurioriskiä. Kosteusrasituksen kasvu rakenteiden ulko-osissa lisää mikrobien ja homeen kasvua rakenteissa.²⁶⁰ Lämpötilan ennustetaan nousevan varsinkin syys- ja talviaikaan, mikä lisää mikrobien kasvua erityisesti vuoden jälkimmäisellä puoliskolla.²⁶¹ Sademäärät kasvavat ympäri vuoden, ja erityisesti talvikausien kosteusrasite kasvaa, kun sade tulee enemmän vetenä ja räntänä. Nykyisen rakennuskannan mikrobikasvulle riskialteimpia rakenteita ovat puurunkorakenteet ja tiiliverhotut rakenteet etenkin, jos näissä rakenteissa on heikosti tuulettuvia ulko-verhouksien taustoja.²⁶²

Myös kuivuuden ennakoidaan aiheutuvan riskejä rakennuskantaan. Pitkät kuivuusjaksot voivat laskea pohjavesien pintoja ja aiheuttaa erityisesti savikkoisilla alueilla maaperän kutistumista. Tämä voi lisätä rakennusten vaurioitumisen ja putkirikkojen riskejä. Ilmastomuutoksen vaikutuksia erityisesti pitkien kuivuusjaksojen esiintymiseen tunnetaan tosin vielä puutteellisesti eikä maaperän kantavuuteen liittyvien riskien muuttumisesta tulevaisuudessa ole nykyisellään riittäviä arvioita.²⁶³

Rakennusten toimivuus liittyy myös helleaaltojen aikaisiin ja kosteudenhallintaan liittyviin terveysriskeihin. Helleaaltojen terveysvaikutukset liittyvät, kasvavan homehtumisriskin tapaan, pääosin nykyiseen kiinteistökantaan. Nykyiset rakennusmääräykset eivät riitä estämään asuinrakennusten ylikuumenemista voimakkaiden hellejaksojen aikana, eli mikäli rakennusmääräyksiä ei muuteta, niin myös tulevaisuudessa rakennettavissa kiinteistöissä tulee esiintymään ylikuumenemista ja siitä aiheutuvia terveyshaittoja.²⁶⁴ Voimakkaiden hellejaksojen aikana esiintyy merkittävää ylikuumenemista sekä vanhoissa että uusissa, nyky-määräysten mukaan rakennetuissa asuinrakennuksissa. Riskin hallinta riippuu paljon rakennustyypistä.²⁶⁵

Hellejaksojen haitalliset vaikutukset ovat suurempia kaupungeissa kuin ympäröivillä alueilla kaupunkisaarekeilmiön ja osin rakennuskannan vuoksi. Pitkittyneistä helleaalloista aiheutuvan lämpöperäisen sairauden ja kuolleisuuden

²⁶⁰ Lahdensivu ym., 2023

²⁶¹ Tuomenvirta ym., 2018

²⁶² Tuomenvirta ym., 2018

²⁶³ Tuomenvirta ym., 2018

²⁶⁴ Lahdensivu ym. 2023

²⁶⁵ Lahdensivu ym. 2023

riski on suurin sellaisissa haavoittuvissa ihmisryhmissä, jotka asuvat kaupunkien lämpösaarekealueilla asunnoissa, joissa sisälämpötilaa ei voida alentaa tai ilmanvaihtoa ei ole mahdollista tehostaa.

Lämpösaarekeilmiö, eli kaupungin pienilmaston suhteellista lämpimyyttä maaseutualueisiin nähden, vähentää talviaikaista lämmityksen tarvetta kaupungeissa ja osaltaan lisää viilennystarvetta lämpimillä ajanjaksoilla.

Viilennystarpeen kasvu kesällä näkyy jossain määrin jo nykyilmastossa helleaaltojen aikana ja sen odotetaan kasvavan ilmastonmuutoksen myötä. Riskiä ei nykyolosuhteissa tosin pidetä merkittävänä.²⁶⁶ Pidemmällä aikavälillä ilmastonmuutoksen arvioidaan lisäävän jäähdytystarvetta myös kaupunkien ulkopuolella. Vuoteen 2050 mennessä jäähdytystarpeen ennakoidaan lisääntyvän etenkin maan etelä- ja kaakkoisosissa ja vuosisadan loppuun mennessä näiden alueiden jäähdytystarpeen nähdään kasvavan jopa viisikertaiseksi.²⁶⁷

Helle asettaa etenkin iäkkäät asukkaat haavoittuvaan asemaan. Ympäristöministeriön rahoittaman RAMI-hankkeen (2021–2022) yhteydessä toteutetut simuloinnit jäähdyttämättömän vanhainkodin huonelämpötilasta Vantaan nykyilmaston kesäkuukausien aikana näyttävät, että lämpöviihtyvyys vaarantuu selvästi kohteessa riippumatta mitoituspäivien riskitasosta tai käytetyistä passiivisista jäähdytysratkaisuista. Lisäksi asumisterveysasetuksessa 545/2015 vanhaikodeille asetettu toimenpideraja 30 °C ylittyy kohteessa reippaasti ja kuumimman huoneiston korkein lämpötila on jopa 35,4 °C ja 34,4 °C heinäkuun 1 %:n ja 5 %:n riskitason mitoituspäivillä simuloituna.²⁶⁸ RAMI-hankkeen loppuraportissa korostetaan, että huonelämpötilojen hallintaan täytyy kiinnittää enemmän huomiota ja että passiiviset jäähdytysratkaisut eivät ole riittäviä edes nykyisissä ilmasto-oloissa.²⁶⁹

Ilmastonmuutos lisää myös rakennetun ympäristöön kohdistuvia tulvariskejä.

Rakennetun ympäristön suurimmat tulvariskit liittyvät vesistö- ja hulevesitulviin, jotka rasittavat kaupunkien viemäriverkkoja ja aiheuttavat merkittäviä taloudellisia vahinkoja. Hulevesitulvariskit ovat suurimmat tiheimmin asutuilla alueilla, kuten Uudellamaalla. Viime vuosikymmeninä läpäisemättömien pintojen osuus

²⁶⁶ Tuomenvirta ym., 2018

²⁶⁷ Tuomenvirta ym., 2018

²⁶⁸ Laukkarinen ym., 2022

²⁶⁹ Laukkarinen ym., 2022

rakennetussa ympäristössä on kasvanut voimakkaasti, mikä puolestaan lisää hulevesitulvariskiä.²⁷⁰ Tiiviimmän ja teknisemmän rakentamisen myötä myös haavoittuvuus kasvaa ja mahdollisten vahinkojen vaikutusketjut monimutkaistuvat.²⁷¹

Kasvavat vesimäärät ja hetkelliset sadannat lisäävät rakennusten piha-alueiden ja perustusten kuivatuskapasiteettitarvetta. Pohjarakenteiden stabiliteettiin voivat rakennuspaikkakohtaisesti huonontavasti vaikuttaa pohjaolosuhteiden vesipitoisuusmuutokset. Hulevesitulvat aiheuttavat taloudellisia vaikutuksia sekä usein akuutteja pelastustoimen suurtehopumppaustehtäviä. Laajat hulevesitulvat voivat pahimmillaan aiheuttaa merkittäviä häiriötilanteita, ja vaikeuttaa esimerkiksi ensihoidon tehtävien hoitamista.

6.8 Terveys- ja sosiaalihuolto

Suomessa kansallisessa riskinarvioinnissa ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän etenkin helteistä aiheutuvia terveyshaittoja, vesivälitteisiä epidemioita, zoonoottisia ja vektorivälitteisiä infektiosairauksia, liukastumistapaturmia, rakennusten kosteusvaurioista aiheutuvia terveyshaittoja sekä uusien allergisoivien lajien esiintymistä ja leviämistä.²⁷²

Ilmastonmuutoksen terveysvaikutukset voidaan karkeasti jakaa kolmeen ryhmään:

1. keskilämpötilan nousemisesta johtuvat vaikutukset (esim. kuumuuden tuoma lisätaakka sairaille, yhteisvaikutukset ilmansaasteiden kanssa, mikrobien ja niitä levittävien eläinten esiintyvyyssalueiden laajenemisen vaikutukset tarttuviin tauteihin, liukkauden vaikutukset onnettomuuksiin),
2. äärimmäisten sääilmiöiden (esim. helleaallot, myrskyt, rankkasateet, tulvat, kuivuus, metsäpalot) lisääntymisestä johtuvat vaikutukset, ja
3. ilmastonmuutosilmiöstä ja lumipeitteen vähenemisestä aiheutuvat vaikutukset mielenterveyteen (esim. masennus ja ilmastoahdistus).²⁷³

²⁷⁰ Tuomenvirta ym., 2018

²⁷¹ Tuomenvirta ym., 2018

²⁷² Tuomenvirta ym., 2018

²⁷³ Meriläinen ym. 2021

Yksilötasolla herkkyyttä ilmastonmuutoksen vaikutuksille lisää tulevaisuudessa ikääntyminen ja pitkäaikaissairauksien yleistyminen sekä joidenkin vaikutusten osalta kaupungistuminen (esim. lämpösaarekeilmiö). Väestön ilmastonmuutokseen sopeutumisen mahdollisuudet vaihtelevat sosioekonomisen aseman mukaan, mikä voi kasvattaa myös terveyseroja. Vakaa taloudellinen asema edesauttaa sopeutumista sään ääri-ilmiöihin, kuten energia- ja kustannustehokkaiden ilmastointiratkaisujen hankkimista kotiin, kun alhaisemmassa tuloluokassa tähän ei ole mahdollisuutta. Pahimmillaan ilmastonmuutokseen sopeutuminen lisää yhteiskunnan jakolinjoja; osalle väestöstä erilaiset asumismuodot ovat saatavilla ja niiden olosuhteisiin voi vaikuttaa, kun esimerkiksi laitoshoidossa asutetaan haavoittuvia ryhmiä, joilla on vain vähän mahdollisuuksia vaikuttaa elinolosuhteisiinsa.²⁷⁴

Keskimääräiset hyvinvointivaikutukset ja sopeutumistoimet eivät kuvaa yksilöiden tilannetta, vaan niitä on pystyttävä tarkastelemaan ja soveltamaan kansallisen tason lisäksi myös alueellisesti ja paikallisesti. Alueelliset näkökulmat tulisi huomioida eri-arvoisuuden ja haavoittuvuuden vähentämiseksi. Ilmastonmuutos esimerkiksi lisää saamelaisten onnettomuusriskejä, mahdollisia mielenterveysvaikutuksia ja epäsuoria eläinperäisten tautien lisääntymistä (mm. puutiaisten levittämät taudit).^{275, 279}

6.8.1 Suorat terveysvaikutukset

Ilmastonmuutos vaikuttaa suoraan elinympäristön lämpötilasta aiheutuviin terveysriskeihin, joita koituu sekä kylmästä että kuumasta säästä, niin viileiden kuin lämpimienkin ilmasto-olosuhteiden maissa.²⁷⁶ Ilmastonmuutokseen sopeutuminen edellyttää ensisijaisesti helteen haittavaikutusten ehkäisyä. Äärilämpötiloista aiheutuvien terveyshaittojen todennäköisyyttä lisää tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen lisäksi myös väestön ikääntyminen ja kaupungistuminen.²⁷⁷

²⁷⁴ Meriläinen ym. 2021

²⁷⁵ Näkkäläjärvi ym., 2020

²⁷⁶ Gasparrini ym., 2015.

²⁷⁷ Meriläinen ym., 2021

Helle on terveysriski erityisesti ikääntyneille ja kroonisesti sairaille. Naisten on todettu olevan jonkin verran herkempiä haittavaikutuksille kuin miesten. Riskiryhmiin kuuluvat myös pienet lapset, raskaana olevat sekä työntekijät, jotka tekevät raskasta fyysistä työtä ja altistuvat työympäristössään korkeille lämpötiloille.²⁷⁸

Kuumasta säästä ja helleaalloista aiheutuu Suomessa jo nykyisin merkittävä määrä terveyshaittoja.²⁷⁹ Väestön kuolleisuus lisääntyy selvästi, kun vuorokauden keskilämpötila ylittää noin 20 astetta.²⁸⁰ Kansanterveyden kannalta merkittäviä vakavia terveyshaittoja ilmenee etenkin helleaaltojen aikana.²⁸¹ Pitkittyneestä, joi-takin viikkoja kestävästä hellejaksosta voi aiheutua useita satoja kuolemia.²⁸² Vaka-vat terveyshaitat kohdistuvat erityisesti ikääntyneisiin ja liittyvät perussairauksien oireiden pahentumiseen, mikä näkyy tilastoissa moniin erityyppisiin sairauksiin liittyvän kuolleisuuden ja hoidontarpeen lisääntymisenä. Helleaaltojen aikana kuolleisuus lisääntyy huomattavasti niin terveyden- ja sosiaalihuollon hoito- ja hoivalaitoksiin sijoittuvien kuin kotona asuvienkin ikääntyneiden keskuudessa.

Helteen terveysriskiin vaikuttavat myös sosiaaliset ja ympäristötekijät.²⁸³ Hait-tojen todennäköisyyttä voivat lisätä esimerkiksi yksin eläminen ja eristäytynyt elä-mäntyyli, alhainen sosioekonominen asema, helposti kuumentuva asunto sekä asuminen tiheästi rakennetulla kaupunkialueella. Kaupunkien lämpösaarekeilmiön vuoksi lämpötilat voivat tiheästi rakennetuilla alueilla nousta useita asteita kor-keammaksi kuin ympäröivillä, harvempaan rakennetuilla alueilla. Tämä johtuu siitä, että kaupunkirakenteet absorboivat tehokkaasti lämpösäteilyä. Kasvillisuuden ja vesialueiden puute puolestaan vähentää veden haihduntaa ja lämmön poistumista. Helsingissä korkein mitattu lämpötilaero on ollut yhdeksän astetta. Uudellamaalla helleaaltojen suhteellisen kuolleisuusvaikutuksen on todettu olevan Helsingissä 2,5 kertaa suurempi kuin ympäröivillä maaseutumaisemmillä alueilla, mikä voi aina-kin osittain johtua lämpösaarekeilmiön vaikutuksesta.²⁸⁴

278 [Meriläinen ym. 2021](#)

279 [Kollanus & Lanki 2021](#)

280 [Ruuhela ym., 2017](#)

281 [Lahdensivu ym. 2023](#)

282 [Kollanus & Lanki 2014](#)

283 [Kollanus & Lanki. 2021](#)

284 [Ruuhela ym., 2021](#)

Helteillä on selkeä vaikutus myös työ- ja toimintakykyyn ja sitä kautta työn tuottavuuteen. Ilmiö on havaittavissa sekä fyysistä että kognitiivista suorituskkyä vaativissa töissä.^{285, 286} Lisääntynyt lämpökuormitus voi kasvattaa myös työtapa-
turmien todennäköisyyttä.²⁸⁷ Lisäksi lämpökuormituksella ja kemikaalialtistumisella on yhteisvaikutuksia.²⁸⁸

Myös talven kylmä sää on terveysriski. Kaiken kaikkiaan kylmyydestä on arvioitu aiheutuvan monissa maissa, myös Suomessa, huomattavasti enemmän terveyshaittoja kuin kuumasta säästä.^{289, 290} Erityisen haavoittuvia kylmälle ovat ihmiset, jotka joutuvat olemaan pitkiä aikoja kylmässä ilman suojaa, kuten asunnottomat. Koska kylmäkuolleisuus todennäköisesti vähenee ilmastomuutoksen myötä, kokonaisuudessaan kylmään ja kuumaan säähän liittyvä kuolleisuus voi tulevaisuudessa jopa vähentyä pohjoisissa maissa. Kylmyyden terveyshaittojen väheneminen onkin yksi ilmastomuutoksen myönteisistä vaikutuksista. Tämä yhdessä riittävän hellevarautumisen kanssa voi tulevaisuudessa johtaa merkittäviin kansanterveydellisiin hyötyihin.

6.8.2 Vaikutukset vektorivälitteisiin taudinaiheuttajiin

Vektorivälitteisten taudinaiheuttajien on arvioitu todennäköisesti leviävän ilmaston lämmetessä.²⁹¹ Vektorivälitteiset taudit ovat bakteeri-, virus- ja lois-
tauteja, jotka tarttuvat ihmisiin tartunnan saaneiden vektorien kuten esimerkiksi hyttysten tai puutiaisten pureman tai piston kautta.²⁹² Suomessa merkittävimpiä vektorivälitteisiä tauteja ovat puutiaisen välityksellä leviävät Lymen borrelioosi ja puutiaisaiivotulehdus (TBE), joiden tapausmäärät ovat kasvaneet viime vuosina.²⁹³

285 Hübler ym., 2008

286 Dunne ym., 2013.

287 Schulte ym., 2016

288 Gatto ym., 2016

289 Gasparrini ym., 2015

290 Gasparrini ym., 2017

291 Semenza & Suk, 2018

292 World Health organization (WHO), 2020.

293 Jalava ym., 2013

Ilmastomuutoksen vuoksi uusia tauteja saattaa ilmaantua ja joidenkin aiempien (esimerkiksi punkkien levittämät taudit) esiintyvyys kasvaa. Muun muassa tavallisen puutiaisen ja taigapuutiaisen populaatioiden on ennustettu runsastuvan, sekä niiden levittämän puutiaisaivotulehduksen esiintymisalueen laajenevan Suomessa ilmastomuutoksen myötä.^{294, 295, 296, 297}

Lisäksi väestörakenteen kehityksellä ja liikkumisella, taloudellisella ja terveydenhoidon kehityksellä, maankäytön muuttumisella ja vektoreiden habitaateilla on vaikutusta vektorivälitteisten patogeenien yleistymiseen, leviämiseen tai häviämiseen.²⁹⁸ Hyttysten välityksellä leviäviä kansanterveydellisesti merkityksellisiä tauteja Suomessa ovat pogostantauti sekä tularemia.^{299, 300} Metsäkanalintujen (teeri, metso, pyy) kantojen tiheys on yhdistetty korkeampaan pogostantaudin esiintymiseen, kuten myös sekametsän, turvesuon ja järvien suurempi pinta-ala.³⁰¹ Ilmastomuutoksen yhteyttä Pogostan taudin esiintyvyyteen ei ole Suomessa vielä kunnolla selvitetty.

Vektorivälitteisten tautien leviäminen koostuu pääsääntöisesti kolmesta tekijästä; taudin aiheuttajasta, vektorista sekä taudin kantajasta. Esimerkiksi puutiaisten kohdalla se, miten ihminen kohtaa puutiaisen riippuu pitkälti siitä, miten ja kuinka paljon hän liikkuu metsittyneessä ympäristössä. Puutiaispopulaatioihin taas vaikuttavat eri tekijät, erityisesti ravintotilanne, koska puutiainen tarvitsee kolme veriateriaa lisääntyäkseen. Nisäkäskannat, ilmasto-olojen ja ihmistoiminnan ohella, säätelevätkin puutiaispopulaatioiden kokoa.^{302, 303} Puutiaisten talvehtimiseen vaikuttaa sopiva kariekerros, jonka on ajateltu rajoittaneen puutiaisen leviämistä pohjoiseen. Ilmaston muuttuessa myös luontotyypit muuttuvat, mutta metsän muuttuminen ja karikkeen paksuuntuminen on pitkälinen prosessi. Ihminen on toiminnallaan paikoitellen tuottanut paksumpia kariekerroksia esimerkiksi pihoihin tai parkkipaikkojen vierustoihin, joissa puutiaiset voisivat talvehtia.

294 Estrad-Peña ym., 2017

295 Uusitalo ym., 2020

296 Randolph ym., 2000

297 Semenza & Suk, 2018

298 Hilden, 2021

299 THL 2019a

300 THL 2019b

301 Uusitalo ym., 2021

302 Korotkov ym., 2015

303 Dub ym., 2017

Tulevaisuudessa voi siis olla paikallisia puutiaipopulaatioita myös Lapissa.³⁰⁴ Myös Pogostan tautia levittävien hyttysten populaatioihin Suomessa on havaittu vaikuttavan niin ilmastollisten tekijöiden, kuin isäntäpopulaatioiden koon.³⁰⁵ Esimerkiksi jokivesistön läheisyys, ilmassa olevan vesihöyryn määrä, talviajan sateisuus ja kesäaikainen auringonsäteilyn määrä selittivät yli 20 % eri hyttyslajien esiintyvyydestä.

Koska jokaisella vektorivälitteisten tautien leviämiseen vaikuttavista tekijöistä on erilainen ilmastoriippuvuus, vektorivälitteisten tartuntatautien leviämistä on vaikea ennustaa. Lisäksi ennustemallit perustuvat usein lämpötilaan ja kosteuteen, mutta esimerkiksi lumipeitteen paksuutta, joka ohentuessa voi vaikuttaa negatiivisesti hyönteisten talvehtimiseen, ei ole huomioitu. Usein ennustemallit myös edustavat suuria alueita, kuten maanosaa tai useita maita, jolloin paikallisten olosuhteiden ja toimien huomioiminen jäävät huomioimatta. **On huomioitavaa, että ilmastonmuutoksen vaikutukset vektorivälitteisiin taudinaiheuttajiin ovat hitaita, ja niitä on vaikea erottaa muiden muuttujien vaikutuksista.**³⁰⁶ Ajantasaista tutkimustietoa tarvitaan jatkuvasti ja sitä saadaan lähivuosina mm. Suomen Akatemian CLIHE-tutkimusohjelman hankkeista.³⁰⁷

Suomessa esiintyvien vektorivälitteisten tartuntatautien lisäksi suomalaisten matkailijoiden terveyteen vaikuttavat myös muualla maailmassa esiintyvät trooppiset tartuntataudit, joiden esiintyvyyteen ilmastonmuutos voi aiheuttaa suuria muutoksia niin maantieteellisesti kuin tapausmäärällisestikin.

6.8.3 Epäsuorat terveysvaikutukset

Ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän siitepölyallergiaoireita, koska monien kasvilajien siitepölykausi aikaistunee sekä Suomessa, että alueilla, joilta siitepölyä kulkeutuu. Lisäksi siitepölykausi voi pidentyä ja siitepölymäärä kasvaa.³⁰⁸ Koivun siitepölykauden on jo havaittu aikaistuneen ja siitepölymäärien lisääntyneen.³⁰⁹ Suomeen vähitellen leviävät vieraslajit voivat myös lisätä siitepölyoireita, esimerkkinä marunatuoksukki. Toinen terveyden kannalta merkityksellinen vieraslaji, joka on jo levinnyt Suomeen ja jatkaa leviämistä, on jättiputki.

304 [European Climate and Health Observatory, 2021](#)

305 [Uusitalo ym., 2021](#)

306 [Amato ym. 2022](#)

307 [Suomen Akatemia, n.d.](#)

308 [Pacheco ym. 2015](#)

309 [Saarto, 2015](#)

Haitallisia vaikutuksia ihmisten terveydelle ja kasvillisuudelle aiheuttavat alailmakehän otsonipitoisuudet kasvavat ilmaston lämpenemisen myötä monella alueella myös Euroopassa. Ilmastonmuutoksen myötä Pohjois-Suomeen saattaa kulkeutua aiempaa enemmän elohopeaa ja pysyviä orgaanisia yhdisteitä, mikäli jo kierrosta poistuneita aineita vapautuu kiertoon esimerkiksi jäätiköiden sulaessa. Ilmastonmuutos vaikuttaa myös metsäpaloihin, jotka ovat pahentuneet monella alueella, kuten Etelä-Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Australiassa.^{310, 311} Ilman ja ympäristön epäpuhtauksien sekä metsäpalojen seuranta ovat tärkeitä sopeutumiskeinoja, jolla voidaan tarkkailla tilanteen mahdollista muuttumista ja mahdollisesti ehkäistä sitä.

On mahdollista, että ilmaston lämpeneminen muuttaa ihmisten käyttäytymistä ja lisää suomalaisten ajanviettoa ulkona. Tämä toisaalta edistää terveyttä ja hyvinvointia, jos samalla fyysinen aktiivisuus ja D-vitamiinin tuotanto kehossa lisääntyvät, toisaalta se lisää altistumista UV-säteilylle, mikä voi lisätä ihosyöpiä³¹² ja kaihia ilman riittävää suojautumista. UV-indeksistä ja UV-säteilyltä suojautumisesta tiedottaminen auttavat sopeutumaan mahdollisesti muuttuvaan tilanteeseen. Lisääntyvän ulkoilmaelämän sosiaalisia vaikutuksia on toistaiseksi vaikea ennakoida, mutta on mahdollista, että ihmisten elämäntyyli polarisoituvat tai ainakin erilaistuvat näiden muutosten seurauksena. Asuinympäristöjen tarjoamiin mahdollisuuksiin tässä suhteessa on syytä kiinnittää huomiota.

Ilmastomuutoksella on vaikutuksia ympäristössä ja sisäilmassa esiintyvään radioaktiivisuuteen. Sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron pienenemisen seurauksena radonvuodot asuntoihin voivat pienentyä. Lämpötilaeron pieneneminen vaikuttaa radonpitoisuuteen eniten painovoimaisen ilmanvaihdon taloissa. Toisaalta, jos painovoimainen ilmanvaihto huononee, lämpötilaeron pienenemyssä, se voi kasvattaa radonpitoisuutta. Lisäksi maaperän vesipitoisuuden nousu talven vesisateiden takia ja ylipäättään sateiden lisääntyminen voivat kasvattaa radonpitoisuuksia.³¹³

Ilmastonmuutoksen vuoksi tulvien ja mahdollinen myrskyjen yleistyminen voivat lisätä onnettomuustilanteita. On kuitenkin todennäköistä, etteivät ne Suomessa ole yhtä yleisiä tai yhtä äärimmäisiä kuin monella muulla alueella maailmassa. Voimakkaista myrskyistä voi silti aiheutua henkilövahinkoja mm. puiden kaatumisen ja muiden onnettomuuksien seurauksena.

310 Xu ym., 2020

311 Kollanus ym., 2017

312 Piacentini ym., 2018

313 Sosiaali- ja terveysministeriö, 2020

Sään ääri-ilmiöt vaikuttavat terveyteen myös liukastumis- ja liikenneonnettomuuksien lisääntymisen kautta. Ilmastomuutoksen myötä liukkaan kelin päivät yleistyvät suuressa osassa Suomea, kun lämpötila vaihtelee useammin nollan molemmin puolin.^{314, 315} Tämän vuoksi joka talvi kymmenet tuhannet suomalaiset hakeutuvat liukastumistapaturmien vuoksi lääkäriin hoitoon.³¹⁶ Liukastumistapaturmien määrästä Suomessa on raportoitu mm. liikenne- ja viestintäministeriön selvityksessä ja ”Suomalaiset tapaturmien uhreina 2009 – Kansallisen uhritutkimuksen tuloksia” -työpaperissa.^{317, 318} Lääkärikäyntiä vaativista liukastumistapaturmista suurin osa tapahtuu työikäiselle väestölle³¹⁹, ja ilmastomuutoksen myötä talvella lisääntyvä liukastumisriski onkin merkittävä työkyky- ja työturvallisuusasia Suomessa tulevana vuosina.

Tarttuvien tautien aiheuttamat epidemiat ja pandemiat ovat ajoittain uhkana koko maailman terveydelle.^{320, 321, 322} Uusien tartuntatautien riski on ajan saatossa kasvanut ennen kaikkea kotieläintalouden teollisen tuotannon volyymin kasvaessa ja suurenevan väestötiheyden vuoksi, mitkä lisäävät riskiä villieläinten taudinaiheuttajien siirtymiselle kotieläimiin ja ihmisiin. Myös mikrobilääkkeiden käyttö tuotantoeläimillä ja ihmisillä lisää riskiä lääkkeille vastustuskykyisten taudinaiheuttajien syntymiselle. Lisäksi ilmastomuutoksen on havaittu lisäävän taudinaiheuttajien esiintymistä.^{323, 324, 325}

Koska ilmastomuutos voi osittain kiihdyttää taudinaiheuttajien ja tautien leviämistä, WHO lisäsi vuonna 2018 näiden tautien listaan ”Tauti X” (”Disease X”) ennalta tuntemattomalle tautiuhalle.³²⁶ Ihmisten laajamittainen kansainvälinen liikkuvuus

314 [Pilli-Sihvola ym., 2018](#)

315 [Kettunen & Meriläinen 2023](#)

316 [Kettunen & Meriläinen 2023](#)

317 [Malin ym. 2022](#)

318 [Haikonen & Lounamaa \(toim.\), 2010](#)

319 [Rantala & Pöysti, 2015](#)

320 [Simpson ym., 2020](#)

321 [Morse ym., 2012](#)

322 [Wu ym., 2016](#)

323 [Jones ym., 2008](#)

324 [IPBES, 2020](#)

325 [Kuhn ym., 2020](#)

326 [WHO, 2018](#)

on ollut merkittävin tekijä taudinaiheuttajien ja tautien maailmanlaajuisessa leviämisessä, kuten tapahtui myös COVID-19-pandemiassa. Ilmastonmuutokseen liittyvä muuttoliike voi siten vaikuttaa tartuntatautien esiintymiseen väestössä.³²⁷

6.8.4 Mielenterveys

Ilmastonmuutos lisää todennäköisesti masennusta ja mahdollisesti itsemurhakuolemia sekä ahdistuneisuutta.^{328, 329, 330} Haasteet syntyvät eri vuodenaikoina ilmastonmuutoksen takia eri tavoin muuttuvasta auringonsäteilystä.³³¹ Suomalaisissa aineistoissa tutkimusta on tehty vielä vähän. Mielenterveysvaikutuksia ilmenee myös välillisesti sään ääri-ilmiöiden yleistymisen seurauksena mm. hellejaksojen aikana, jolloin mielenterveysongelmista kärsivien fyysinen ja psyykkinen sairastavuus lisääntyy.^{332, 333} Hengitys-, sydän- ja verenkiertoelimistön rasitus voimistuu, univelka kasvaa ja palautuminen on hitaampaa, jos elimistö ei yölläkään pääse jäähtymään. Lämpötilan lisäksi myös valon määrällä on merkitystä.

Suomessa ilmastonmuutos vähentää talvikuukausina lisääntyvän pilvisyyden ja lyhenevän lumipeiteajan takia ulkoilman valoisuutta. Talvien pimentyminen voi johtaa entisestään yleistyviin kaamosoireisiin, joilla on useita suoria vaikutuksia hyvinvointiin. Pimeys vaikuttaa ihmisen sisäisen kellon säätelyyn. Lisäksi etenkin lihominen toistuvasti aina talven aikana voi jo muutamassa vuodessa johtaa huomattaviin terveyshaittoihin, jotka heijastuvat välillisesti työkykyyn ja kokonaisuutena kansantalouteen. Kaamosmasennuksen osuus kaikista mielialahäiriöistä on noin kymmenesosa, minkä perusteella vaikutukset voivat kokoluokaltaan nousta jopa 800 miljoonaan euroon vuosittain.³³⁴

327 Gushulak ym., 2009

328 Berry ym., 2018

329 Burke ym., 2018

330 Gammans, 2020

331 Ruuhela ym., 2012

332 Zander ym., 2015

333 Parks ym., 2020

334 Laine ym., 2018

Marras–maaliskuun välillä niukka valo saattaa olla myös itsemurhille altistava tekijä, sillä mitä vähemmän ulkona on auringonsäteilyä, sitä runsaammin itsemurhakuolemia talvikuukausina on. Miehet voivat ovat herkempiä auringonsäteilyn vaihtelulle kuin naiset, sillä miesten itsemurhayritysten riskin on havaittu kasvavan, kun ilmanpaine laskee ja naisten, kun ilmanpaine kohoaa.^{335, 336}

Osalla väestöstä ilmastonmuutos aiheuttaa ympäristö- tai ilmastoahdistusta.³³⁷ Käytännössä kyse on sekä ahdistusoireista että muista ilmentymistä. Ilmastokriisi voi aiheuttaa merkittävän paljon stressiä, epätoivoa ja alakuloisuutta. Pohjoismaissa on viime vuosina toteutettu sekä haastattelu- että kyselytutkimuksia, joissa on kartoitettu ilmastoahdistuksen muotoja.³³⁸ Näissä tutkimuksissa on havaittu sekä merkittävä määrä erilaista ilmastoahdistusta, että samoja voimakkaalle ilmastoahdistukselle altistavia tekijöitä kuin kansainvälisissä tutkimuksissa. Tietyt ominaisuudet, sosiaaliset tekijät ja elämänpolut tuottavat keskimääräistä suurempaa haavoittuvuutta voimakkaalle ilmastoahdistukselle.

Ilmastoahdistuksen, pimeään liittyvän oireilun ja esim. lumen puutteen aiheuttaman talviliikuntamahdollisuuksien vähenemisen yhteisvaikutus suomalaisten työ- ja toimintakykyyn voi olla merkittäväkin. Mielenterveyden huomioiminen ja yhteiskunnan ja yksilöiden resilienssin vahvistamisen varmistaminen liittyy myös moniin muihin ilmiöihin, kuten esimerkiksi pakolaisuuteen liittyviin posttraumaattisiin stressireaktioihin.

6.8.5 Terveydenhuolto

Sen lisäksi, että ilmastonmuutokseen liittyvät ilmiöt vaikuttavat suoraan kansalaisten terveyteen ja hyvinvointiin, ne voivat vaikuttaa myös terveydenhuollon ja sitä tukevien yhteiskunnallisten rakenteiden toimivuuteen.

Terveydenhuollossa tulee ottaa huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset terveyspalvelujen tai neuvonnan tarpeeseen, joita voi aiheutua väestön sairauskirjon tai ympäristöolosuhteiden muuttumisesta.³³⁹ Esimerkiksi hellejaksoihin liittyvät terveyshaitat tai liukkaasta kelistä koituvat tapaturmat voivat johtaa terveydenhuollon päivystysyksiköiden ruuhkautumisiin. Helteiden aikainen toimitilojen

335 Ruuhela ym., 2009

336 Ruuhela, 2018

337 Pihkala, 2019

338 Pihkala, 2021

339 Meriläinen ym. 2021

ylilämpeneminen on myös riski sairaaloiden potilasturvallisuudelle ja toiminnan jatkuvuudelle.³⁴⁰ Toisaalta ilmastomuutoksen aiheuttama väestön laajamittainen maahantulo vaikuttaisi väestön sosiaali- ja terveydenhuollon palveluiden tarpeeseen.³⁴¹

Useimmat ilmastomuutokseen liittyvät ilmiöt, kuten vektorivälitteisten tautien yleistyminen, ilmaston lämpenemiseen tai ilmaston ääri-ilmiöihin liittyvät terveys- ja tapaturmariskit,³⁴² etenevät hitaasti ja ovat ainakin osin ennakoitavissa. Ilmastomuutoksen mahdollisiin vaikutuksiin liittyvät myös muilla sektoreilla ja yleisesti yhteiskunnassa tapahtuvat asiat ja toteutetut sopeutumis- ja torjuntatoimet, jotka edellyttävät sopeutumista myös terveydenhuollossa.³⁴³

Ilmastomuutoksen on ennustettu voimistavan terveysriskejä sekä globaalisti että Suomessa. Systeemitasolla ilmastomuutoksen aiheuttamat uhat väestön terveydentilalle Suomessa ovat todennäköisesti ainakin lyhyellä aikavälillä sosiaali- ja terveydenhuollon keinoin suurelta osin hyvin hallittavissa. Lisääntyvien riskien ehkäiseminen kuitenkin edellyttää, että sosiaali- ja terveydenhuolto varautuu ja sopeutuu muutoksiin ajoissa. Suomessa on laaja julkinen sektori, mikä helpottaa sopeutumista, kun toimivat sopeutumisen mallit ja ohjeistukset voidaan ottaa käyttöön eri puolilla maata ja niitä pystytään soveltamaan paikalliset olosuhteet huomioiden. Vaikka sosiaali- ja terveysministeriö on koonnut sosiaali- ja terveyssektorin ilmastomuutokseen sopeutumisen suunnitelman, joka ulottuu vuoteen 2031,³⁴⁴ Suomesta puuttuu velvoittavaa ohjeistusta ja lainsäädäntöä sopeutumisen toimeenpanemiseksi.

Sosiaali- ja terveydenhuoltoon liittyvien ilmastomuutoksen heijastevaikutusten laatua ja suuruutta on vaikea ennustaa, koska ne riippuvat yhteiskuntien ja kansalaisten reaktiosta ympäristöongelmiin ja niiden hillintään. Tästä hyvä esimerkki on COVID-19-taudin aiheuttama pandemia, jonka ehkäisy- ja rajoitustoimista on koitunut suuria itse taudista riippumattomia yhteiskunnallisia vaikutuksia. Ilmastomuutoksen heijastevaikutukset terveydenhuollossa liittyvät etenkin Suomen ulkopuolella tapahtuviin ilmiöihin, jotka voivat vaikuttaa mm. ihmisten liikkumiseen ja lääkkeiden saatavuuteen.³⁴⁵

340 Kollanus ym., 2023

341 Meriläinen ym., 2021

342 Halonen ym. 2023

343 Meriläinen ym. 2021

344 Meriläinen ym. 2021

345 Meriläinen ym. 2021

Eri ympäristöongelmat ja niiden ehkäisytoimet liittyvät toisiinsa. Ongelmat ja niiden torjunta näkyvät terveydessä, hyvinvoinnissa ja palveluiden tarpeessa. Sosiaali- ja terveydenhuoltosektori joutuu osaltaan korjaamaan tapahtuvien asioiden seuraamuksia. Sosiaali- ja terveydenhuoltosektorin toiminta on riippuvainen yhteiskunnan resursseista ja resurssien jaosta sekä yhteiskunnan yleisestä infrastruktuurista ja varautumistoimista: ravintotuotanto ja vesihuolto, jätehuolto, liikkumisväylät ja kuljetusvälineet, sähkö ja muu energia, Internet ja muu digitaalinen infrastruktuuri.

6.8.6 Sosiaalihuolto

Erityisesti sosiaalihuollon hoivayksiköissä, joissa hoito ja kuntouttava toiminta ovat jatkuvaa, palvelua tuottavalla (tai sitä ostavalla) julkisen sektorin toimijalla on suuri vastuu siitä, etteivät olosuhteet helteiden tai muiden sään ääri-ilmiöiden aikana muodostu terveydelle haitallisiksi tai kohtuuttoman epämukaviksi. Hoivayksiköissä asutetaan haavoittuvia ryhmiä, ja heillä on vain vähän mahdollisuuksia vaikuttaa elinolosuhteisiinsa. Noin joka viides suomalainen käyttää sosiaalipalveluita vuosittain.

Kunnallista kotipalvelua voivat saada yksin elävät ja perheet arkipäivän askareista selviytymiseen. Haavoittuvuutena alalla on henkilöstöpula, mikä aiheuttaa merkittävän riskin ilmastonmuutoksen sopeutumistoimien toimeenpanon toteutumiselle.

6.9 Yleinen teollisuustuotanto

Suomalainen teollisuus on energiantensiivistä, ja ilmastonmuutoksen hillitseminen on ollut teollisuuden painopisteenä. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja tarve sopeutua sen vaikutuksiin eivät ole olleet keskeisessä asemassa keskustelussa.

Ilmastonmuutos aiheuttaa vaihtelevia riskejä teollisuustoiminnalle Suomessa.

Esimerkiksi tulvien ja myrskyjen aiheuttamat häiriöt teollisuustuotannossa voivat olla merkittäviä, ja harvinaisen suuret tulvat voivat aiheuttaa joillekin teollisuustoiminnoille suuria riskejä, varsinkin jos toiminnan häiriöt pitkittyvät. Luonnonilmiöt, kuten tulvien, myrskyjen ja kuivuuden vaikutukset voivat aiheuttaa riskejä teollisuuden vesi- ja jäähdytysvesihuoltoa tarvitsevalle teollisuudelle.

Ilmastomuutoksen merkittävimmät vaikutukset Suomen teollisuustoimintaan ja kaupankäyntiin ovat kuitenkin todennäköisesti välillisiä. Tällaisia epäsuoria riskejä aiheutuu ilmastomuutoksen globaaleista vaikutuksista tai muilla sektoreilla Suomessa.

Merkitykselliset riskit vaihtelevat toimialan, arvoketjujen ja toiminnan sijainnin mukaan. Esimerkiksi ilmastomuutoksen vaikutukset Suomen liikenne- ja energia-sektoreilla voivat vaikuttaa välillisesti teollisuuden toimintaan ja kaupankäyntiin logistiikan ja sähkökatkojen kautta.

Arvoketjut ovat avainasemassa, kun tarkastellaan suomalaisten teollisuudenalojen haavoittuvuutta ilmastomuutoksen välillisille vaikutuksille. Globaalit heijastevaikutukset Suomen teollisuuteen määräytyvät teollisuuden arvoketjujen ja -verkkojen mukaan. Haavoittuvimpia heijastevaikutuksille ovat ne teollisuudenalat ja yritykset, joiden arvoketjujen kriittiset kohdat helposti altistuvat ilmastomuutoksen vaikutuksille Suomen rajojen ulkopuolella. Jos toiminnot näissä solmukohdissa ovat herkkiä esimerkiksi sään ääri-ilmiöille, heijastevaikutuksen riski voi realisoitua voimakkaana.³⁴⁶ Tällaiset häiriöt voivat vaikuttaa raaka-aineiden hintaan ja saatavuuteen ja siten vaikuttaa sekä teollisuuden toimintaan että kaupankäyntiin.

6.10 Kaivostoiminta

Kaivostoiminnassa vesienhallinnan merkitys korostuu ilmastomuutoksen edetessä. Erityisesti rankkasateiden kasvun myötä kaivosten vedenhallinnan riskit voivat lisääntyä. Sademäärien lisääntyessä kaivoksille voi aiheutua ongelmia vedenhallinnassa, ja sen vuoksi ympäristölle ja ihmiselle haitallisia aineita ja luonnon radioaktiivisia aineita voi päästä ympäristöön aikaisempaa enemmän. Historiallisen aineiston valossa veden hallinnan vaikeudet ovat aiheuttaneet kaivoksissa valtaosan poikkeustilanteista.³⁴⁷

Vuonna 2014 julkaistussa Kaivosten ympäristöturvallisuus -raportissa³⁴⁸ korostetaan mitoitustulvien huomioimisen merkitystä. Raportissa ei kuitenkaan ole tarkasteltu ilmastomuutoksen mahdollista vaikutusta mitoitustulviin, jotka perustuvat

³⁴⁶ Tuomenvirta ym., 2018

³⁴⁷ Tuomenvirta ym., 2018

³⁴⁸ Ympäristöministeriö, 2014

arvioihin keskimäärin kerran sadassa vuodessa (1 %:n vuosittainen todennäköisyys) esiintyvistä tulvista. Vastaavaa kokoavaa tarkastelua ei ole tehty ympäristölupiin sisältyvistä riskiarvioista.³⁴⁹

6.11 Vakuutustoimi

Ilmastomuutosriskien suoria ja välillisiä kustannuksia Suomelle on tutkittu Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan rahoittamassa KUITTI-hankkeessa. Tämä kappale kertoo kokonaisuudessaan hankkeen loppuraportin³⁵⁰ tuloksia.

Ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit yksityiselle sektorille ja talouteen voidaan jakaa kahteen luokkaan:

1. siirtymävaikutukset ja
2. fyysiset, suorat vaikutukset.

Siirtymävaikutukset aiheutuvat pääasiassa omaisuuserien hinnan muutoksista, jotka johtuvat hiilineutraalimpaan yhteiskuntaan siirtymisestä, eikä niitä siten käsitellä tämän suunnitelman yhteydessä.

Ilmastomuutokseen liittyvät taloudelliset vaikutukset jaetaan äkillisiin ja pysyviin vaikutuksiin. Äkilliset vaikutukset ja tappiot johtuvat vahinkoa aiheuttavien sääilmiöiden ja katastrofien suorista vaikutuksista. Krooniset vaikutukset ja tappiot syntyvät ilmaston pitkäaikaisista muutoksista, esimerkiksi merenpinnan noususta. Molemmat voivat johtaa taloudellisen toiminnan tehokkuuden muuttumiseen, sillä talouden tuottavuudessa tapahtuu muutoksia toimintaolosuhteiden muuttuessa.

Pääosa muutoksesta on haitallista ja alentaa tuottavuutta, mutta ilmastomuutos voi myös tarjota mahdollisuuksia tuottavuuden parantamiseen esimerkiksi maataloudessa. Äkilliset ja pysyvät riskit voivat johtaa myös pääoman ja tuotannon tekijöiden arvon menetykseen, siksi että pääoma tuhoutuu kokonaan tai siksi että pääoman kyky mahdollistaa tehokasta toimintaa alenee.

³⁴⁹ Tuomenvirta ym., 2018

³⁵⁰ Perrels ym., 2022

Ilmastomuutoksen taloudellisten vaikutusten arviointi on mutkikasta useiden epävarmuustekijöiden vuoksi. Kansantaloudellisten vaikutusten arvioiminen sisältää suuria epävarmuuksia muun muassa sen vuoksi, että muutos on ainutkertainen tapahtuma moderneissa yhteiskunnissa. Epälineaaristen vaikutusten ja peruuttamattomien kynnysten vuoksi historiallisilla havainnoilla on vähäinen kyky ennustaa tulevaa, erityisesti jos ilmastomuutoksen hillintätoimissa ei onnistuta.

Osa epävarmuuksista voidaan käsitellä skenaariovaihtoehtojen avulla. Vaikka ilmastomuutoksen kehityspolku ja sosioekonominen kehitys (bruttokansantuote, väestö) on määritetty, jäljelle jää useita epävarmuustekijöitä ilmastomuutoksen voimakkuuksien, koettujen aineellisten vaikutusten (vahinko tai hyöty) sekä taloudellisten vaikutusten (välittömät kustannukset tai hyödyt sekä (lopulta) makrotaloudelliset vaikutukset) johdosta. Ilmastomuutoksen vaikutukset voivat johtaa seurauksiin, jotka voivat jakautua epätasaisesti eri toimijoille esimerkiksi vahingoittaa yhtä, mutta hyödyttää toista, jolloin kokonaistaloudellinen nettovaikutus voi olla lähes nolla. Näihin vaikutusketjuihin vaikuttavat monet muutkin asiat, kuten luonnon ja talouden pääoman kunto sekä vakuutusten kattavuus.

Epävarmuuksista huolimatta joitain taloudellisia vaikutusketjuja voidaan arvioida laadullisesti. Lämpötilan nousun arvioidaan vaikuttavan jatkossa tuotantokapasiteettiin ja tuottavuuteen erityisesti maa- ja metsätaloudessa, kuljetuksissa ja energiantuotannossa ja muuttavan turismivirtoja. Tarjonnan ja kysynnän muutoksista aiheutuvat hintasuhteiden muutokset vaikuttavat eri toimialojen kannattavuuteen ja investointeihin.

Taloukasvun hidastuminen vaikuttaa myös kansainvälisen kaupan määrään. Vaikutukset tapahtuvat sekä Suomessa että maailmanlaajuisesti. Yksityisen kulutuksen määrä vähenee, jos varallisuuden menetykset ovat suuria. Myös yrityksille syntyy taloudellisia tappioita, mutta investointien muutosta on vaikeampi ennakoita, koska vahingot lisäävät tarvetta tuotantokapasiteetin uudelleenrakentamiseen.

Merkittävä taloudellinen kysymys on, miten vahinkojen kustannukset jakautuvat yksityisen ja julkisen sektorin kesken. Esimerkiksi liikenneyhteyksien rapautuminen aiheuttaa julkiselle sektorille korjauskustannuksia ja yksityiselle sektorille kustannuksia toimitusten viivästymisistä, tai vaihtoehtoisen reitin käytöstä. Äärimmäisten sääilmiöiden yksityiset taloudelliset vaikutukset riippuvat merkittävästi siitä, onko vahingon kohde vakuutettu. Vakuutettujen kohteiden vahingoilla on luonnollisesti seurauksia myös vakuutussektorille. Suurimmat vaikutukset rahoitusmarkkinoiden vakaudelle ja talouden kehitykselle tulevat kuitenkin vakuuttamattomista tappioista. Vakuuttamattomiin kohteisiin osuvat vahingot voivat kaksin- tai kolminkertaistua alkuperäisestä vahingosta johtuen toimijoiden

puutteellisesta kyvystä toipua vahingoista. Osa vakuuttamattomista tappioista saat-
taa tulla pankeille, esimerkiksi silloin kun katastrofi vaikeuttaa lainojen takaisinmak-
sua ja/tai lainan vakuutena olevaa reaaliomaisuutta.

Toisin kuin monissa muissa EU-maissa, Suomessa valtio ei korvaa poikkeavista sääolosuhteista aiheutuneita vahinkoja lainkaan. Siten yksityisen vakuutus-
sektorin altistuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksille on Suomessa korkeampi.
Poikkeuksellisten tulvien aiheuttamia rakennus- ja irtaimistovahinkoja on kor-
vattu vuoden 2014 alusta alkaen vain kotivakuutuksiin kuuluvasta tulvaturvasta.
Samoin maatalouden satovahinkojen korvaamisessa on siirrytty valtion rahoitta-
masta korvausjärjestelmästä vakuutus pohjaiseen järjestelmään vuoden 2016 alusta
lähtien. Vakuutusyhtiöiden ilmastonmuutoksesta aiheutuva riski riippuu muuttu-
van ilmaston ja sen lisäämän epävarmuuden lisäksi vakuutuskattavuudesta sekä
vakuutus sopimusten pituudesta ja muista vakuutusehdoista. Sääilmiöt ovat näky-
neet Suomen vahinkovakuutuksissa. Esimerkiksi vuoden 2010 rajuilmoista aiheutui
merkittäviä taloudellisia vaikutuksia. Vaikka rajuilmojen ei arvioida muuttuvan lähi-
vuosikymmeninä merkittävästi, ilmastonmuutos voi vaikuttaa muuta kautta omai-
suus- ja henkivakuutusten alaisiin asioihin.

Suomessa vähittäiset muutokset lämpötilassa ja sademäärissä vaikuttavat talouteen arvioiden mukaan enemmän kuin satunnaiset sään ääri-ilmiöt, sillä Suomi kykenee elpymään sään ääri-ilmiöiden seurauksista nopeasti. Ilmaston-
muutoksen suorat vaikutukset kansantalouteen tulevat vähitellen. Vaikutusten pit-
kän aikavälin kustannuksiin vaikuttaa olennaisesti se, miten muutoksen globaalissa
hillinnässä ja paikallisessa varautumisessa ja sopeutumisessa onnistutaan. Ilmaston-
muutoksen vaikutus Suomen bruttokansantuotteeseen on lyhyellä aikavälillä
rajallinen, mutta ei merkityksetön. Vaikutus voi myös kasvaa merkittävästi, jos
ilmastonmuutoksen keikahduspisteet ylitetään.

Ennakoivan ja ennaltaehkäisevän sopeutumisen arvioidaan vähentävän ilmastonmuutoksen aiheuttamia menetyksiä tehokkaammin kuin reaktiivisen sopeutumisen. Ilmastonmuutos voi aiheuttaa Suomelle merkittäviä taloudellisia
vaikutuksia ja pysyviä makrotaloudellisia tappioita, erityisesti jos hillintäpolitiikassa
ei onnistuta eikä sopeutumistoimia lisätä nykyisestä tasosta. Ennakoivan ja ennalta-
ehkäisevän strategian tuomien kumulatiivisten hyötyjen arvioidaan Suomessa
säästävän vuosina 2040–2070 noin 5–8 miljardia euroa reaktiiviseen strategiaan ver-
rattuna ilmastoskenaariosta riippuen.

Suomen kansantalouden ja julkisen talouden kannalta hillintätoimet ja niihin liitty-
vät hintamuutokset ja teknologian kehittyminen ovat vielä kuluva vuosikymme-
nen aikana näkyvämpiä kuin ilmastonmuutoksen suorat taloudelliset vaikutukset.

6.12 Matkailu

Suomi on kansainvälisesti houkutteleva matkailukohde lähinnä luontonsa vuoksi. Riippuvuus luonnosta ja vuodenaikojen vaihtelusta tekee matkailusta ja virkistyskäytöstä alttiita ilmastonmuutokselle. Pitkällä aikavälillä ilmastonmuutoksella on merkittäviä vaikutuksia etenkin arktisen alueen luontoon, ja ilmastonäkökohdat saattavat vaikuttaa myös yksilöiden matkustusvalintoihin.

Tietoisuus ilmastonmuutoksesta ja kyky sopeutua siihen on parantunut matkailuyritysten keskuudessa. Matkailukohteen luonne ja sen taloudellinen merkitys alueella sekä alueen sosiaaliset ja yhteisölliset piirteet määrittelevät, kuinka haavoittuvainen alue on ilmastonmuutokselle matkailukohteenä. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia matkailutoimialalle koottiin kattavasti FINADAPT-tutkimushankekokonaisuudessa.³⁵¹

Talvimatkailu ja lumeen perustuvat aktiviteetit, kuten maastohiihto, laskettelu, moottorikelkkailu ja pilkkiminen ovat erityisen alttiita ilmastonmuutokselle. Talvilajien harrastusmahdollisuudet tulevat heikkenemään etenkin Etelä- ja Länsi-Suomessa, erityisesti rannikkoalueilla. Ainakin lähitulevaisuudessa pohjoisen hiihtokeskukset voivat kuitenkin hyötyä suhteellisen hyvistä lumiolosuhteista verrattuna Keski-Euroopan tai Etelä-Suomen hiihtokeskuksiin. Talvimatkailu on haavoittuvainen muuttuvalle ilmastolle, koska se on hyvin riippuvainen luotettavista talviolosuhteista.

Keskeisten muutosten vaikutuksia on jo havaittu: lumiolosuhteet ovat heikentyneet, mukaan lukien lumipeitepäivien määrä, mikä näkyy erityisesti lumipeitteen saapumisen viivästymisenä alkuvuodesta. Tämä vaikuttaa jo nyt talvimatkailuun erityisesti maan eteläosissa. Ilmastonmuutoksen aiheuttamisen lämpötilojen ja sademäärien vaihteluiden vuoksi myös lumivyöryjen mahdollisuus tulevaisuudessa lisääntyy. Talvimatkailun osalta entistä parempi tiedotus lumivyöryriskeistä ja varautuminen niihin kuuluu jatkossa ilmastonmuutoksen sopeutumistoimiin.

Tulevassa ilmastossa lumipeitepäivät vähenevät entisestään kauden aikana, erityisesti kauden alussa. Talven alun pitkien viivästysten odotetaan yleistyvän tulevaisuudessa, mikä asettaa haasteita joului- ja muulle arktiselle luontomatkailulle, kuten laskettelulle ja muille talviurheilulajeille.

351 Sievänen ym., 2010

Sopeutumistoimenpiteet, kuten lumen varastointi ja lumetus voivat kuitenkin olla tulevaisuudessa liian kalliita ratkaisuja toimiakseen talvien lämmitessä. Toimenpiteet aiheuttavat myös kasvihuonekaasupäästöjä, joiden suuruus riippuu käytetystä energialähteestä. Muita sopeutumistoimenpiteitä ovat vaihtoehtoiset toiminnot ja tekniset ratkaisut, kuten sisäurheiluareenat.

Lämpimämpi ja pidempi kesäkausi voi parantaa kesäurheilun ja monien vesistöihin perustuvien virkistysaktiviteettien edellytyksiä (esim. veneily, uinti ja kalastus). Toisaalta leväkukinnot lämpimissä vesissä tai lisääntyneet kesäsademäärät voivat vähentää tällaisten aktiviteettien vetovoimaa kesällä. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat sään ääri-ilmiöt, kuten ennätykselliset helteet ja metsäpalot, ovat jo muodostuneet ongelmaksi monissa Etelä-Euroopan maissa, joille matkailu on merkittävä elinkeino. Tämä voi tulevaisuudessa lisätä matkailijoiden kiinnostusta Suomea ja viileämpiä kesäkausiamme kohtaan.

6.13 Kulttuuriperintö- ja ympäristö

Ilmastonmuutos uhkaa kulttuuriperinnön ja kulttuuriympäristöjen säilymistä sekä suorasti että välillisesti. Olosuhteiden muuttuminen sekä äärimmäisten sääilmiöiden seuraukset kuten tulvat, metsäpalot ja eroosio voivat vaikuttaa niin rakennettuun kulttuuriympäristöön, arkeologisiin kohteisiin, kulttuurimaisemiin, perinnebiotooppeihin kuin aineettomaan kulttuuriperintöön.³⁵² Kulttuurin ilmastonmuutoksen seurauksena tapahtuvalla häviämisellä voi olla kielteisiä vaikutuksia mielenterveyteen.³⁵³

Ilmastonmuutos ja kulttuuriympäristö: Tunnistetut vaikutukset sekä hillinnän ja sopeutumisen edistäminen -julkaisun³⁵⁴ mukaan materiaalien rappeutumista ja kuormitusta lisäävät lämpötilan nousu, lämpötilan ja kosteuden sekä jäätymis-sulamisjaksojen vaihtelut kasvattavat tarvetta restauroinnille ja konservoinnille. Lämpötilan nousu ja esimerkiksi siitä johtuva tuhohyönteisten lisääntyminen lisäävät myös muun muassa rakennusperinnön korjaustarvetta ja muuttavat perinnebiotooppien sekä kulttuurimaisemien kasvu- ja lajiolosuhteita.

352 Euroopan komissio, 2022b

353 IPCC, 2022

354 Karilas ym., 2023

Lisääntyneet sademäärät ja kosteus sekä jäätymis-sulamissyklin tihentyminen vaikuttavat rakennetun kulttuuriympäristön, kulttuurimaisemien ja muinaisjäännösten säilymiseen, kun rakenteet haurastuvat, hule- ja tulvavesien sekä sisätilojen kosteuden hallinta vaikeutuu ja maaperän olosuhteet muuttuvat.

Ilmastomuutoksen hillintätoimenpiteet voivat aiheuttaa riskejä kulttuurihistoriallisille kohteille, kun uusiutuvia energiamuotoja otetaan käyttöön kulttuurimaisemassa, kulttuurihistoriallisesti arvokkaassa rakennuskannassa tai arkeologisten kohteiden lähellä. Myös esim. pitkät hellejaksot voivat aiheuttaa painetta korvata vanhan rakennuskannan painovoimaista ilmanvaihtoa koneellisella ilmastointijärjestelmällä. Korjaukset voivat uhata kulttuurihistoriallisten arvojen säilymistä, ellei niitä huomioida korjausten suunnittelussa ja toteutuksessa.

Merenpinnan nousu uhkaa erityisesti tulvariskialueiden kulttuuriympäristöä ja rakennetussa kulttuuriympäristössä eritoten kellareita ja perustuksia. Meriveden lämpötilan nousu, tuulisuuden lisääntyminen ja laivamatopopulaation kasvu puolestaan uhkaavat vedenalaista kulttuuriperintöä.

Ilmaston nopea lämpeneminen arktisella alueella uhkaa alueen alkuperäiskansojen kulttuuriperintöä, ja ilmastomuutos onkin jo vaikuttanut saamelaiden ympäristöön, elinkeinoihin, kulttuuriin ja kulttuuriperintöön.³⁵⁵ Vaikutuksia on esimerkiksi lumi- ja jääpeitteen vähenemisellä ja vaihtelulla.³⁵⁶

6.14 Pelastustoimi

Pelastustoimi varautuu tehtäviensä puolesta erilaisiin onnettomuuksiin ja häiriötilanteisiin sekä poikkeusoloihin. Onnettomuuden uhatessa tai tapahduttua ihmiset pelastetaan, tärkeät toiminnot turvataan ja onnettomuuden seurauksia rajoitetaan tehokkaasti niin, että ihmisille, omaisuudelle ja ympäristölle aiheutuvat haitat jäävät mahdollisimman vähäisiksi.

Pelastustoimen toimintaympäristöanalyysissä on tunnistettu, että ilmastomuutoksen mukanaan tuomat muutokset niin tehtävien laatuun kuin määrään edellyttävät sopeutumista. Ilmaston muuttuminen voi lisätä pelastustoimen tehtäviä ja sitoa pelastustoimen resursseja esimerkiksi tulvien ja metsäpalojen

³⁵⁵ Mattila (toim.), 2023

³⁵⁶ IPCC, 2022

lisääntymisen myötä. Toisaalta myös esimerkiksi leudontuvat talvet voivat toisaalla laskea liikenneonnettomuuksien määriä ja siten vähentää pelastustoiminnan palveluiden tarvetta.^{357, 358, 359}

Pelastustoimessa sään ääri-ilmiöitä on tarkasteltu muun muassa pelastustoimen tehtävämäärien kehityksen kautta. Esimerkiksi vahingontorjuntatehtävissä on nähtävissä tasaista kasvua vuosien 1996–2019 aikana, joskin tähän sisältyy runsasta vuosittaista vaihtelua.³⁶⁰ Suurin osa vahingontorjuntatehtävistä on seurausta luonnonilmiöistä (tuuli tai myrsky; tulva, sadevesi, kohonnut vedenpinta; alhainen vedenpinta; lumi ja jää; salama; pakkanen; maanvieremä; muu luonnollinen ilmiö). Näin ollen tehtävämääriin tilastollisia piikkejä aiheutuu esimerkiksi suurten myrskytuhojen seurauksena. Vuodenajoilla on Suomen sääolosuhteissa luonnollisesti huomattava merkitys erilaisten tehtävätyyppien esiintyvyyteen.³⁶¹

Kuten vahingontorjuntatehtävissä yleisesti, myös metsäpalojen ja muiden maastopalojen vuosittaisissa määrissä ja palaneessa pinta-alassa on huomattavaa vuosikohtaista vaihtelua. Vaikka eurooppalaisella tasolla maastopaloissa palaneen pinta-alan voidaan nähdä olevan kasvussa, Suomessa vastaavaa selkeää kasvutrendiä palaneen pinta-alan lisääntymisessä ei voida havaita. Suurin osa metsäpaloista ja muista maastopaloista on edelleen myös varsin pieniä palaneen pinta-alan jäädessä yleisesti alle 0,5 hehtaariin. Haasteen pelastustoimelle muodostavat suuret, useiden kymmenien hehtaarien alueelle levittyvät metsäpalot, jotka useimmiten sijaitsevat kaluston ja pelastushenkilöstön kannalta hankalasti saavutettavissa kohteissa, syrjäisemmillä alueilla. Nämä havaitaan usein myöhään, jolloin palo ehtii kehittyä pidemmälle. Niiden sammuttaminen on haastavaa pitkien matkojen ja maaston vuoksi. Tästä syystä ne myös usein pitkittyvät kestoaltaan.^{362, 363}

Lisääntyvät kuivuus- ja hellejaksot lisäävät laajojen metsäpalojen riskiä, joihin varautumista kehitetään pelastustoimessa. Pelastustoimen näkökulmasta haasteen muodostavat pitkittyneet ja laaja-alaiset onnettomuustilanteet kuten useampi yhtäaikainen ja laaja metsäpalotilanne. Kalajoen Raution kesän 2021 metsäpalojen jälkianalyysissä sekä Etelä-Karjalan pelastuslaitoksen tekemässä Taipalsaaren

357 Puustinen & Kekki, 2020

358 Backman ym., 2021

359 Hakala ym., 2021

360 Puustinen & Kekki, 2020

361 Vanha-Majamaa ym., 2021

362 Lindberg ym., 2021

363 Ketola, 2018

turvetuotantoalueen palon selvityksessä nostetaan molemmissa esiin pitkittyneen ja laajalle levinneen maastopalon mukanaan tuomia haavoittuvuuksia pelastustoimen toimintaan.^{364, 365, 366} Samoja teemoja on noussut esiin Pelastusopiston kahden metsäpaloihin keskittyneen kehittämishankkeen tuloksissa.^{367, 368, 369}

Sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen voi vaikuttaa myös EU:n pelastuspalvelumekanismiä kautta annettaviin kansainvälisiin avunanto- ja vastaanottotehtäviin ja niiden mahdolliseen yleistymiseen.³⁷⁰ Sääolosuhteiden ja säätietojen yhdistämisessä metsäpalojen leviämismallinnukseen ja sen kautta onnettomuustilanteen tilannekuvan parantaminen on yksi selkeä tulevaisuuden kehityssuunta.^{371, 372}

Yksi Keski- ja Etelä-Euroopassa sekä esimerkiksi Yhdysvalloissa pelastustoimea metsäpaloissa haastava tekijä on niin sanottu Wildland Urban Interface (WUI). Vaikka toistaiseksi Suomessa suuret metsäpalot keskittyvät syrjäisemmille alueille, ja Suomi on harvaan asuttu maa, tulisi tulevaisuudessa tarkemmin tutkia metsäpalojen leviämisen mahdollisuutta asutuskeskuksiin. Asutuskeskuksiin levitessään metsäpalo voi sytyttää rakennuspaloja, jotka edelleen hankaloittavat merkittävästi sammutustöitä. Urbaanille alueelle levitessään tilanteen vaikutukset voivat ketjuuntua ja kertautua, jos esimerkiksi palon leviäminen uhkaa kriittistä infrastruktuuria ja sen toimintaa tai jos palon leviäminen tai palosta johtuvat savuhaitat aiheuttavat ihmisille terveyshaittoja ja evakuointitarpeen. Myös sammuttajien ja metsäpalojen vaikutuspiirissä asuvien altistumista metsäpaloista vapautuville haitallisille yhdisteille on tutkittu vähän.

6.15 Maanpuolustus

Puolustusministeriön hallinnonala on tehtäviensä puolesta varautunut poikkeusoloihin ja erilaisiin yhteiskunnan häiriötilanteisiin. Näihin varaudutaan valmiussuunnittelulla ja turvaamalla maanpuolustuksen kannalta keskeiset

364 Etelä-Karjalan pelastuslaitos, 2021 (julkaisematon)

365 Puustinen, 2022

366 Aalto & Venäläinen, 2021

367 Laitinen ym., 2022

368 Puustinen, 2022

369 Aalto & Venäläinen, 2021

370 Puustinen & Kekki, 2020

371 MSB, 2018

372 Puustinen, 2022

toiminnot erilaisten skenaarioiden toteutuessa. Maanpuolustus tukeutuu kriisi-tilanteissa pääosin muun yhteiskunnan palveluihin ja niissä tapahtuvat häiriöt sekä muut vaikutukset heijastuvat suoraan tai välillisesti myös maanpuolustukseen. Ilmastomuutoksen vaikutukset turvallisuusympäristöön on erityisesti puolustus-hallinnon alalla huomioitavat riski.

Ilmastomuutoksen vaikutukset kuten lisääntyvät sään ääri-ilmiöt, lämpötilan nousu sekä muutokset sateisuudessa, pilvisyydessä ja talviolosuhteissa ovat myös maanpuolustukseen vaikuttavia tekijöitä. Maanpuolustukseen kohdistuvia ilmastoriskejä tarkastellessa toistuvat samat haavoittuvuudet ja ilmastoriskit kuin muualla yhteiskunnassa, liittyen rakennettuun ympäristöön, energiainfrastruktuuriin, tietoliikenteeseen, maa-, meri- ja ilmaliikenteeseen, logistiikkaan ja terveyteen. Näitä haavoittuvuuksia ja riskejä on käsitelty tässä raportissa muiden toimialojen alla.

Puolustushallinnon ilmastomuutokseen sopeutumisessa korostuu maanpuolustuksen kannalta kriittisten toimintojen ja kohteiden turvaaminen.

Ilmastomuutoksen vaikutusten ei arvioida lähitulevaisuudessa vaarantavan puolustusjärjestelmää, mutta alueelliset ja paikalliset vaikutukset voivat pahimmillaan vaarantaa tai haitata tiettyjä toimintoja. Alueellisia vaikutuksia, kuten vaikutuksia sotilaskohteiden energijärjestelmiin tai tulvariskialueilla sijaitseviin toimintoihin tulee kartoittaa yksityiskohtaisemmin ja toteuttaa tarvittavat sopeutumistoimet. Niillä parannetaan myös koko puolustusjärjestelmän toimivuutta.

Puolustusvoimien lakisääteisenä tehtävänä on muiden viranomaisten tukeminen. Tukipyynnöt voivat tulevaisuudessa liittyä nykyistä enemmän ilmastomuutoksesta johtuviin ilmiöihin. Puolustusvoimilla on tällä hetkellä monenlaisia kykyjä, joista on hyötyä erilaisissa yhteiskunnan häiriötilanteissa. Arviota ei ole tehty siitä, kuinka hyvin nämä kyvyt vastaavat tulevaisuudessa esimerkiksi ilmastomuutoksesta aiheutuviin virka-apupyyntötarpeisiin. Keskustelua ja arvioita tämän teeman ympärillä tulee käydä aktiivisesti.

Puolustusvoimien tehtävänä on myös kansainvälinen avunanto ja kriisinhallinta. Näihin tehtäviin voivat vaikuttaa ilmastomuutoksen voimistamat geopolitiittiset jännitteet. Ilmastomuutoksen voimistava vaikutus voi olla seurausta heikentyneistä elinoloista, luonnonvaroista käytävästä kilpailusta tai energiasiirtymän aiheuttamista valta-asemien muutoksista. Edellä mainituilla jännitteillä voi olla turvallisuustilanteeseen ja maanpuolustukseen heijastuvia vaikutuksia myös Suomessa.

Ilmastomuutoksen tuoma epävarmuus saattaa avata tilaisuuksia hybridi-vaikuttamiselle kuten sähköverkkojen häirinnälle myrskytuhojen korjaamisen vaikeuttamiseksi tai disinformaatiolle, millä voi olla jossain määrin vaikutusta myös puolustuskyvylle.³⁷³

6.16 Muuttoliike ja maahanmuutto

Ilmastomuutos lisää muuttoliikkeitä tulevana vuosikymmeninä muuttaen samalla maahanmuuton peruselementtejä todennäköisesti pysyvästi. Kymmenet tai mahdollisesti sadat miljoonat ihmiset joutuvat lähtemään kotiseudultaan ilmastomuutokseen liittyvien syiden vuoksi. Suurin osa muuttaa kotimaansa sisällä, mutta osa joutuu lähtemään kauemmaksi. Liikkeelle työntävänä tekijänä voivat olla äkilliset sään ääri-ilmiöt, kuten tulvat tai myrskyt, mutta myös hitaammin etenevä elinolosuhteiden heikkeneminen, kuten keskilämpötilan kohoaminen tai merenpinnan nousu.

Ilmastomuutos kytkeytyy useisiin muihin maahanmuuton juurisyihin (väestönkasvu, köyhyys, työttömyys, näköalattomuus, sodat ja konfliktit) **ja voimistaa muuttoliikkeiden työntekijöitä.** Ilmastomuutoksen vaikutukset iskevät erityisesti kehittyviin talouksiin, joilla ei ole kapasiteettia tai mekanismeja ilmastomuutoksen vaikutusten ehkäisyyn ja jotka jo nyt painivat monenlaisten sosiaalisten ja taloudellisten ongelmien kanssa.

Eurooppa sijaitsee lähellä Lähi-idän ja Pohjois-Afrikan kriisialueita, jotka ovat samanaikaisesti erittäin haavoittuvaisia ilmastomuutoksen suhteen sekä tarjoavat vain vähän taloudellisia mahdollisuuksia kasvavalle väestölle. Muutto Eurooppaan ja Suomeen tapahtuu useiden sääntöjenmukaisten ja sääntöjenvastaisten muuttoreittien kautta. Ilmastomuutoksen vuoksi muuttamaan joutuvat ihmiset voivat käyttää molempia reittejä.³⁷⁴

Vaikka EU:n näkökulmasta ilmastomuutoksen suurimmat vaikutukset kohdistuvat etelään, ilmiön epäsuorat vaikutukset Suomeen voivat olla suuria esimerkiksi EU:n koheesion heikkenemisen kautta. Pidemmällä aikavälillä Suomesta voi muodostua houkutteleva kohde niille, joiden elinympäristö muuttuu elinkelvottomaksi ilmastomuutoksen vuoksi.

³⁷³ Hakala ym., 2021

³⁷⁴ Prokkola ym., 2021

Ilmastomuutoksen aiheuttama muuttoliikkeiden kasvu ja niiden hallinta edellyttää EU:lta entistä vahvempaa yhteistä maahanmuuttopolitiikkaa.

On myös huomattava, että ympäristön muutosten tai ympäristökatastrofien takia pakeneminen ei kuulu niihin perusteisiin, joiden nojalla henkilö voisi saada kansainvälistä suojelua, eli saada turvapaikan tai toissijaista suojelua. Jatkossa EU:ssa joudutaan todennäköisesti pohtimaan esimerkiksi sitä, tulisiko ja millä tavalla huomioida ympäristösyistä pakenevien henkilöiden tilanne Unionin lainsäädännössä.

EU:n turvapaikkajärjestelmän nykyiset heikkoudet kärjistyvät suurten ilmiöiden aikana. Nykyistä turvapaikkajärjestelmää on vaikea ylläpitää, jos esimerkiksi ilmastosyistä kotimaastaan lähteneiden määrä kasvaa erittäin suureksi ja muiden väylien puuttuessa he ohjautuvat unionin alueelle saavuttuaan turvapaikkamenettelyyn. Tämä alleviivaa tarvetta aiempaa vahvemmille ja kriinkestäville eurooppalaisille järjestelmille.

Ilmastomuutos vahvistaa myös niitä tunnistettuja uhkia, jotka liittyvät sekä laittomaan maahantuloon että maahanmuuton potentiaalin hyväksikäyttöön hybridioperaatioissa.

Laajamittaisen maahantulon tilanteessa myös pidemmän aikavälin vaikutukset, muun muassa kotouttaminen ja koulutus, tulevat vaatimaan todennäköisesti lisää resursseja.

Lähteet

- Aalto, J., Pirinen, P., Kauppi, P.E., Rantanen, M., Lussana, C., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Gregow, H., 2021. "High-resolution analysis of observed thermal growing season variability over northern Europe". *Climate Dynamics* 58, 1477–1493. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05970-y>
- Aalto, J. Venäläinen, A. (toim.), 2021. "Climate Change and Forest Management Affect Forest Fire Risk in Fennoscandia". Ilmatieteen laitos (Finnish Meteorological Institute), Report 2021:3, Helsinki. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/330898>
- Aalto-yliopisto, n.d. "Liikennesuunnittelu – Sopeutuminen". <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/liikennesuunnittelu-sopeutuminen>
- Amato, E., Riess, M., Thomas-Lopez, D., Linkevicius, M., Pitkänen, T., Wołkowitz, T., Rjabina, J., Jernberg, C., Hjertqvist, M., MacDonald, E., Antony-Samy, J. K., Dalsgaard Bjerre, K., Salmenlinna, S., Fuursted, K., Hansen, A., & Naseer, U., 2022. "Epidemiological and microbiological investigation of a large increase in vibriosis, northern Europe, 2018". *Euro surveillance : bulletin Européen sur les maladies transmissibles*. *European communicable disease bulletin*, 27(28), 2101088. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2022.27.28.2101088>
- Antão, L.H., Weigel, B., Strona, G. ym., 2022. "Climate change reshuffles northern species within their niches". *Nature Climate Change* 12: 587–592. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01381-x>
- 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 forest environment, northern Finland". – *Arctic* 64(1): 1–14. <https://www.jstor.org/stable/23025661>
- Asikainen, A., Viiri, H., Neuvonen, S., Nevalainen S., Lintunen, J., Laturi, J., Uusivuori, J., Venäläinen, A., Lehtonen, I., Ruosteenoja, K., 2019. "Ilmastonmuutos ja metsätuhot – analyysi ilmaston lämpenemisen seurauksista Suomen osalta". Suomen ilmastopaneeli, Raportti 1/2019, 76 s. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/01/Ilmastopaneeli_Mets%C3%A4tuhoraportti_tiivistelm%C3%A4-1.pdf
- Backman, L., Aalto, T., Lehtonen, I., Thölix, L., Vanha-Majamaa, I., Venäläinen, A., 2021. "Climate change increases the risk of forest fires". Teoksessa Aalto, Juha ja Venäläinen, Ari (toim.) 2021. "Climate Change and Forest Management Affect Forest Fire Risk in Fennoscandia". Ilmatieteen laitos (Finnish Meteorological Institute), Report 2021:3, Helsinki. 67–91. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/330898>

- Berninger, K., Laakso, T., Paatela, H., Virta, S., Rautiainen, J., Virtanen, R., Tynkkynen, O., Piila, N., Dubovik, M., Vahala, R., 2018. "Tulevaisuuden kestävä vesihuolto – ennakkointi, ohjaus ja järjestäminen". Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-607-2>
- Berry, H.L., Waite, T.D., Dear, K.B.G., Capon, A.G., Murray, V. 2018. "The case for systems thinking about climate change and mental health". *Nat Climate Change* 8: 282-290. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0102-4>
- Birkmann, J., Welle, T., Solecki, W. et al., 2016. "Boost resilience of small and mid-sized cities". *Nature* 537, 605–608. <https://doi.org/10.1038/537605a>
- Bittner, M. I., Matthies, E. F., Dalbokova, D., & Menne, B. 2014. "Are European countries prepared for the next big heat-wave?". *European journal of public health*, 24(4), 615–619. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckt121>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2004). "At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters" (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203714775>
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kohnová, S., Koskela, J. J., Ledvinka, O., Burke, M., González, F., Baylis, P., Heft-Neal, S., Baysan, C., Basu, S., Hsiang, S. 2018. "Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico". *Nat Climate Change* 8: 723-729. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0222-x>
- Carter, T. R. (toim.), 2007. "Suomen kyky sopeutua ilmastonmuutokseen: FINA-DAPT. Yhteenveto päättäjille". Suomen ympäristö 1/2007. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/3753efb9-7f92-44c7-978f-c5fa538b3b41/content>
- Chaparro-Pedraza, P.C., 2021. "Fast environmental change and eco-evolutionary feedbacks can drive regime shifts in ecosystems before tipping points are crossed". *Proceedings of the Royal Society B* 288 (1955): 20211192. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1192>
- Christensen, O.B., Kjellström, E., Dieterich, C., Gröger, M., Meier, H.E.M., 2022. "Atmospheric regional climate projections for the Baltic Sea region until 2100". *Earth System Dynamics* 13, 133–157. <https://doi.org/10.5194/esd-13-133-2022>
- De Wit, H.A., Valinia, S., Weyhenmeyer, G.A., Futter, M.N., Kortelainen, P., Austnes, K., Hessen, D.O., Räike, A., Laudon, H. & Vuorenmaa, J., 2016. "Current browning of surface waters will be further promoted by wetter climate". *Environmental Science & Technology Letters* 3(12): 430-435. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6b00396>
- Dub, T., Ollgren, J., Huusko, S., Uusitalo, R., Siljander, M., Vapalahti, O., & Sane, J. 2017. "Game Animal Density, Climate, and Tick-Borne Encephalitis in Finland, 2007-2017". *Emerg Infect Dis.* 26(12):2899-2906. <https://doi.org/10.3201/eid2612.191282>

- Dunne, J.P., Stouffer, R.J. & John, J.G. 2013. "Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming". *Nature Clim Change* 3, 563–566. <https://doi.org/10.1038/nclimate1827>
- Dyrørdal, A.V., Olsson, J., Médus, E., Arnbjerg-Nielsen, K., Post, P., Aņisķeviķa, S., Thorndahl, S., Førlund, E., Wern, L., Mačiulytė, V., Mäkelä, A., 2021. "Observed changes in heavy daily precipitation over the Nordic-Baltic region". *Journal of Hydrology: Regional Studies* 38, 100965. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100965>
- EEA, 2014. "Adaptation of transport to climate change in Europe. Challenges and options across transport modes and stakeholders". EEA Report No 8/2014. <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-of-transport-to-climate>
- Eneim, 2011. "Weather Extremes: Assessment of Impacts on Transport Systems and Hazards for European Regions. Deliverable 2 Vulnerability of Transport systems Main report". http://www.weather-project.eu/weather/downloads/Deliverables/WEATHER_Deliverable-2_main-report_20110614.pdf
- Erillisverkot, 2020. "Vuosikertomus 2020". <https://www.erillisverkot.fi/wp-content/uploads/2021/04/erillisverkot-vuosikertomus-2020.pdf>
- Erkkilä, A., 2021. "Jäätilanne Pohjanlahdella menneinä ja tulevana lähivuosisikymmeninä" Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Ilmakehätieteiden maisteriohjelma, Pro gradu-tutkielma. <http://hdl.handle.net/10138/330722>
- Estrad-Peña et al. 2017. "Ticks of Europe and North Africa. A Guide to Species Identification". Springer Verlag 404ss. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-63760-0>
- Etelä-Karjalan pelastuslaitos, 2021. "Turvetuotantoalueen tulipalo Taipalsaarella 2019". Etelä-Karjalan pelastuslaitos 16.8.2021. Julkaisematon kehittämisraportti.
- Eurocontrol, 2021. "EUROCONTROL study on climate change risks for European aviation". <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-study-climate-change-risks-european-aviation>
- European Climate and Health Observatory, 2021. "ECDC Vibrio map viewer". <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/observatory/evidence/projections-and-tools/ecdc-vibrio-map-viewer>
- European Climate and Health Observatory, 2022. "Heat vulnerability index. Vulnerability to extremes of heat in Europe – European Climate and Health Observatory". <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/observatory/++aq++metadata/indicators/vulnerability-to-extremes-of-heat?bs=0>
- Euroopan komissio, Disaster Risk Management Knowledge Centre, 2021. "INFORM Risk Index". <https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/inform-index>

- Euroopan komissio, Directorate-General for Health and Food Safety, Castella, C., Orsat, C., Marcdargent, M. et al., 2022a. "Study on the Union's situation and options regarding invertebrate biological control agents for the use in plant health and plant protection – Final report", Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2875/990274>
- Euroopan komissio, 2022b. European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, "Strengthening cultural heritage resilience for climate change – Where the European Green Deal meets cultural heritage", Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2766/44688>
- FAO, 2022. "Framework for Action on Biodiversity for Food and Agriculture". FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb8338en>
- Finavia, 2017. "Tutustu pohjoisen sankareihin: He huolehtivat, että lentoliikenne Lappiin sujuu". <https://www.finavia.fi/fi/uutishuone/2017/tutustu-pohjoisen-sankareihin-he-huolehtivat-etta-lentoliikenne-lappiin-sujuu>
- Fintraffic, 2021. "Vuosikertomus 2021". https://www.fintraffic.fi/sites/default/files/2022-03/Fintraffic_Vuosikatsaus_2021.pdf
- Gammans M., 2020. "Temporal displacement, adaptation and the effect of climate on suicide rates". *Nat Climate Change* 10: 499-501. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0791-3>
- Gasparrini, A., Guo, y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklov, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M.L., Guo, y.L., Wu, C., Kan, H., Yi, S., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P.H.N., Honda, y., Kim, H., Armstrong, B., 2015. "Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study". *Lancet* 386, 369-375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
- Gasparrini, A., Guo, Y., Sera, F., ym., 2017. "Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios". *Lancet Planet. Health* 1, E360–E367. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)
- Gatto, M. P., Cabella, R., & Gherardi, M., 2016. "Climate change: the potential impact on occupational exposure to pesticides". *Annali dell'Istituto superiore di sanita*, 52(3), 374–385. https://doi.org/10.4415/ANN_16_03_09
- Gertler, M., Dürr, M., Renner, P., Poppert, S., Askar, M., Breidenbach, J., Frank, C., Preußel, K., Schielke, A., Werber, D., Chalmers, R., Robinson, G., Feuerpfeil, I., Tannich, E., Gröger, C., Stark, K., & Wilking, H., 2015. "Outbreak of *Cryptosporidium hominis* following river flooding in the city of Halle (Saale), Germany, August 2013". *BMC infectious diseases*, 15, 88. <https://doi.org/10.1186/s12879-015-0807-1>

- Gregow, H., Mäkelä, A., Tuomenvirta, H., Juhola, S., Käyhkö, J., Perrels, A., Kuntsi-Reunanen, E., Mettiäinen, I., Näkkäläjärvi, K., Sorvali, J., Lehtonen, H., Hildén, M., Veijalainen, N., Kuosa, H., Sihvonen, M., Johansson, M., Leijala, U., Ahonen, S., Haapala, J., Korhonen, H., Ollikainen, M., Lilja, S., Ruuhela, R., Särkkä, J. & Siiriä, S-M., 2021. "Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet". Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. <https://doi.org/10.31885/9789527457047>
- Gregow, H., Rantanen, M., Laurila, T.K., Mäkelä, A., 2020. "Review on winds, extratropical cyclones and their impacts in Northern Europe and Finland". Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:3. <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523361188>
- Groenemeijer, P., Vajda, A., Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Venäläinen, A., Gregow, H., Becker, N., Nissen, K., Ulbrich, U., Nápoles, O. M., Paprotny, D., Púčik, T., 2016. D2.5 "(Hydro-)meteorological hazard probability in Europe. Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe – Report on the present severe weather probability distribution". http://rain-project.eu/wp-content/uploads/2016/09/D2.5_REPORT_final.pdf
- Gushulak, B., Weekers, J., & Macpherson, D. (2009). "Migrants and emerging public health issues in a globalized world: threats, risks and challenges, an evidence-based framework". Emerging health threats journal, 2, e10. <https://doi.org/10.3134/ehjt.09.010>
- Haikonen, K., Lounamaa, A. (toim.). 2010. "Suomalaiset tapaturmien uhreina 2009, kansallisen uhritutkimuksen tuloksia". Terveysten ja hyvinvoinnin laitos (THL), Raportti 13/2010. 77 sivua. Helsinki 2010. <https://www.julkari.fi/handle/10024/80294>
- Halonen J.I., Miettinen I., Pekkanen J., 2023. "Ilmastonmuutoksen terveysvaikutuksiin on varauduttava". Suom Lääkäril 2023; 78 : e37451 www.laakarilehti.fi/e37451
- Hakala, E., Erkamo, S., Pyykönen, J., Tuomenvirta, H., Tynkkynen, O., Berninger, K., Vihma, A., 2021. "Ilmastonmuutos ja Suomen turvallisuus: Uhat ja varautuminen kokonaisturvallisuuden toimintamallissa". Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:52. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki 2021. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-386-9>
- Hausfather, Z., Peters, G., 2020. Nature 577, 618-620 (2020) "Emissions – the 'business as usual' story is misleading". Nature, COMMENT. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3>
- Heikkinen, R. K., Leikola, N., Aalto, J., Aapala, K., Kuusela, S., Luoto, M., & Virkkala, R., 2020. "Fine-grained climate velocities reveal vulnerability of protected areas to climate change". <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58638-8>
- Heinonen, T., 2019. "EEDI and the need for icebreaker assistance". Winter navigation research board. Research Report No 114. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Report%20No%20114%20EEDIAssistance.pdf>

- HELCOM, 2021. "Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet". Baltic Sea Environment Proceedings n°180. HELCOM/Baltic Earth 2021. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/09/Baltic-Sea-Climate-Change-Fact-Sheet-2021.pdf>
- Hiedanpää, J., Rasmus, S., Kontio, P., Landauer, M., Jokinen, M., Oinonen, K., Naskali, A., Haveri-Heikkilä, J., & Kumpula, J., 2020. "Poron paikka Kuusamossa: poronhoidon, asutuksen, lomarakentamisen ja maatalouden välisistä ristiriidoista ratkaisuihin". Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 87/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/546461>
- Hildén, M., Tikkakoski, P., Sorvali, J., Mettiäinen, I., Käyhkö, J., Helminen, M., Määttä, H., Berninger, K., Meriläinen, P., Ahonen, S., Kolstela, J., Juhola, S., Tynkkynen, O., Gregow, H., Groundstroem, F., Halonen, J. I., Munck af Rosenschöld, J., Tuomenvirta, H., Carter, T., Lehtonen, H., Luomaranta, A., Mäkelä, A., 2021. "Ilmastomuutokseen sopeutuminen Suomessa – nykytila ja kehitysnäkymät". Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:55. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-420-0>
- Hildén, M., Groundstroem, F., Carter, T.R., Halonen, M., Perrels, A., Gregow, H. 2016. "Ilmastomuutoksen heijastevaikutukset Suomeen". Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2016. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79783>
- Hildén, M., Mela, H. ja Saastamoinen, U., 2021. "Ilmastovaikutusten arviointi YVAssa ja SOVAssa". Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:18. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163178/YM_2021_18.pdf
- Hippi, M., Hartonen, S., Hirvonen, M., 2017. "Työmatkatapaturmien vähentäminen kelivaroitussmallia kehittämällä". Ilmatieteen laitos, Raportteja – Rapporter – Repots ; 2017:3 <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/224484>
- Horskotte, T., Kumpula, J., Sandström, P., Tømmervik, H., Kivinen, S., Skarin, A., Moen, J. & Sandström, S., 2022. "Pastures under pressure: effects of other land users and the environment. In book: Reindeer Husbandry and Global Environmental Change – Pastoralism in Fennoscandia" (eds. Horskotte, T., Holand, Ø., Kumpula, J. & Moen, J.). Book published by Routledge, 2022, eBook ISBN 9781003118565. <https://www.doi.org/10.4324/9781003118565>
- Hulden, L., 2021. "Uusien vektorivälitteisten tautien mahdollinen saapuminen Suomeen ilmastonmuutoksen ja ihmisten liikkuvuuden kylkiäisinä". Sosiaali- ja terveysministeriön raportteja ja muistioita 2021:16. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-5402-1>
- Huoltovarmuuskeskus, 2021. "Logistiikka 2030 -kehitysohjelma". <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/huoltovarmuusorganisaatio/huoltovarmuuskeskus/4962-2/logistiikka-2030>
- Hübler, M., Klepper, G. & Peterson, S., 2008. "Costs of climate change: The effects of rising temperatures on health and productivity". Germany Ecol Econ 68, 381–393. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.04.010>

- Hällfors, M., Antao, L., Itter, M., Lehikoinen, A., Lindholm, T. M., Roslin, T. & Saastamoinen, M., 2020. "Shifts in timing and duration of breeding for 73 boreal bird species over four decades". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117 (31): 18557-18565. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913579117>
- Hällfors, M.H., Pöyry, J., Heliölä, J., Kohonen, I., Kuussaari, M., Leinonen, R., Schmucki, R., Sihvonen, P. & Saastamoinen, M., 2021. "Combining range and phenology shifts offers a winning strategy for boreal Lepidoptera". *Ecology Letters* 24: 1619-1632. <https://doi.org/10.1111/ele.13774>
- Höglund, A., Pemberton, P., Hordoir, R., Schimanke, S., 2017. "Ice conditions for maritime traffic in the Baltic Sea in future climate". *Boreal Environment Research* 22, 245–265. <https://www.borenv.net/BER/archive/pdfs/ber22/ber22-245-265.pdf>
- Ilmatieteen laitos, 2021a. "Ilmastollinen vertailukausi 1991-2020". <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastollinen-vertailukausi>
- Ilmatieteen laitos, 2021b. "Ilmastovuosikatsaus 2020". <https://www.ilmastokatsaus.fi/2021/02/17/ilmastovuosikatsaus-digilehti-2020>
- Ilmatieteen laitos, 2021c. "Ilmastovuosikatsaus 2021". <http://www.doi.org/10.35614/ISSN-2341-6408-IVK-2021-00>
- Ilmatieteen laitos, 2022. "Merijäättilästä". <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/jaatilastot>. Julkaistu 9.2.2022.
- Ilmatieteen laitos, 2023. "Terminen kasvukausi". <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/terminen-kasvukausi>. Julkaistu 2.2.2023.
- IPBES, 2020. "Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services". Daszak, P. et al., IP-BES secretariat, Bonn, Germany, <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.4147317>
- IPCC, 2012. "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation". A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>
- IPCC, 2014a. "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability". Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. URL: AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability – IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- IPCC, 2014b. "Annex II – Glossary". https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-AnnexII_FINAL.pdf

- IPCC, 2021. "Climate Change 2021: The Physical Science Basis". Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC, 2022. "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability". Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <http://www.doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPPC Secretariat, 2021. "Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems". Rome. FAO on behalf of the IPPC Secretariat. <https://doi.org/10.4060/cb4769en>
- Irvine, E., Shine, K., Stringer, M. 2016. "What are the implications of climate change for trans-Atlantic aircraft routing and flight time?". Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 47, August 2016, Pages 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.04.014>
- Jalava, K., Sane, J., Ollgren, J., Ruuhela, R., Rätti, O., Kurkela, S., Helle, P., Hartonen, S., Pirinen, P., Vapalahti, O., Kuusi, M. 2013. "Climatic, ecological and socioeconomic factors as predictors of Sindbis virus infections in Finland". Epidemiol Infect. 141(9):1857-66. <https://doi.org/10.1017/S095026881200249X>
- Jokinen, P., Pirinen, P., Kaukoranta, J.-P., Kangas, A., Alenius, P., Eriksson, P., Johansson, M., Wilkman, S., 2021. "Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991-2020". Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8. <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523361485>
- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., & Daszak, P. (2008). "Global trends in emerging infectious diseases". Nature, 451(7181), 990–993. <https://doi.org/10.1038/nature06536>
- Junes, J., Lumme, E., Miettinen, H-M. 2021 Liikenneväylien korjausvelka 2021. Väyläviraston julkaisu 5/2021. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/181983/vj_2021-05_978-952-317-840-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kahma, K., Pellikka, H., Leinonen, K., Leijala, U., Johansson, M., 2014. "Pitkän aikavälin tulvariskit ja alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Suomen rannikolla". Ilmatieteen laitos, Raportteja 2014:6. <http://hdl.handle.net/10138/135226>
- Kallioinen, E. 2021. Ilmastoskenaariot maalaavat erilaisia tulevaisuuskuvia ja auttavat arvioimaan, miten ilmasto eri tilanteissa muuttuisi. Ilmatieteen laitos, artikkeli 31.7.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/artikkeli/ftlq7hqBrKQ9QxDYoqMri>
- Kanoshina, I., Lips, U. & Leppänen J.-M. 2003. "The influence of weather conditions (temperature and wind) on cyanobacterial bloom development in the Gulf of Finland (Baltic Sea)2. Harmful algae, Volume 2, Issue 1: 29–41. [http://dx.doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00085-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00085-9)

- Karilas, A., Liljeström, E., Lohman, E., Nieminen, E., Nukki, H., Virolainen, E., Voutilainen, E., 2023. "Ilmastomuutos ja kulttuuriympäristö: Tunnistetut vaikutukset sekä hillinnän ja sopeutumisen edistäminen". Ympäristöministeriön julkaisuja 2023:3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-223-5>.
- Katz, R. W., & Brown B.G, 1992. "Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages". Climatic change 21 (3): 289–302. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00139728>
- Ketola, J., 2018. "Hevonkuusessa palaa isosti". Tilastollinen selvitys kesän 2018 metsäpalojen leviämisestä. Pelastusopisto, D-sarja 6/2018, Kuopio. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D6_2018.pd
- Kettunen, H. ja Meriläinen, P., 2023. "Ilmastomuutos ja tapaturmat: nykytilanne Suomessa". Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, työpaperi 2023_036. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-408-161-0>
- Kim, S., Sinclair, V.A., Räisänen, J., Ruuhela, R., 2018. "Heat waves in Finland: present and projected summertime extreme temperatures and their associated circulation patterns". International Journal of Climatology 38, 1393–1408. <https://doi.org/10.1002/joc.5253>
- Koetse, M. J. & P. Rietveld, 2009. "The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings". Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 14, Issue 3, May 2009. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004>
- Kollanus, V., Lanki, T. 2021. "Helteen terveyshaitat ja niiden ehkäisy Suomessa". Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, Työpaperi 14/2021. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-343-673-2>
- Kollanus, V., Lanki, T., 2014. "2000-luvun pitkittyneiden helleaaltojen kuolleisuus-vaikutukset Suomessa". Duodecim 130(10):983-90. <https://www.duodecimlehti.fi/duo11638>
- Kollanus, V., Prank, M., Gens, A., Soares, J., Vira, J., Kukkonen, J., Sofiev, M., Salonen, R. O., & Lanki, T. (2017). "Mortality due to Vegetation Fire-Originated PM2.5 Exposure in Europe-Assessment for the Years 2005 and 2008". Environmental health perspectives, 125(1), 30–37. <https://doi.org/10.1289/EHP194>
- Kollanus V, Halonen JI, Lanki T., 2023. "Helteen vaikutukset ja varautuminen terveydenhuollossa". Duodecim 2023; 139(13): 1127-33. <https://www.duodecimlehti.fi/duo17765>
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.), 2018. "Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018". Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>

- Korotkov, Y., Kozlova, T. & Kozlovskays, L., 2015. "Observations on changes in abundance of questing *Ixodes ricinus*, castor bean tick, over a 35-year period in the eastern part of its range (Russia, Tula region)". *Med Vet Entomol.* 29(2):129-36. <https://doi.org/10.1111/mve.12101>
- Kuhn, K.G. ym., 2020. "Campylobacter infections expected to increase due to climate change in Northern Europe". *Scientific Reports* 2020;10,:13874. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70593-y>
- 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. <https://doi.org/10.3402/polar.v22i2.6457>
- Kumpula, J., Kurkilahti, M., Helle, T. & Colpaert, A., 2014. "Both reindeer management and several other land use factors explain the reduction in ground lichens (*Cladonia* spp.) in pastures grazed by semi-domesticated reindeer in Finland". – *Regional Environmental Change* 14: 541-559. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0508-5>
- Kumpula, J., Siitari, J., Siitari, S., Kurkilahti, M., Heikkinen, J. & Oinonen, K., 2019. "Poronhoitoalueen talvilaitumet vuosien 2016-2018 laiduninventoinnissa – Talvilaidunten tilan muutokset ja muutosten syyt". (korjattu painos), Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2019, Luonnonvarakeskus, Helsinki 2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-753-4>
- Kumpula, J., Jokinen, M., Siitari, J. & Siitari, S., 2020. "Talven 2019–2020 sää-, lumi- ja luonnonolosuhteiden poikkeuksellisuus ja vaikutukset poronhoitoon". Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 58/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-023-6>
- Kumpula, J., Rämö, S., Siitari, J., Holkeri, L., Pekkarinen, A.-J. ja Tauriainen, J., 2022. "Talven 2021–2022 lumi- ja kaivuolosuhteet ja niiden vaikutukset poronhoitoon". Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 71/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-496-8>
- Kämäräinen ym., 2016. "Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe". RAIN project: Security Sensitivity Committee Deliverable Evaluation. http://rain-project.eu/wp-content/uploads/2016/09/D2.5_REPORT_final.pdf
- Kämäräinen, M., Hyvärinen, O., Vajda, A., Nikulin, G., van Meijgaard, E., Teichmann, C., Jacob, D., Gregow, H., Jylhä, K., 2018. "Estimates of present-day and future climatologies of freezing rain in Europe based on CORDEX regional climate models". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123, 13291–13304. <https://doi.org/10.1029/2018JD029131>
- Laaksonen S., Pusenius J., Kumpula J., Venäläinen A., Kortlet R., Oksanen A., Hoberg E., 2010. "Climate change promotes the emergence of serious disease outbreaks of filarioid nematodes". *EcoHealth* 7: 7-13. <https://www.doi.org/10.1007/s10393-010-0308-z>

- Laapas, M., Venäläinen, A., 2017. "Homogenization and trend analysis of monthly mean and maximum wind speed time series in Finland, 1959–2015". *International Journal of Climatology* 37, 4803–4813. <https://doi.org/10.1002/joc.5124>
- Lahdensivu, J., Pakkala, T., Pikkuvirta, J., Räsänen, A., Alastalo, S., Karvonen, A., Täubel, M., Pekkanen, J., Juntunen, M., Velashjerdi Farahani, A., Jokisalo, J., Kosonen, R., Jylhä, K., Lanki, T., Leino, O., Kollanus, V., 2023. "Rakennusten kosteusvauriot ja ylläpitäminen muuttuvassa ilmastossa – RAIL" <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164539>
- Laine, A., Vanhanen, J., Halonen, M., Sjöblom, H. 2018. "Ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit ja kustannukset Suomelle: valikoituja esimerkkejä". Helsinki: Gaia Group, 2018. <https://www.sitra.fi/julkaisut/ilmastonmuutoksen-aiheuttamat-riskit-ja-kustannukset-suomelle/>
- Laitinen, J., Hassinen, M., Kiviranta, K., Toivanen, P., Huttu, I., Savola, R., Ahonen, V., Ruusunen, J., Rissanen, S., Uusitalo, A., 2022. "Pelastajan työvälineet ja henkilökohtaiset suojaimet metsäpaloissa". Pelastusopisto, B-sarja 1/2022. Kuopio. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_B/B1_2022.pdf
- Laukkarinen, A., Jokela, T., Vinha, J., Pakkala, T., Lahdensivu, J., Lestinen, S., Jokisalo, J., Kosonen, R., Lindfors, A., Ruosteenoja, K. & Jylhä, K., 2022. "Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet: RAMI-hankkeen loppuraportti". <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>
- Laurila, T.K., Sinclair, V.A., Gregow, H., 2021. "Climatology, variability, and trends in near-surface wind speeds over the North Atlantic and Europe during 1979–2018 based on ERA5". *International Journal of Climatology* 41, 2253–2278. <https://doi.org/10.1002/joc.6957>
- Lehtonen, I., Ruosteenoja, K., Jylhä, K., 2014. "Projected changes in European extreme precipitation indices on the basis of global and regional climate model ensembles". *International Journal of Climatology* 34, 1208–1222. <https://doi.org/10.1002/joc.3758>
- Lehtonen & Lång, 2017. "Ilmastonmuutos vaikuttaa myös lentoliikenteeseen". <https://atmoslehti.fi/saa/ilmastonmuutos-vaikuttaa-myo-lentoliikenteeseen/>
- Lehtonen I., Venäläinen, A., Gregow, H., 2020. "Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta". Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:5. <http://hdl.handle.net/10138/319348>
- Leviäkangas ym. 2012. "Extreme weather impacts on European networks of transport (EWENT). D6: European Extreme Weather Risk Management – Needs, Opportunities, Costs and Recommendations". http://virtual.vtt.fi/virtual/ewent/Deliverables/D6/Ewent_D6_SummaryReport_V07.pdf

- Liikenne- ja viestintäministeriö 2021a. "Valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman vaikutusten arviointi". Liikenne- ja viestintäministeriön raportti 8.10.2021. https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/f0ca36bc-e740-4ac4-accd-c244746849d5/27f9289c-dd95-4484-a688-31e58f038952/YHTEENVETO_20211012115006.pdf
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021b. "Valtioneuvoston periaatepäätös meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä". Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:12. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163290/LVM_2021_12.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Liikennevirasto, 2018. "Talvihoidon toimintalinjat". Liikenneviraston toimintalinjoja 1/2018. https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lto_2018-01_talvihoidon_toimintalinjat_web.pdf
- Lind, P., Belušić, D., Médus, E., Dobler, A., Pedersen, R.A., Wang, F., Matte, D., Kjellström, E., Landgren, O., Lindstedt, D., Christensen, O.B., Christensen, J.H., 2022. "Climate change information over Fenno-Scandinavia produced with a convection-permitting climate model". Climate Dynamics. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06589-3>
- Lindberg, H., Granström, A., Gromtsev, A., Levina, M., Shorohova, E., Vanha-Majamaa, I., 2021. "The annually burnt forest area is relatively low in Fennoscandia". Teoksessa Aalto, Juha ja Venäläinen, Ari (toim.) 2021. Climate Change and Forest Management Affect Forest Fire Risk in Fennoscandia. Ilmatieteen laitos (Finnish Meteorological Institute), Report 2021:3, Helsinki. 28-65. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/330898>
- Lindberg & Lehtonen, 2022. "Ilmastokatsaus 6/2022". https://issuu.com/fmi-ik/docs/ilmastokatsaus_2022_kesakuu
- Lindgren, J., Jonsson, D. K., & Carlsson-Kanyama, A. 2009. "Climate Adaptation of Railways: Lessons from Sweden". European Journal of Transport and Infrastructure Research, 9(2). <https://doi.org/10.18757/ejtr.2009.9.2.3295>
- Luomaranta, A., Haapala, J., Gregow, H., Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Laaksonen, A., 2010. "Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä". Ilmatieteen laitos, Raportteja 2010:4. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/2443>
- Löf, A., Raitio, K., Forbes, B.C., Labba, K., Landauer, M., Risvoll, C., ja Sarkki, S., 2022. "Unpacking reindeer husbandry governance in Sweden, Norway and Finland: a political discursive perspective. In book: Reindeer Husbandry and Global Environmental Change – Pastoralism in Fennoscandia" (eds. Horskotte, T., Holand, Ø., Kumpula, J. & Moen, J.). Book published by Routledge, 2022, eBook ISBN 9781003118565. pp. 150-172. <https://www.doi.org/10.4324/9781003118565>
- Maa- ja metsätalousministeriö, 2005. "Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia". <http://urn.fi/URN:ISBN:952-453-200-X>

- Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Redevski, I., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Viglione, A., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K. ja Živković, N., 2017. "Changing climate shifts timing of European floods". *Science* 357, 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
- Malin, F., Norros, I., Innamaa, S. 2017. "Identification of accident risk and its application in traffic control: Accident risks in different road weather conditions on Finnish main roads". <https://www.doria.fi/handle/10024/143844>
- Malin, F., Mesimäki, J., Penttinen, M. 2022. "Liukastumistapaturmat ja niiden ehkäisy toiminnallisen tasa-arvon ja yhdenvertaisuuden näkökulmasta". Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2022:2. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163848>
- Mattila, M. (toim.), 2023. "Valtioneuvoston periaatepäätös kulttuuriperintöstrategiasta 2023–2030". VALTIONEUUVOSTON JULKAISUJA 2023:7. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-056-1>
- Médus, E., Thomassen, E.D., Belušić, D., Lind, P., Berg, P., Christensen, J.H., Christensen, O.B., Dobler, A., Kjellström, E., Olsson, J., and Yang, W., 2022. "Characteristics of precipitation extremes over the Nordic region: added value of convection-permitting modeling", *Natural Hazards and Earth System Sciences* 22, 693–711. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-693-2022>
- Meier, H. E. M., Kniebusch, M., Dieterich, C., Gröger, M., Zorita, E., Elmgren, R., Myrberg, K., Ahola, M. P., Bartosova, A., Bonsdorff, E., Börgel, F., Capell, R., Carlén, I., Carlund, T., Carstensen, J., Christensen, O. B., Dierschke, V., Frauen, C., Frederiksen, M., Gaget, E., Galatius, A., Haapala, J. J., Halkka, A., Hugelius, G., Hünicke, B., Jaagus, J., Jüssi, M., Käyhkö, J., Kirchner, N., Kjellström, E., Kulinski, K., Lehmann, A., Lindström, G., May, W., Miller, P. A., Mohrholz, V., Müller-Karulis, B., Pavón-Jordán, D., Quante, M., Reckermann, M., Rutgersson, A., Savchuk, O. P., Stendel, M., Tuomi, L., Viitasalo, M., Weisse, R., and Zhang, W., 2022. "Climate change in the Baltic Sea region: a summary". *Earth System Dynamics* 13, 457–593. <https://doi.org/10.5194/esd-13-457-2022>
- Meriläinen ym., 2021. "Ilmastonmuutos sosiaali- ja terveyssektorilla. Sosiaali- ja terveysministeriön ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnitelma (2021–2031)". Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisu 2021:20. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-5410-6>
- Meriläinen, P., Lanki, T., Miettinen, I., Hokajärvi, A.-M., Simola, A., Tiittanen, P., Yli-Tuomi, T., 2019. "Ilmastonmuutos ja vesihuolto – varautuminen ja terveysvaikutukset". <https://www.doria.fi/handle/10024/176898>
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M., Laaksonen, A., 2015. "Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 29, 1521–1529. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0992-2>

- Morse, S. S., Mazet, J. A., Woolhouse, M., Parrish, C. R., Carroll, D., Karesh, W. B., Zambrana-Torrel, C., Lipkin, W. I., & Daszak, P. 2012. "Prediction and prevention of the next pandemic zoonosis". *Lancet* (London, England), 380(9857), 1956–1965. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61684-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61684-5)
- MSB, 2018. "Brandsommaren 2018. Vad hände, och varför?" Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Karlstad. <https://www.msb.se/sv/publikationer/brandsommaren-2018--vad-hande-och-varfor-utvardering/>
- Mysterud, A., Viljugrein, H., Roy Andersen, R., Rauset, R., Reiten, M.R., Christer M., Rolandsen, C.M. and Strand, O., 2022. "An infectious disease outbreak and increased mortality in wild alpine reindeer. *Ecosphere*". 2023;14: e4470. 1-10. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4470>
- Mäkelä, A., Lehtonen, I., Ruosteenoja, K., Tuomenvirta, H., Jylhä, K., Drebs, A., 2016. "Ilmastonmuutos pääkaupunkiseudulla". Ilmatieteen laitos, Raportteja 2016:8, 28 s. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/170155>
- Mäkelä, A., Tourula, T., Tuomenvirta, H., Jokinen, P., Laurila, T., Punkka, A.-J., Huuskonen, M., Bergman, T., Valta, H. 2022. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen huoltovarmuudelle. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2022:3. <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523361645>
- Mäkinen, K., Sorvali, J., Lipsanen, A., Hildén, M. 2019. Kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumis suunnitelman 2022 toimeenpanon väliarviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:11. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-000-7>
- Nissinen, A., Latvala, S., Lindqvist, I., Parikka, P., Kumpula, R., Rikala, K., & Blande, J., 2023. "First observations of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) suggest that it is a transient species in Finland". *Agricultural and Food Science*, 32(3), 104–111. <https://doi.org/10.23986/afsci.130404>
- Notre Dame Global Adaptation Initiative, 2021. "ND-GAIN Rankings". <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/>
- Nunez, S. & Alkemade, R., 2021. "Exploring interaction effects from mechanisms between climate and land-use changes and the projected consequences on biodiversity". *Biodivers Conserv* 30: 3685–3696. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02271-y>
- Näkkäläjärvi, K., Juntunen, S., Jaakkola, J.J.K., 2020. "SAAMI – Saamelaiden sopeutuminen ilmastonmuutokseen -hankkeen tieteellinen loppuraportti". Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:25. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162205>
- Ojala, L., Leviäkangas, P., 2022. "Väyläverkon resilienssi". Väyläviraston julkaisuja 2/2022. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/183662/vj_2022-2_vayla-verkon%20resilienssi_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ojala, T., ja Oksanen, P., 2021. "ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia". Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:4. ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia – Valto (valtioneuvosto.fi). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-587-3>

- Olsson, J., Dyrddal, A.V., Médus, E., Södling, J., Aniskeviča, S., Arnbjerg-Nielsen, K., Førland, E., Mačiulytė, V., Mäkelä, A., Post, P., Thorndahl, S.L., Wern, L., 2022. "Sub-daily rainfall extremes in the Nordic-Baltic region". *Hydrology Research* 53, 807–824. <https://doi.org/10.2166/nh.2022.119>
- Onnettomuustutkintakeskus, 2010. S²/2010Y Heinä-elokuun 2010 rajuilmat". <http://www.turvallisuustutkinta.fi/fi/index/tutkintaselostukset/muutonnettomuudet/tutkintaselostuksetvuosittain/muutonnettomuudet2010/s22010yheina-elokuun2010rajuilmat.html>
- Onnettomuustutkintakeskus, 2022. "R2021-02 Tavarajunan suistuminen Vesangassa" 3.7.2021. <https://turvallisuustutkinta.fi/fi/index/tutkintaselostukset/raideliikenneonnettomuuskientutkinta/tutkintaselostuksetvuosittain/2022/r2021-02tavara-junansuistuminenvesangassa3.7.2021.html#>
- Pacheco S.E., Guidos-Fogelbach G., Annesi-Maesano I., ym., 2021. "Climate change and global issues in allergy and immunology". *J Allergy Clin Immunol* 2021;148(6):1366–77. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.10.011>
- Pakkala, T., 2020. "Assessment of the Climate Change Effects on Finnish Concrete Facades and Balconies". *Tampere University Dissertations* 207, 240 s. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1423-1>
- Papathoma-Köhle, M., Thaler, T., Fuchs, S., 2021. "An institutional approach to vulnerability: evidence from natural hazard management in Europe". *Environ. Res. Lett.* 16 044056. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe88c>
- Parjanne, A., J. Silander, M. Tiitu, A. Viinikka, 2018. "Suomen tulvariskit nyt ja tulevaisuudessa. Varautuminen maankäytön, talouden ja ilmaston muutokseen". Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30/2018. <http://hdl.handle.net/10138/278893>
- Parks, R.M., Bennett, J.E., Tamura-Wicks, H. et al. "Anomalously warm temperatures are associated with increased injury deaths. 2020". *Nat Med* 26, 65–70. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0721-y>
- Pekkarinen, A.-J., Rasmus, S., Kumpula, J. & Tahvonen, O., 2022. "Winter condition variability decreases the economic sustainability of reindeer husbandry". *Ecological Applications*, Open Access first line version, <https://doi.org/10.1002/eap.2719>
- Pellikka H., Leijala U., Johansson M.M., Leinonen K., Kahma K.K., 2018. "Future probabilities of coastal floods in Finland". *Continental Shelf Research* 157, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.02.006>
- Pellikka, H., Johansson, M. M., Nordman, M., and Ruosteenoja, K.: Probabilistic projections and past trends of sea level rise in Finland, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 1613–1630, <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1613-2023>, 2023.
- Peltonen-Sainio, P., Juvonen, J., Korhonen, N., Parkkila, P., Sorvali, J., Gregow, H., 2021. "Climate change, precipitation shifts and early summer drought: An irrigation tipping point for Finnish farmers?" *Climate Risk Management* 33, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100334>

- Perrels, A., Haakana, J., Hakala, O., Kujala, S., Láng-Ritter, I., 2022. "Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI)" Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:37. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-056-1>
- Piacentini B.D., Della Ceca L.S., Ipiña A., 2018. "Climate change and its relationship with non-melanoma skin cancers". *Photochem Photobiol Sci.* 2018;17(12):1913-1917. <https://doi.org/10.1039/c7pp00405b>
- Pihkala, P., 2021. "Tuoretta tutkimustietoa ilmastokriisin mielenterveysvaikutuksista". <https://www.ymparistoahdistus.fi/artikkelit/tuoretta-tutkimustietoa-ilmastokriisin-mielenterveysvaikutuksista/>
- Pihkala P. 2019. "Ilmastoahdistus ja sen kanssa eläminen". MIELI Suomen Mielen-terveys Ry., https://mieli.fi/sites/default/files/materials_files/ilmastoahdistusraportti-mieli2019-web.pdf
- Pilli-Sihvola, K., Harjanne, A., Haavisto, R. 2018a. "Adaptation by the least vulnerable: Managing climate and disaster risks in Finland". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.12.004>
- Pilli-Sihvola K., Haavisto, R., Leijala, U., Luhtala, S., Mäkelä, A., Ruuhela, R., ja Votsis, A., 2018b. "Sään ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit Helsingissä". Helsingin kaupunki / kaupunkiympäristön toimiala. ISBN | 978-952-331-422-1. <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-06-18.pdf>
- Puustinen, A. (toim.) 2022. "Kalajoen Raution metsäpalo 2021. Kokemuksia ja oppeja metsäpalo-osaamisen kehittämiseen". Pelastusopisto, D-sarja 3/2022, Kuopio. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D3_2022.pdf
- Puustinen, A. & Kekki, T. 2020. "Pelastustoimen ja siviilivalmiuden toimintaympäristöanalyysi". Sisäinen turvallisuus. Sisäministeriön julkaisuja 2020:18, Helsinki. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162561>
- Prokkola, E.-K., Niemi, S., Lépy, E., Palander, J., Kulusjärvi, O. ja Lujala, P., 2021. "Climate migration: Towards a better understanding and management. Finland and a global perspective". <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-213-8>
- Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P. & Jeschke, J.M., 2020. "Scientists' warning on invasive alien species". *Biological Reviews* 95 (6): 1511-1534. <https://doi.org/10.1111/brev.12627>
- Pöyry, J. ja Aapala, K. (toim.), 2020. Lajit ja luontotyytit muuttuvassa ilmastossa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2, 2020. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/4a5944d7-076e-4d21-b56a-2cd2fca096cf/content>
- Randolph, S.E. & Rogers, D. J., 2000. "Fragile transmission cycles of tick-borne encephalitis virus may be disrupted by predicted climate change". *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.*, 2000; 267: 1741-1744. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000>
- Rantala, S. S. & Pöysti, L., 2015. "Jalankulkijoiden liukastumiset." Liikenneturvan selvityksiä 1/2015.

- Rasmus, S., Kivinen, S., & Irannezhad, M., 2018. "Basal ice formation in snow cover in Northern Finland between 1948 and 2016". *Environmental Research Letters* 13: 11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae541>.
- Rasmus, S., Turunen, M., Luomaranta, A., Kivinen, S., Jylhä, K. & Räihä J., 2020. "Climate change and reindeer management in Finland: Co-analysis of practitioner knowledge and meteorological data for better adaptation". *Science of The Total Environment* 710, 25 March 2020, 136229. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136229>
- Rasmus, S., Lehtonen, I., Kumpula, J., Landauer, M., Mettiäinen, I., Sorvali, J., Tuomenvirta, H. & Turunen, M., 2022a. "Climate data supports the adaptation of reindeer husbandry to climate change in Finland. FMI's Climate Bulletin": *Research Letters* 4(2). <https://doi.org/10.35614/ISSN-2341-6408-IK-2022-10-RL>
- Rasmus, S., Horskotte, T., Turunen, M., Landauer, M., Löf, A., Lehtonen, I., Rosqvist, G. Holand, Ø., 2022b. "Reindeer husbandry and climate change: challenges for adaptation". In book: *Reindeer Husbandry and Global Environmental Change – Pastoralism in Fennoscandia* (eds. Horskotte, T., Holand, Ø., Kumpula, J. & Moen, J.). Book published by Routledge, 2022, eBook ISBN 9781003118565. pp. 99-117. <https://www.doi.org/10.4324/9781003118565>
- Ruokavirasto, 2023. Sektorikohtaiset raportit. <https://www.ruokavirasto.fi/teemat/valvonta/elintarvikeketjun-valvonta/arviointi-ja-raportointi/vasu-raportit/sektorikohtaiset-raportit/>
- Rousi, E., Kornhuber, K., Beobide-Arsuaga, G., Luo, F., Coumou, D., 2022. "Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia. *Nature Communications* 13, 3851. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31432-y>
- Ruosteenoja, K. & Jylhä, K., 2021. "Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations". *Geophysica* 56(1), 39–69. https://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2021_56_1_039_ruosteenoja.pdf
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., 2016. "Projections for the duration and degree days of the thermal growing season in Europe derived from CMIP5 model output". *International Journal of Climatology* 36, 3039–3055. <https://doi.org/10.1002/joc.4535>
- Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venäläinen, A., Räisänen, P., Peltola, H., 2018. "Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century". *Climate Dynamics* 50, 1177–1192. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3671-4>
- Ruosteenoja, K., Vihma, T., Venäläinen, A., 2019. "Projected changes in European and North Atlantic seasonal wind climate derived from CMIP5 simulations". *Journal of Climate* 32, 6467–6490. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0023.1>

- Ruotoistenmäki, A., Valkeisenmäki, A., Venäläinen, A., Mäkelä, O., Sipilä, J., Jylhä, K., Savolainen, S., Laapas, M., 2009. "Ilmastomuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Ilmastomuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon" – Doria. <https://www.doria.fi/handle/10024/139433>
- Ruuhela R., 2018. "Impacts of Weather and Climate on Mortality and Self-harm in Finland". PhD thesis. Finnish Meteorological Institute Contributions 147. <http://hdl.handle.net/10138/258658>
- Ruuhela, R., Carter, T., Rantanen, M., Polade, S., Lipsanen, A., Jylhä, K., Laurila, T., Luomaranta, A., Fagerström, S., Luhtala, S., Gregow, H., 2023. "Ilmasto- ja sosioekonomiset skenaariot ilmastomuutokseen sopeutumisen suunnittelussa". Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2023:4. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164670/MMM_2023_4.pdf
- Ruuhela R., Henttonen H., Lindholm H., Partonen T., Pilli-Sihvola K., Rintamäki H., Tuomisto J., Vapalahti O., 2012. Terveys ja hyvinvointi. Kirjassa: Ruuhela R., toim. "Miten väistämättömään ilmastomuutokseen voidaan varautua? – yhteen-veto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla". MMM:n julkaisuja 6/2011. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö, 2012: 111–123. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-682-0>
- Ruuhela, R., Hiltunen, L., Venäläinen, A., Pirinen, P., & Partonen, T., 2009. "Climate impact on suicide rates in Finland from 1971 to 2003". International journal of biometeorology, 53(2), 167–175. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0200-5>
- Ruuhela, R., Jylhä, K., Lanki, T., Tiittanen, P., & Matzarakis, A., 2017. "Biometeorological Assessment of Mortality Related to Extreme Temperatures in Helsinki Region, Finland, 1972-2014". International journal of environmental research and public health, 14(8), 944. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080944>
- Ruuhela, R., Votsis, A., Kukkonen, J., Jylhä, K., Kankaanpää, S., Perrels, A., 2021. "Temperature-related mortality in Helsinki compared to its surrounding region over two decades, with special emphasis on intensive heatwaves". Atmosphere 12(1), 46. <https://doi.org/10.3390/atmos12010046>
- Räisänen, J., 2016. "Twenty-first century changes in snowfall climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models". Climate Dynamics 46, 339–353. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-015-2587-0>
- Saarelainen, S., 2006. "Adaptation to climate change in the transport sector". Finnish Environment Institute Mimeographs 338 (Suomen ympäristökeskuksen moniste 338) <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/41046>
- Saarelainen, S., & Makkonen, L., 2008. "Ilmastomuutokseen sopeutuminen radanpidossa, esiselvitys". <https://www.doria.fi/handle/10024/146430>

- Saarto, A., 2015. "Ilmastonmuutos lisää altistumista aeroallergeeneille". *Suom Lääkäril* 2015;70(7):395–9. https://www.researchgate.net/publication/282001767_Ilmastonmuutos_lisaa_altistumista_aeroallergeeneille_English_summary_Climate_Change_and_Aeroallergens
- Stark, S., Horstkotte, T., Kumpula, J., Olofsson, J., Tømmervik, H. & Turunen, M., 2023. "The ecosystem effects of reindeer (*Rangifer tarandus*) in northern Fennoscandia: Past, present and future". *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 58 (2023) 125716. pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125716>
- Schulte P.A., Bhattacharya A., Butler C.R., Chun H.K., Jacklitsch B., Jacobs T., Kiefer M., Lincoln J., Pendergrass S., Shire J., Watson J., Wagner G.R., 2016. "Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health". *J occup Environ Hyg.* 13(11):847-65. <https://doi.org/10.1080/https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1179388/15459624.2016.1179388>
- Semenza, J.C. & Suk, J.E. 2018. "Vector-borne diseases and climate change: a European perspective". *FEMS Microbiol Lett.* 2018 1;365(2):fnx244. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx244>
- Sievänen, T., Tervo, K., Neuvonen, M., Pouta, E., Saarinen, J., Peltonen, A., 2010. "Nature-based tourism, outdoor recreation and adaptation to climate change". SYKEmo341 (FINADAPT Working Paper 11). Suomen ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=45369&lan=en>
- Simpson, S., Kaufmann, M. C., Glozman, V., & Chakrabarti, A., 2020. "Disease X: accelerating the development of medical countermeasures for the next pandemic". *Lancet Infect Dis.* 2020 20(5): e108–e115. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30123-7](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30123-7)
- Sorvali, J., 2018. "Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset ja toimialojen haavoittuvuus". <https://projects.eionet.europa.eu/2018-eea-report-national-cciv-assessments/library/national-documents/finland/7f1a2e21-a4cb-48e6-aff4-d92dc770240a/download/en/1/7f1a2e21-a4cb-48e6-aff4-d92dc770240a.pdf?action=view>
- Sorvali, J., 2013. "Ilmastonmuutoksen haitalliset vaikutukset ja toimialojen haavoittuvuus". <https://bit.ly/2tLHp0f>
- Sosiaali- ja terveysministeriö, 2020. "Kansallinen toimintasuunnitelma radonista aiheutuvien riskien ehkäisemiseksi". Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2020:20. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-5445-8>
- Suomen Akatemia, n.d. "Ilmastonmuutos ja terveys – CLIHE (2020-2023)". <https://www.aka.fi/tutkimusrahoitus/ohjelmat-ja-muut-rahoitusmuodot/akatemiaohjelmat/ilmastonmuutos-ja-terveys---clihe-2020-2023/>
- Suomen vesilaitosyhdistys ry, 2020. "Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 63. " https://www.vvy.fi/site/assets/files/5239/vesihuollon_investointitarpeet_vvy_10092020_final.pdf

- Suomen ympäristökeskus, 2014. "Itämeren erityispiirteet saattavat kadota ilmaston muuttuessa". Ilmasto-opas.fi. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/itameren-erityispiirteet-saattavat-kadota-ilmaston-muuttuessa>
- Suomen ympäristökeskus, 2020. "Suojelualueiden pienilmasto muuttuu voimakkaasti". [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Suojelualueiden_pienilmasto_muuttuu_voim\(54645\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Suojelualueiden_pienilmasto_muuttuu_voim(54645))
- Suomen ympäristökeskus, n.d. "Pyöräily voi hyötyä lauhtuvista talvista". <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/pyoraily-voi-hyotya-lauhtuvista-talvista>
- Suvanto, S., Henttonen, H. M. Nöjd P. & Mäkinen H. 2016. "Forest Susceptibility to Storm Damage Is Affected by Similar Factors Regardless of Storm Type: Comparison of Thunder Storms and Autumn Extra-Tropical Cyclones in Finland". *Forest Ecology and Management* 381:17–28. <http://www.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.005>
- Sääli2016-hanke. 2017. "Sääolosuhteiden aiheuttamat liikenteen häiriöt ja vaikutukset liikennejärjestelmän toimintavarmuuteen". Ilmatieteen laitoksen, Liikenneviraston ja Liikenteen turvallisuusviraston yhteistutkimushanke, ei linkkiä saatavilla.
- Thaler, T., Attems, M-S., Bonnefond, M., Clarke, D., Gatien-Tournat, A., Gralépois, M., Fournier, M., Murphy, C., Rauter, M., Papathoma-Köhle, M., Servain, S., Fuchs, S., 2019. "Drivers and barriers of adaptation initiatives – How societal transformation affects natural hazard management and risk mitigation in Europe", *Science of The Total Environment*, Volume 650, Part 1. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.306>
- THL 2019a . "Pogostantauti". 2019. <https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/audit-ja-torjunta/audit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/pogostantauti>
- THL 2019b. "Jänisrutto eli tularemia". 2019. <https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/audit-ja-torjunta/audit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/janisrutto-eli-tularemia>
- Traficom, 2021. "Tekninen toimivuus teletoiminnassa". <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/tekninen-toimivuus-teletoiminnassa>
- Tuomenvirta, H., Haavisto, R., Hildén, M., Lanki, T., Luhtala, S., Meriläinen, P., Mäkinen, K., Parjanne, A., Peltonen-Sainio, P., Pilli-Sihvola, K., Pöyry, J., Sorvali, J. & Veijalainen, N. 2018. "Sää- ja ilmatoriskit Suomessa – Kansallinen arvio". Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-601-0>
- Turun kaupunki, n.d. "CIVITAS ECCENTRIC-hanke". <https://www.turku.fi/civitas-eccentric>
- Turunen, M., Rasmus, S., Bavay, M., Ruosteenoja, K., & Heiskanen, J., 2016. "Coping with difficult weather and snow conditions: Reindeer herders' views on climate change impacts and coping strategies". *Climate Risk Management* 11: 15–36. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2016.01.002>

- Uusitalo, R. et al., 2020. "Modelling habitat suitability for occurrence of human tick-borne encephalitis (TBE) cases in Finland". *Ticks and Tick-borne Diseases* 2020;11:101457. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116516>
- Uusitalo, R., Siljander, M., Culverwell, C.L., Hendrickx, G., Lindén, A., Dub, T., Aalto, J., Sane, J., Marsboom, C., Suvanto, M.T., Vajda, A., Gregow, H., Korhonen, E.M., Huhtamo, E., Pellikka, P., Vapalahti, O. 2021. "Predicting Spatial Patterns of Sindbis Virus (SINV) Infection Risk in Finland Using Vector, Host and Environmental Data". *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(13):7064. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137064>
- Vajda, A., Tuomenvirta, H., Jokinen, P., Luomaranta, A., Makkonen, L., Tikanmäki, M., Groenemeijer, P., Saarikivi, P., Michaelides, S., Papadakis, M., Tymvios, F., Athanasatos, S., 2011. "Probabilities of adverse weather affecting transport in Europe: climatology and scenarios up to the 2050s". <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/28592>
- Vanha-Majamaa, I., Aalto, J., Lehtonen, I., Lindberg, H., Shorohova, E., Venäläinen, A., 2021. "The occurrence of forest fires depends on characteristics of forest fuels, weather, and human activities". Teoksessa Aalto, Juha ja Venäläinen, Ari (toim.) 2021. *Climate Change and Forest Management Affect Forest Fire Risk in Fennoscandia*. Ilmatieteen laitos (Finnish Meteorological Institute), Report 2021:3, Helsinki. 17-27. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/330898>
- Veijalainen, N., Ahopelto, L., Marttunen, M., Jääskeläinen, J., Britschgi, R., Orvomaa, M., Belinskij, A., Keskinen, M., 2019. "Severe Drought in Finland: Modeling Effects on Water Resources and Assessing Climate Change Impacts". *Sustainability* 11, 2450. <https://doi.org/10.3390/su11082450>
- Veijalainen, N., Ruosteenoja, K., Uusikivi, A., Mäkelä, A., Vehviläinen, B., 2018. "Ilmastonmuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla". Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja 27/2018, 44 s. <http://hdl.handle.net/10138/255640>
- Veijalainen, N., Rytkönen, A.-M. & Parjanne, A., 2020. "Ilmastonmuutoksen huomioon ottaminen vesienhoitotyössä. Vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelu vuosille 2022–2027". https://www.ymparisto.fi/download/TPO_ilmastonmuutoksen_huomioon_ottaminen_vesienhoitotyossa_ohjeistus_vuosille_2022_2027_Finalpdf/%7B9CBA591C-D6E6-4A5F-960C-23A8A3F31D8F%7D/156005
- Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O-P, Viiri H., Ikonen V-P. & Peltola, H., 2020. "Ilmastonmuutos lisää metsätuhojen riskejä Suomessa". *Metsätieteen aikakauskirja* 2020-10454. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.15183>
- Viitanen, L., 2015. "Ilmastonmuutoksen vaikutukset lentoasemien hulevesijärjestelmiin ja liukkaudentorjuntaan sekä vaikutuksiin varautuminen". Diplomityö. <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tyy-201510221688>

- Viitasalo, M. & Bonsdorff, E., 2022. "Global climate change and the Baltic Sea ecosystem: direct and indirect effects on species, communities and ecosystem functioning". *Earth System Dynamics* 13 (2): 711–747. <https://doi.org/10.5194/esd-13-711-2022>
- Virtanen, K. (toim.), 2023. "Ilmastonmuutokseen liittyvät alueelliset ominaispiirteet ja haavoittuvuudet Suomessa: Tarkastelu Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman 2030 taustaksi". Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-588-0>
- Väylävirasto, 2020. "Rataverkon tavoiteltava kehityskuva vuoteen 2050". Väyläviraston julkaisu 43/2020. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/180412/vj_2020-43_978-952-317-798-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985. "Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions". *Water International* 10, 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Wisner, B., 2016. "Vulnerability as Concept, Model, Metric, and Tool". <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.25>
- World Health organization (WHO) 2020. "Vector-borne diseases". <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>
- World Health organization (WHO) 2018. "List of Blueprint priority diseases". <https://web.archive.org/web/20200301083134/http://origin.who.int/blueprint/priority-diseases/en/>
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B. 2016. "Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation". *Environment international*, 86, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.007>
- Xu, R., Yu, P., Abramson, M. J., Johnston, F. H., Samet, J. M., Bell, M. L., Haines, A., Ebi, K. L., Li, S., & Guo, Y. 2020. "Wildfires, Global Climate Change, and Human Health". *The New England journal of medicine*, 383(22), 2173–2181. <https://doi.org/10.1056/NEJMSr2028985>
- Ympäristöministeriö. 2014. Kaivosten ympäristöturvallisuus. Viranomaistyöryhmän loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 3/2014. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42781>
- Ympäristöministeriö, 2016. "Ympäristöhallinnon ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma 2022". Ympäristöministeriön raportteja 25, 2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4629-9>
- Ympäristöministeriö ja Tilastokeskus, 2022. Finland's Eighth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. https://www.stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/fi_nc8_final.pdf
- Zander, K.K., Botzen, W.J.W., Oppermann, E., Kjellstrom, T., Garnett, S.T. 2015. "Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia". *Nat Climate Change* 5: 64–651. <https://doi.org/10.1038/nclimate2623>



VALTIONEUVOSTO
STATSRÅDET

SNELLMANINKATU 1, HELSINKI
PL 23, 00023 VALTIONEUVOSTO
valtioneuvosto.fi
julkaisut.valtioneuvosto.fi

ISBN pdf: 978-952-383-566-5
ISSN pdf: 2490-0966