

# Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI)

Adriaan Perrels, Juha Haakana, Outi Hakala, Susanna Kujala, Ilona Láng-Ritter, Heikki Lehtonen, Jussi Lintunen, Johanna Pohjola, Mikko Sane, Stefan Fronzek, Sanna Luhtala, Erkki Mervaala, Anna Luomaranta, Kirsti Jylhä, Kauko Koikkalainen, Eeva Kuntsi-Reunanen, Tuukka Rautio, Heikki Tuomenvirta, Jussi Uusivuori, Noora Veijalainen

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA  
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2022:37

[tietokayttoon.fi](https://tietokayttoon.fi)

# Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI)

Adriaan Perrels, Juha Haakana, Outi Hakala,  
Susanna Kujala, Ilona Láng-Ritter, Heikki Lehtonen,  
Jussi Lintunen, Johanna Pohjola, Mikko Sane,  
Stefan Fronzek, Sanna Luhtala, Erkki Mervaala,  
Anna Luomaranta, Kirsti Jylhä, Kauko Koikkalainen,  
Eeva Kuntsi-Reunanen, Tuukka Rautio, Heikki Tuomenvirta,  
Jussi Uusivuori, Noora Veijalainen

**Julkaisujen jakelu**

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston  
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-  
arkivet Valto

[julkaisut.valtioneuvosto.fi](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi)

**Julkaisumyynti**

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston  
verkkokirjakauppa**

Statsrådets  
nätbokhandel

[vnjulkaisumyynti.fi](http://vnjulkaisumyynti.fi)

**Adriaan Perrels**, Ilmatieteen laitos; **Juha Haakana**, Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto; **Outi Hakala**, Helsinki yliopisto Ruralia instituutti; **Susanna Kujala**, Helsinki yliopisto Ruralia instituutti; **Ilona Láng-Ritter**, Ilmatieteen laitos; **Heikki Lehtonen**, Luonnonvarakeskus; **Jussi Lintunen**, Luonnonvarakeskus; **Johanna Pohjola**, Suomen ympäristökeskus; **Mikko Sane**, Suomen ympäristökeskus; **Stefan Fronzek**, Suomen ympäristökeskus; **Sanna Luhtala**, Ilmatieteen laitos; **Erkki Mervaala**, Suomen ympäristökeskus; **Anna Luomaranta**, Ilmatieteen laitos; **Kirsti Jylhä**, Ilmatieteen laitos; **Kauko Koikkalainen**, Luonnonvarakeskus; **Eeva Kuntsi-Reunanen**, Ilmatieteen laitos; **Tuukka Rautio**, Ilmatieteen laitos; **Heikki Tuomenvirta**, Ilmatieteen laitos; **Jussi Uusivuori**, Luonnonvarakeskus; **Noora Veijalainen**, Suomen ympäristökeskus

Valtioneuvoston kanslia

This publication is copyrighted. You may download, display and print it for Your own personal use. Commercial use is prohibited.

ISBN pdf: 978-952-383-056-1

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2022

## Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI)

### Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:37

**Julkaisija** Valtioneuvoston kanslia

**Tekijä/t** Adriaan Perrels, Juha Haakana, Outi Hakala, Susanna Kujala, Ilona Láng-Ritter, Heikki Lehtonen, Jussi Lintunen, Johanna Pohjola, Mikko Sane, Stefan Fronzek, Sanna Luhtala, Erkki Mervaala, Anna Luomaranta, Kirsti Jylhä, Kauko Koikkalainen, Eeva Kuntsi-Reunanen, Tuukka Rautio, Heikki Tuomenvirta, Jussi Uusivuori, Noora Veijalainen

**Kieli** suomi **Sivumäärä** 159

**Tiivistelmä** KUITTI-projektissa arvioitiin ilmastonmuutosriskien suoria ja välillisiä kustannuksia Suomelle, ennakoivan ja reaktiivisen sopeutumisen väliset erot huomioiden. Lisäksi tarkasteltiin ilmastonmuutoksen ja sopeutumisen taloudellisten vaikutusten arvioimiseen tarvittavan tiedon saatavuutta Suomessa sekä tuotettiin katsaus innovaatiotarpeista ja vaihtoehtoista, jotka palvelevat ilmastonmuutokseen sopeutumista.

Merkittävimpien ilmastonmuutosvaikutusten tarkastelun perusteella valittiin jatkoanalyysijä varten toimialayhdistelmät, jotka olivat: rakennettu ympäristö erityisesti tulvariskien osalta, sähköjakeluverkkojen häiriöt sekä erilaiset vaikutukset maa- ja metsätalouden tuotoksiin.

Yhdistettyjen ilmasto- ja sosioekonomisten skenaarioiden SSP1-RCP2.6 ja SSP3-RCP4.5 perusteella arvioitiin tulevaisuuden taloudellisia riskitasoja valituille toimialoille sektorimallilla vuodesta 2020 vuoteen 2070. Mallilaskelmien tulokset syötettiin kansalliseen makrotaloudelliseen malliin, jossa on alueellisia laajennuksia makrotaloudellisten vaikutusten arvioimiseksi. Lisäksi tehtiin kevyt tarkastelu matkailun, tieliikenteen, vesihuollosta sekä terveydenhuollon osalta.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen kansainväliseen kilpailuasemaan analysoitiin globaalilla makrotaloudellisella mallilla. Lopuksi käytiin läpi mahdollisia merkittäviä vaihtoehtoja taloudellisesti kannattaville sopeutumisratkaisuille.

**Klausuuli** Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

**Asiasanat** tutkimus, tutkimustoiminta, ilmastonmuutos, sopeutuminen, taloudelliset vaikutukset

**ISBN PDF** 978-952-383-056-1

**ISSN PDF** 2342-6799

**Julkaisun osoite** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-056-1>

## Bedömning av kostnaden för passivitet avseende klimatförändringar (KUITTI)

---

Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2022:37

**Utgivare** Statsrådets kansli

---

**Författare** Adriaan Perrels, Juha Haakana, Outi Hakala, Susanna Kujala, Ilona Lång-Ritter, Heikki Lehtonen, Jussi Lintunen, Johanna Pohjola, Mikko Sane, Stefan Fronzek, Sanna Luhtala, Erkki Mervaala, Anna Luomaranta, Kirsti Jylhä, Kauko Koikkalainen, Eeva Kuntsi-Reunanen, Tuukka Rautio, Heikki Tuomenvirta, Jussi Uusivuori, Noora Veijalainen

**Språk** finska **Sidantal** 159

---

**Referat** Inom KUITTI-projektet bedömdes de direkta och indirekta kostnaderna i Finland för risker associerade med klimatförändringar samtidigt som man särskiljde proaktiv och reaktiv anpassning. Dessutom granskades tillgången på data som är nödvändiga för att bedöma de ekonomiska effekterna av klimatförändringar och anpassning i Finland, samt företogs en överblick över innovationsbehov och alternativ för anpassning till klimatförändringar.

Utifrån en genomgång av de mest relevanta klimatförändringseffekterna valdes sektorkombinationer för vidare analys: bebyggd miljö med särskild hänsyn till översvämningsrisker, störningar i eldistributionsnäten, olika effekter på jordbruksproduktionen samt olika effekter på skogssektorns produktionsvärde.

Utifrån kombinerade klimat- och socioekonomiska scenarier SSP1-RCP2.6 och SSP3-RCP4.5 bedömdes framtida ekonomiska risknivåer för utvalda sektorer med hjälp av sektormodeller. Modellresultaten matades in i en nationell makroekonomisk modell med regionala utvidgningar för att bedöma makroekonomiska effekter. Dessutom företogs en flyktig överblick över turism, vägtransporter, dricksvatten- och sanitetsnät samt hälsa.

Klimatförändringarnas effekter på Finlands internationella konkurrenskraft analyserades med hjälp av en global makroekonomisk modell. Sist men inte minst granskades beaktansvärda alternativ för ekonomiskt fördelaktiga anpassningslösningar

**Klausul** Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan.(tietokaytoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.

**Nyckelord** forskning, forskningsverksamhet, anpassning, klimatförändring, ekonomiska konsekvenser

---

**ISBN PDF** 978-952-383-056-1

**ISSN PDF** 2342-6799

---

**URN-adress** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-056-1>

---

## Assessment of the cost of inaction regarding climate change (KUITTI)

---

### Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2022:37

**Publisher** Prime Minister's Office

---

**Author(s)** Adriaan Perrels, Juha Haakana, Outi Hakala, Susanna Kujala, Ilona Lång-Ritter, Heikki Lehtonen, Jussi Lintunen, Johanna Pohjola, Mikko Sane, Stefan Fronzek, Sanna Luhtala, Erkki Mervaala, Anna Luomaranta, Kirsti Jylhä, Kauko Koikkalainen, Eeva Kuntsi-Reunanen, Tuukka Rautio, Heikki Tuomenvirta, Jussi Uusivuori, Noora Veijalainen

**Language** Finnish **Pages** 159

---

**Abstract** The KUITTI project assessed the direct and indirect cost of climate change risks for Finland while distinguishing proactive and reactive adaptation. It also reviewed the availability of data necessary for assessing the economic effects of climate change and adaptation in Finland, and provided an outlook of innovation needs and options which serve adaptation to climate change

On the basis of a review of the most relevant climate change effects– sector combinations were selected, for further analysis, being: built environment with special reference to flood risks, disruptions in electricity distribution networks, various effects on agricultural output, and various effects on the forest sector production value.

Based on combined climate and socioeconomic scenarios SSP1-RCP2.6 and SSP3-RCP4.5 future economic risk levels for selected sectors were assessed using sector models. The results of the model exercises were fed to a national macro-economic model with regional extensions to assess macro-economic effects. In addition, a light touch scanning was conducted for tourism, road transport, drinking water and sanitation networks, and health.

The effects of climate change on the Finnish international competitive position were analyzed with a global macro-economic model. Last but not least possible significant options for economically beneficially adaptation solutions were reviewed.

**Provision** This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokaytoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

**Keywords** research, research activities, adaptation, climate change, economic impacts

---

**ISBN PDF** 978-952-383-056-1

**ISSN PDF** 2342-6799

---

**URN address** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-056-1>

---

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto – hankkeen tavoitteet ja luonne .....</b>	<b>10</b>
1.1	Tutkimusaiheen tausta .....	10
1.2	Hankkeen kysymykset ja rakenne .....	12
1.3	Ilmastonmuutos ja sopeutuminen kansantaloudellisesta näkökulmasta .....	14
<b>2</b>	<b>Luonnonilmiöiden riskiketjut.....</b>	<b>17</b>
2.1	Luonnonilmiöt ja ilmastonmuutos Suomessa ja muualla.....	17
2.2	Luonnonilmiöiden riskiketjut ja epävarmuudet .....	23
2.2.1	Johdanto.....	23
2.2.2	Tulvatapahtumien riskiketjut .....	27
2.2.3	Sähköjakelun riskiketjut .....	28
2.2.4	Metsätalouden riskiketjut .....	30
2.2.5	Maatalouden riskiketjut.....	31
<b>3</b>	<b>Luonnonilmiöiden kustannustiedot.....</b>	<b>33</b>
3.1	Luonnonilmiöiden kustannukset.....	33
3.2	Luonnonilmiöiden vahinkokustannusten arvioinnit lähihistoriassa .....	35
3.2.1	Rakennettu ympäristö.....	35
3.2.1.1	Tulvat .....	35
3.2.1.2	Tieliikenne .....	37
3.2.2	Sähköjakelun häiriöt .....	39
3.2.3	Metsätalous .....	41
3.2.4	Maatalous.....	43
3.2.5	Muut sektorit.....	44
3.2.5.1	Matkailu.....	44
3.2.5.2	Terveys .....	45
3.2.6	Luonnonilmiöiden kustannuksien yhteenveto .....	46
3.3	Kartoitus ilmastonmuutoksen kustannustiedoista .....	47
3.4	Riskitietojen saatavuuden ja avoimuuden merkitys sopeutumiseen .....	49
<b>4</b>	<b>KUITTI-hankkeen skenaariovalinnat .....</b>	<b>51</b>
4.1	Skenaarion kokonaisrakenne ja käyttö.....	51

4.2	Ilmastonmuutoksen, talouden ja väestön perusurat – kansainvälisesti ja Suomessa .....	54
4.3	Reaktiivinen ja proaktiivinen sopeutuminen .....	58
4.4	Skenaariolähtökohdat toimialoittain.....	60
4.4.1	Rakennettu ympäristö.....	60
4.4.2	Sähkönjakelu ja sähköenergiajärjestelmä .....	62
4.4.3	Metsäsektori.....	64
4.4.4	Maatalous.....	67
4.5	Kokonaistaloudellisten mallien perusurat ja skenaariot.....	71
4.5.1	Kokonaistaloudellinen mallinnus, aineisto ja perusskenaariot.....	71
4.5.2	RegFinDyn-skenaariot.....	71
4.5.3	GTAP-skenaariot.....	73
<b>5</b>	<b>Toimialojen vaikutukset .....</b>	<b>78</b>
5.1	Rakennettu ympäristö .....	78
5.2	Sähkönjakelu.....	81
5.3	Metsäsektori.....	84
5.4	Maatalous.....	88
5.4.1	Maataloustuotannon muutokset SSP1-RCP2.6-skenaariossa .....	88
5.4.2	Maataloustuotannon muutokset SSP3-RCP4.5-skenaariossa .....	91
5.5	Yhteenveto sektorien skenaarion pohjaisista kustannusvaikutuksista .....	92
<b>6</b>	<b>Suomen makrotaloudelliset vaikutukset.....</b>	<b>94</b>
6.1	Vaikutukset kansallisella tasolla.....	94
6.2	Vaikutukset maakuntatasolla.....	96
6.3	Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin .....	100
6.4	Tarkastelun ulkopuolelle jääneet vaikutukset.....	101
<b>7</b>	<b>Maailmanlaajuiset vaikutukset ja niiden heijastuminen Suomeen.....</b>	<b>106</b>
7.1	Tehollinen työpanos .....	106
7.1.1	Globaalit talousvaikutukset.....	106
7.1.2	Heijaste- ja kauppavaikutukset.....	108
7.1.3	Tulosten arviointia .....	109
7.2	Maatalous.....	111
7.3	Muita vaikutuskanavia .....	114



<b>8</b>	<b>Innovaatiot joilla on merkittävä talouspotentiaali .....</b>	<b>115</b>
8.1	Kyselyn tulokset .....	115
8.2	Toimialojen innovaatiot .....	119
8.2.1	Maatalouden innovaatiot .....	119
8.2.2	Metsätalouden innovaatiot.....	120
8.2.3	Sähköjärjestelmän innovaatiot.....	121
8.2.4	Tulvariskien hallinnan innovaatiot.....	121
8.3	Läpileikkavat innovaatiot.....	122
<b>9</b>	<b>Johtopäätökset ja suositukset .....</b>	<b>123</b>
	<b>Liite 1 – Sanasto ja käsitteet .....</b>	<b>128</b>
	<b>Liite 2 – Riskiketjujen kuvaukset .....</b>	<b>130</b>
	L2.1 Tulvatapahtumien riskiketjut.....	130
	L2.2 Sähköjakelun riskiketjut.....	131
	<b>Liite 3 – Numeriset tiedot ääri-ilmiöiden kustannuksista.....</b>	<b>134</b>
	<b>Liite 4 – Luonnonilmiöiden riskitietojen saatavuus.....</b>	<b>136</b>
	<b>Liite 5 – Yleisen tasapainon mallien kuvaukset .....</b>	<b>140</b>
	<b>Liite 6 Tulva- ja sähkökatkosten vahinkojen kohdentaminen     alueellisesti.....</b>	<b>142</b>
	<b>Liite 7 Kyselyn kysymykset ja tulokset.....</b>	<b>143</b>
	<b>Lähteet.....</b>	<b>146</b>

## MUISTOKIRJOITUS – JOUKO KINNUNEN

Monien muiden tutkimushankkeiden tavoin myös KUITTI-hanke oli toteutettava koronarajoituksista huolimatta. Konsortion jäsenet oppivat nopeasti tekemään kaiken yhteistyön etänä. Tämä ei ollut kuitenkaan suurin huolestus. Heinäkuussa vuonna 2021 menehtyi tiimimme jäsen ja arvostettu ekonomisti Jouko Kinnunen. Hän osallistui hankkeeseen Ålands Statistik- och utredningsbyrån puolesta. Jouko oli ensisijaisesti hyvä kaveri mutta myös hyvin arvostettu, monipuolinen ja monitaitoinen taloustutkija. Joukon poismeno oli surullinen menetys tiimiille, ja olemme kaivaneet hänen syvää asiantuntemustaan eri talousmalleilla tehtyjen tarkastelujen yhteensovittamisessa. Toivomme, että hankkeen tuotos on hänen odotuksiensa mukainen.

Koko KUITTI-tutkijatiimi

# 1 Johdanto – hankkeen tavoitteet ja luonne

## 1.1 Tutkimusaiheen tausta

Suomen ilmastopolitiikassa eletään ilmasto- ja energiastrategian sekä sopeutumis-suunnitelman päivitysvaihetta. KUITTI-hankkeen tulokset tukevat muun muassa sopeutumissuunnitelman 2030 valmistelua sekä muita ilmastopolitiikan valmistelun ja toimeenpanon prosesseja. Tulokset ovat myös relevantteja kansalliselle huoltovarmuussuunnittelulle, kansainväliselle kauppapolitiikalle ja kehitysyhteistyölle. Lisäksi hanke luo uuden pohjan niille tutkijoille, joille tiedot ilmastonmuutoksen ja sopeutumisen kokonaisvaltaisista taloudellisista vaikutuksista ovat tärkeitä.

Äskettäin julkaistu IPCC:n Kuudennen arviointiraportin toinen osa (IPCC 2022) ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja sopeutumisen mahdollisuuksista ja edellytyksistä antaa hälyttävän kuvan ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Raportissa myönnetään, että systemaattiset tiedot kustannusvaikutuksista puuttuvat vielä usein. Kustannustietoja löytyy tapauskohtaisesti, ja yleensä tiedot keskittyvät välittömiin kustannuksiin. Tiedot välillisistä taloudellisista ja kansantaloudellisista vaikutuksista ovat edelleen melko harvinaisia. Syynä tähän ei ole vain perustietojen puute vaan myös mallinnukseen ja eri (vuoro)vaikutusmekanismien ymmärtämiseen liittyvät haasteet.

Kun ilmastonmuutoksen fyysiset äärivaikutukset ovat kasvavassa määrin nähtävissä Euroopassa ja muualla maailmassa, on sekä julkisille että yksityisille sektoreille käynyt selväksi, että hillinnän lisäksi myös sopeutuminen vaatii välittömästi ponnistuksia. Näin ollen nousee kasvava tarve saada kvantitatiivisia arvioiteja riskeistä, kustannuksista ja hyödyistä. Erityisesti kunnat, maakunnat, julkiset ja yksityiset infrastruktuuriorganisaatiot (tiestö, vesistöt, vesihuolto, sähköverkko, jne.), metsä- ja maatalouden toimialat sekä finanssiala (rahoituksen ja vakuutusten fasilitaattorina) tarvitsevat pikkuhiljaa taloudellisia tietoja ilmastonmuutoksen riskeistä sekä sopeutumisen hyödyistä ja kustannuksista. On havaittu, että saatavilla oleva tieto on puutteellista tai tieto ei ole muutoin vapaasti käytettävissä tai saatavilla. Toisaalta tietyistä sään luonnon ääri-ilmiöistä, kuten tulvista ja myrskyistä, ja niiden välittömistä kustannuksista, on jo melko hyvin tietoa saatavilla, mutta monien muiden ilmiöiden kohdalla tietotilanne on paljon heikompi. Lisäksi yhden tai muutaman maan ryhmittymän tasolla ilmastomuutoksen kokonaistaloudellisista vaikutuksista on tehty vasta melko vähän tutkimusta. (Gregow ym. 2021)

Eri EU-tutkimukset ovat muodostaneet tärkeän tietolähteen taloudellisten vaikutusten osalta. PESETA-tutkimussarja (muun muassa Ciscar ym. 2018) on tukenut EU:n sopeutumisstrategiaa. PESETA-hankkeeseen ei kuitenkaan sisälly jäsenmaakohtaisia taloustietoja. Syksyllä 2021 päättynyt EU COACCH -hanke puolestaan tarjoaa juuri jäsenmaakohtaiset ja osittain myös alueelliset tiedot (esimerkiksi Bosello ym. 2020). Lisäksi hankkeessa huomioitiin suhteellisen paljon erilaisia vaikutuksia ja vuorovaikutuksia. Suomi tarvitsee silti itsekkin tutkimusta ilmastonmuutoksen ja siihen sopeutumisen taloudellisista vaikutuksista muun muassa siksi, että Suomessa osataan kuvata ja mallintaa useat prosessit kotimaan maa- ja metsätaloudessa, vesistöissä, jne. paremmin kuin koko mantereen kattavassa hankkeessa. Lisäksi tietyn ilmiön taloudelliset vaikutukset yhteen EU-jäsenmaahan voivat joskus poiketa merkittävästi naapurimaiden vaikutuksista. Näin ollen hyvin perustellut tiedot juuri Suomea koskevista taloudellisista vaikutuksista ovat arvokkaita päätöksentekoa varten.

KUITTI-hanke ei ole ensimmäinen tutkimus ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista Suomessa. Aiemmin Kinnunen 1992, Kuoppamäki 1996 ja Perrels ym. 2005 ovat suorittaneet kokonaistaloudelliset arvioinnit. Näiden hankkeiden tulokset ja olemukset ovat kuitenkin ajan myötä vanhentuneet. Siitäkin syystä uusi kokonaistaloudellinen arviointi on paikallaan. Suomessa on tehty paljon tutkimusta maatalouden ja metsätalouden ilmastonmuutoksen vaikutuksista maa- ja metsätalouteen ja toimenpiteiden vaihtoehtoista, mutta vastaavat tutkimukset sisältävät aika vähän kvantitatiivista taloudellista tietoa toimialan tasolla. Poikkeuksen muodostaa vesistöjen ja rannikkotulvariskien kuvaus. Siitä on tehty ilmastoskenaarioanalyysi (Parjanne ym. 2018), vaikka sekin koskee "vain" välittömiä vahinkokustannuksia eikä alueellista tai kansallista taloudellista kehitystä.

Sopeutumistarpeen kvantitatiivinen arviointi sisältää paljon erilaisia epävarmuuksia: ajallisia, spatiaalisia ja voimakkuuteen liittyviä. Tämä skenaariorippuvainen monipuolinen riskikuvaus on oleellinen ominaisuus sopeutumiselle ja näin ollen myös sopeutumisen kustannusten ja hyötyjen arvioinnille. Siksi tutkimuksen luonne on eksploratiivinen. Hankkeessa käytetään eri talousmalleja koordinoitusti. Tutkimustiimi joutuu tekemään paljon valintoja, muun muassa skenaarion määrittelyssä sekä ilmiöiden ja vaikutusten merkityksellisyden arvioinnissa. Sitä paitsi tietojen saatavuus ja kattavuus on hajanaista ja epätäydellistä. Siksi on tärkeää tulkita tutkimuksen tulokset, kvantitatiiviset ja kvalitatiiviset, suuntaa ja suuruusluokkaa antavina sekä indikaatioina tärkeysjärjestyksestä ja eri vaikutuksien vaihtokaupasta.

## 1.2 Hankkeen kysymykset ja rakenne

Hankkeen kokonaistavoite on kansallisen kokonaiskustannusarvion luominen ilmastomuutoksen vaikutuksiin liittyvistä taloudellisista riskeistä. Arvio tehdään olemassa olevan kirjallisuuden ja uuden laskennan perusteella politiikan päätöksenteon sekä eri tahojen sopeutumisen suunnittelun ja toimeenpanon avuksi.

**Osatavoite 1:** Osittaisten riski- ja kustannusarviointien perusteella sekä päivitettyjen taloudellisten arviointi- ja mallinnusmenetelmien avulla arvioimme ilmastomuutoksen Suomelle aiheuttamat välittömät ja välilliset kustannukset lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, eri varautumisasteet huomioiden. Kuvaamme myös viime vuosikymmenten aikana Suomessa tapahtuneiden luonnon ääri-ilmiöiden taloudelliset vaikutukset, ja sen yhteydessä selitämme keskeisten käsitteiden ja termien merkitykset sekä vahinkojen ja vaikutusten mittaamisen ja epävarmuuden haasteet.

**Osatavoite 2:** Hankkeen tulokset auttavat hahmottamaan nykyistä paremmin, mitkä ovat ilmastomuutoksen aiheuttamat merkittävimmät taloudelliset riskit ja mitkä toimenpiteet lieventävät näitä riskejä tehokkaimmin. Hankkeessa tuotettua tietoa voidaan hyödyntää ilmastomuutokseen sopeutumisen strategisessa suunnittelussa, erityisesti sopeutumiseen ja varautumiseen liittyvien kustannustehokkaiden politiikkatoimien priorisoinnissa ja ajoittamisessa. Tavoitteena on antaa suomalaisille keskeisille toimijoille hankkeen tuottamat tulokset selkeässä, ymmärrettävässä ja käyttökelpoisessa muodossa. Hankkeessa tuotetun tiedon avulla voidaan saada aikaan myös kansainvälistä vaikuttavuutta.

**Osatavoite 3:** Tutkimuksellisen laadun ja uutuuden ansiosta julkaisemme vähintään yhden vertaisarvoidun artikkelin kansainvälisessä korkealle arvostetussa lehdessä, joten markkinoimme myös Suomen edistyskäsitystä tässä aiheessa, hankkeen akateemisen ansion lisäksi.

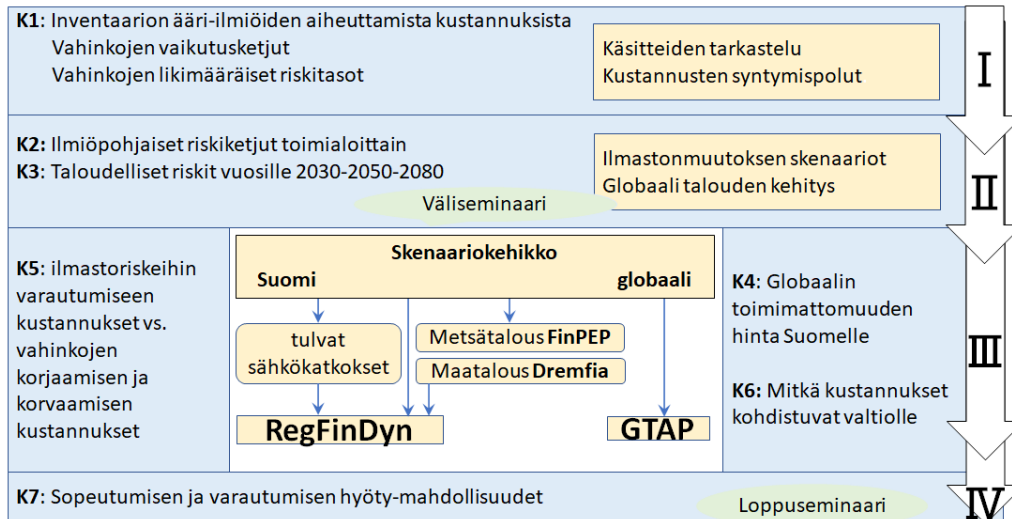
Hankkeessa vastaamme VN TEAS -hakuun kuuluvan teemakuvauksen kysymyksiin. Tutkimus ei tule vastamaan kaikkiin kysymyksiin erikseen, vaan käsittelee näitä yhdessä eri näkökulmia soveltaen. Taulukko 1.1 esittää nämä kysymykset sekä raportin luvut, joissa käsitellään näitä kysymyksiä.

**Taulukko 1.1** Tutkimuksen ohjaavat kysymykset ja luvut, joissa käsitellään näitä

Kysymys	Luku
1 Millaisia taloudellisia kustannuksia luonnon ääri-ilmiöt ovat aiheuttaneet Suomessa vuosina 1990–2019?	2, 3
2 Mistä ilmastonmuutoksen taloudelliset riskit muodostuvat keskeisillä toimialoilla (vähintään: energia, maatalous, liikenne ja taloudelle merkittävät teollisuudenalat, kuten metsä- teknologia- ja kemianteollisuus) ja miten ne kohdistuvat eri toimijoihin (yksityiset ja julkiset)? Mistä muut keskeiset taloudelliset riskit muodostuvat ilmiöpohjaista tarkastelua sovellettaessa tai esimerkiksi tiettyjen muiden toimialojen, kuten liikenteen tai terveysvaikutusten osalta?	2, 3, 5
3 Miten ilmastonmuutoksen taloudelliset riskit kehittyvät eri skenaarioiden valossa tulevina vuosina vuosien 2030–2050–2080 aikajäniteillä?	4
4 Mikä on globaalin toimimattomuuden hinta Suomelle? Millaiset ovat ilmastonmuutoksen vaikutukset maailmantalouteen ja sitä kautta Suomen talouteen eri vaikutuspolkujen kautta (muun muassa logistiikka, raaka-aineiden saatavuus)?	6
5 Miten kustannukset, jotka liittyvät keskeisiin ilmastoriskeihin varautumiseen, suhteutuvat vahinkojen korjaamisen ja korvaamisen kustannuksiin?	5, 6
6 Mitkä kustannukset kohdistuvat valtiolle?	6
7 Millaisilla toimilla Suomi voi lisätä taloudellista hyötyä ilmastonmuutokseen varautumisesta ja sopeutumisesta?	7

Hanke koostui neljästä vaiheesta (Kuva 1.1), ja kussakin vaiheessa käsitelimme yhden tai useamman teeman kysymyksen. Ensimmäisessä vaiheessa toteutimme inventaarion luonnon ääri-ilmiöiden aiheuttamista kustannuksista ja selvitimme vahinkojen vaikutukset sekä likimääräiset riskitasot (kysymys K1). Muun muassa eri luonnonilmiöiden luonteet ja riskitasot voidaan määrittellä eri tavoin. Siksi ensimmäisen kysymyksen käsittelyn yhteydessä olemme tarkastelleet keskeiset käsitteet ja tässä hankkeessa käytetyt mahdolliset tulkinnot. Tässä vaiheessa määrittelimme hankkeessa käytettävät kustannusarviointimenetelmät. Ensimmäisen vaiheen tulos on tietynlainen peruskuva, jonka lisäksi rakensimme toimialakohtaiset riskiprofiilit erikseen eri skenaarioille (kysymykset K2+K3), minkä jälkeen malliklusterin avulla laskimme välittömät sekä välilliset kustannukset toimialoittain sekä valtakunnallisesti että osittain myös alueellisesti (kysymykset K4+K5+K6). Lopulta tarkastelimme sopeutumisen ja varautumisen innovaatiopotentialia (kysymys K7) edellisen vaiheen skenaarioiden perusteella.

**Kuva 1.1** KUITTI-hankkeen vaiheet kysymyksiä suhteessa



RegFinDyn on kokonaistaloudellinen malli, joka kuvaa koko Suomen ja maakuntien taloutta. GTAP on globaali kokonaistaloudellinen malli, joka kuvaa globaalitalouden vaikutuksia Suomeen. FinPEP ja Dremfia ovat toimialatalousmallit.

## 1.3 Ilmastomuutos ja sopeutuminen kansantaloudellisesta näkökulmasta

Ilmastomuutos vaikuttaa geofyysisiin ja luonnollisiin olosuhteisiin. Jos nämä olosuhteet ylittävät tietyn taloudellisen toiminnan tai pääoman sietokyvyn, syntyy taloudellisia menetyksiä. Eri taloudellisten mekanismien takia suhde taloudellisen vaikutuksen mitatakaan ja sen alkuperäisen aineellisen syyn välillä ei ole suoraviivasta. Esimerkiksi aineellisen tuotoksen menetys voi rajoittaa tuotteen saatavuutta, minkä seurauksena hinta nousee, (Schaub ja Finger 2020). Se taas voi liittyä tilanteeseen, jossa toimialan rahallinen tuotos jää suunnilleen ennalleen. Schaub ja Finger (2020) ovat todistaneet sellaiset mekanismit Saksan viljelyssä. Sellainen hintareaktio tarkoittaa myös, että tuottaja pystyy siirtämään osan riskeistä ostajille.

On myös tärkeä ymmärtää, että kilpailukyky on suhteellinen käsite. Jos olosuhteet huonontuvat tietyssä maassa mutta huonontuvat vielä enemmän muissa maissa, suhteellisesti vähän kärsivän maan kilpailukyky paranee, minkä seurauksena lopputulos voi olla jopa positiivinen (Bosello ym. 2020).

Edellä mainitut mekanismit edustavat osan autonomisesta (tai automaattisesta) sopeutumiskyvystä (Smit ym. 2001). Jos automaattinen sopeutumiskyky toimii hyvin ja ponnistukset jakautuvat (melko) tasavertaisesti, ilmastonmuutoksen aiheuttamat kustannukset jäävät todennäköisesti alhaisiksi. Jos vaikutukset kasvavat, esimerkiksi kun keskilämpötila jatkaa nousuaan, automaattinen sopeutumiskyky ei usein enää riitä, ja tarve lisäsopeutumiseen kasvaa. Vaikka silloin sopeutuminen aiheuttaa kustannuksia, sen puute aiheuttaisi ajan myötä vielä enemmän kustannuksia tai johtaisi toiminnan loppumiseen. Jos on mahdollista ennakoida muutosten vauhtia ja suuruutta, myös sopeutumistoimia voidaan suunnitella. Tämä edellyttää hyvälaatuisien riskitietojen hyvää saatavuutta. Tässä tutkimuksessa tarkastelemme ennakoivan sopeutumisen mahdollisia etuja (ks.luku 4.4).

Periaatteessa ilmastonmuutoksen vaikutukset heijastuvat talouteen kahdella tavalla (Hallegatte 2015):

1. Taloudellisen toiminnan tehokkuuden menetyksen takia: tuottavuus vähenee, koska toimintaolosuhteet huonontuvat. Ilman sopeutumista etenevä ilmastonmuutos voi tarkoittaa, että tietyn toiminnan kannattavuus laskee nolnaan tai negatiiviseksi. Esimerkit ovat lumipeiteen supistuminen ja talvimatkailu sekä helleaallot ja työn tuottavuus.
2. Kiinteän pääoman arvon menetyksen takia: joko on tapahtunut pääoman häviö esim. ääri-ilmiön seurauksena tai pääoman kyky mahdollistaa tehokasta toimintaa on huonontunut, esim. kun toimistokiinteistö ei ole sopeutunut nouseviin kesälämpötiloihin.

Tässä tutkimuksessa painopiste on ensin mainitussa taloudellisessa vaikutuksessa. Toinen taloudellinen vaikutustyyppi tulee esiin tulvien aiheuttamissa kiinteistön korjauskustannuksissa (luvut 2.2.2 ja 3.2.1). Ilmastonmuutoksen vaikutusta pääoman arvonmuodustukseen ei ole vielä paljon tutkittu. Campiglio ym. 2019 mainitsee muutamia tutkimukset, joissa tutkittiin Yhdysvaltain osakemarkkinoiden hintakehitystä ääri-ilmiöiden esiintymisen yhteydessä. Poikkeus on kiinteistömarkkinat ja eri luonnonriskien (tiedon) vaikutukset kiinteistön hintoihin (mm. Votsis ja Perrels 2016). Tässä tutkimuksessa ei tutkita kiinteistön hintojen vaikutuksia, koska fokus on koko maan ja alueellisessa kansantaloudellisessa kehityksessä, edustettuna bruttokansantuotteella sekä toimialojen kehityksellä. Kiinteistön ja yleensä varojen hintaherkkyys suhteessa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin olisi relevantti tieto esimerkiksi pitkäjänteisen sopeutumisen vaikuttavuuden arvioimiseksi, mutta toistaiseksi tämä tutkimusteema on vielä alkumetreilläään. Lisäksi eri epävarmuuksien takia se olisi vain yksi suunta antava indikaattori muiden ohella.



Tutkimuksen fokus rahallisiin tuotantovaikutuksiin ei tarkoita muiden mittareiden merkityksen aliarviointia (ks. myös luku 3.1). Tutkimuksessa yritämme huomioida niin sanottuja hyvinvointivaikutuksia lisätietona. Jos nämä luvut poikkeavat paljon rahallisista vaikutuksista, lisäponnistelut vaikutusten vähentämiseksi lienevät oikeutettuja. Toisin sanoen tämä tutkimus antaa tietoja siitä, miten paljon kustannuksia voidaan mielekkäästi välttää taloudellisesta näkökulmasta. On kuitenkin hyvin mahdollista, että sosiaalisesta tai ympäristöllisestä syystä on suositeltavaa investoida enemmän tai aiemmin. Tässä hankkeessa ekosysteemien palvelujen muutokset ovat osittain mukana maatalouden ja metsäsektorin laskelmissa. Toisaalta ei ole mahdollista ottaa huomioon koko Suomen biodiversiteetin ja ekosysteemien palvelujen muutoksia. Se vaatii vastaavien systeemien kattavan ja taloudellisesti relevantin kuvauksen, kuten esimerkiksi tehty Isossa-Britanniassa (Watson ym 2011).

Ilmastonmuutoksen taloudellisten vaikutusten arviointi on mutkikasta päällekkäisten epävarmuuksien takia. Osa näistä epävarmuuksista pystytään käsittelemään skenaariovaihtoehtojen avulla. Vaikka ilmastonmuutoksen kehityspolku ja sosioekonominen kehitys (BKT, väestö) on määritelty, jää jäljelle kuitenkin paljon epävarmuutta eri luonnonilmiöiden voimakkuuksien, koettujen aineellisten vaikutusten (vahinko tai hyöty) sekä taloudellisten vaikutusten (välittömät kustannukset tai hyödyt sekä (lopulta) makrotaloudelliset vaikutukset) johdosta. Usein ilmastonmuutoksen vaikutukset johtavat seurauksiin, jotka hyödyttävät toista ja vahingoittavat toista, mutta kokonaistaloudellinen nettovaikutus on lähes nolla. Näihin vaikutusketjuihin vaikuttavat monet muutkin asiat, kuten luonnon ja talouden pääoman kunto, vaihtoehtojen saatavuus sekä vakuutusten kattavuus.

Tässä tutkimuksessa emme käsittele julkisen ja yksityisen sektoreiden riskienhallintaa. Ilmastonmuutoksen riskienhallinnan toimintavalinnat voivat vaikuttaa varautumisen tehokkuuteen. Resurssien rajallisuuden vuoksi tätä ei ollut mahdollista huomioida laajasti. Periaatteessa seuraavat toimenpidetyypit ovat relevantteja:

- julkinen sektori: takuut; kompensatio, normit, vastuut
- yksityinen sektori: vakuutus, riskiluokitus/sertifiointi
- informaatiomarkkinat (jotka palvelevat julkisia ja yksityisiä tahoja sekä kansalaisia mahdollistaen tehokkaan sopeutumisen)

Tämä tutkimus ottaa informaation roolin huomioon (luku 3.4, 4.4 ja 8), koska se näyttää olevan tärkeä perusedellytys tehokkaalle sopeutumiselle.

## 2 Luonnonilmiöiden riskiketjut

### 2.1 Luonnonilmiöt ja ilmastonmuutos Suomessa ja muualla

Tässä kappaleessa kuvaamme lyhyesti tärkeimpiä, Suomeen vaikuttavia sää- ja ilmastoriskejä sekä niiden vaikutuksia nyt ja tulevaisuudessa. Keskitymme ensisijaisesti Suomen rajojen sisäpuolella tapahtuviin luonnonilmiöihin ja niihin liittyviin vahinkoihin sekä siihen, miten ilmastonmuutos vaikuttaa näihin molempiin. Kuvaamme lyhyesti kuitenkin myös Suomen rajojen ulkopuolelta Suomeen vaikuttavia ilmiöitä.

**Taulukko 2.1** Luonnonilmiöiden kuvaus ja vaikutukset

ILMIÖT	Kuvaus	Vahingot, ml. bioottiset jatkoilmiöt	Ilmaston-muutoksen vaikutus
<b>Myrskyt</b>	Myrskyt (keskituuli yli 21 m/s) ovat matalapaineisiin liittyviä säähäiriöitä, jotka ovat yleisempiä ja voimakkaimpia talvikaudella. Kesälläkin esiintyy myrskyjä, ja vaikka ne ovat yleensä heikompia kuin talvella, ne voivat olla vaikutuksiltaan lähes yhtä merkittäviä roudan puutteen ja puiden lehtien vuoksi.	Kaatuvat puut ja niiden aiheuttamat vahingot sähköverkolle, liikenteelle, metsätaloudelle ja rakennuksille. Myrskyt altistavat metsiä myös tuholaishyönteisille.	Epävarma, ei merkittävää signaalia suuntaan tai toiseen
<b>Rajuilma ja ukkonen</b>	Rajuilmat ja ukkonen syntyvät ilmakehän pystysuuntaisista lämpötilaeroista sekä niistä johtuvista ilman nousuliikkeistä. Rajuilmoihin liittyy salamointia, voimakkaita tuulen puuskia, sekä syöksyvirtauksia.	Paikalliset, mutta usein mittavat puustotuhot, sähkökatkot, liikennehäiriöt sekä salamoinnin aiheuttamat metsä- ja maastopalot	Epävarma, lämpenevä ilmasto kuitenkin tarjoaa tulevaisuudessa potentiaalin voimakkaiden ukkosten yleistymiselle.

ILMIÖT	Kuvaus	Vahingot, ml. bioottiset jatkoilmiöt	Ilmaston-muutoksen vaikutus
<b>Lumipyry</b>	Pyryttämällä satava lumi kinostuu ja pölyyää.	Puustotuhot, sähkökatkot, liikennehäiriöt- ja onnettomuudet	Epävarma (heikko kasvusignaali); yhdistelmäriskit kasvavat mahdollisesti.
<b>Tykkylumi ja lumikuormat</b>	Puihin kertyvää, raskasta ja usein kosteaa lumikertymää kutsutaan tykkylumeksi. Tykyn muodostuminen vaatii usein kostean ja lauhan sään. Esimerkiksi sumupilvi edistää tykyn syntyä ja lisää lumen painoa.	Puustotuhot, kattovauriot, sähkölinjavauriot ja sähkökatkot	Lumikuormien arvioidaan kasvavan Itä- ja Pohjois-Suomessa ilmaston lämpenemisen, ilman kosteuden lisääntymisen ja lisääntyvien lumisateiden myötä. Muualla lumikuormat pienenevät.
<b>Hulevesitulva ja rankkasade</b>	Rankkasateista aiheutunut tulviminen kaupunkialueella. Lyhytkestoinen ja nopea tulviminen	Rakennusten kastuminen, teiden katkeaminen	Kasvaa koko Suomessa, riskitaso vaihtelee kaupungin ominaisuuksien perusteella
<b>Vesistötulva</b>	Jokien ja/tai järvien tulviminen johtuen rankoista tai pitkäkestoisista sateista, lumen sulamisesta, jää- tai hydepadoista tai näiden yhdistelmistä	Rakennusten kastuminen, teiden katkeaminen, satovahingot. Suurtulvatilanteessa myös laajemmat paikalliset häiriöt yhteiskunnalle ja teollisuudelle, evakuoinnit	Epävarma. Vaikutukset vaihtelevat sijainnin, tarkasteltavan jakson ja vesistöalueen ominaisuuksien mukaan kasvusta pienenemiseen
<b>Rannikotulva</b>	Meriveden pinnan noususta aiheutunut tulviminen	Asuinrakennusten kastuminen, teiden katkeaminen, välttämättömyys-palveluiden katkeaminen, satamatoimintojen häiriintyminen	Vaihteleva. Suomenlahdella merivedenkorkeus nousee, Pohjanlahdella lähivuosikymmeninä ei muutosta, vuosisadan lopulla nousee. Muutokset tuulioloissa saattaa myös lisätä tulvia.
<b>Hellejaksot</b>	Hellejaksolla tarkoitetaan jaksoa, jossa lämpötila nousee joka päivä hellerajan yli (>25°C).	Kuolleisuus lisääntyy, riskiryhmien terveysongelmat, metsäpaloriskin kasvu sekä maatalouden haasteet	Yleistyvät jonkin verran keskilämpötilan nousun myötä.

ILMIÖT	Kuvaus	Vahingot, ml. bioottiset jatkoilmiöt	Ilmastonmuutoksen vaikutus
<b>Kuivuus</b>	Kuivuus liittyy usein pitkiin sateettomiin ja kuumiin jaksoihin, jolloin myös haihdunta kasvaa.	Vesihuollon toimintavarmuuden kärsiminen, sadon epäonnistuminen, kaarnakuoriaistuhot yleistyvät metsissä	Kuivuuden ennakoidaan lisääntyvän. Riskialtteimmat alueet ovat Varsinais-Suomi ja Uusimaa.
<b>Äärimmäinen kylmyys</b>	Pakkanen on kovaa tai kireää, kun lämpötila on alle -15 astetta maan eteläosassa, alle -20 astetta maan keskiosassa ja alle -25 astetta maan pohjoisosassa.	Kireät pakkaset aiheuttavat terveysongelmia riskiryhmille. Ilmastonmuutoksen myötä talvet muuttuvat kuitenkin lauhemmiksi, mikä voi aiheuttaa esimerkiksi hyönteistuhojen yleistymistä erityisesti pohjoisissa metsissä.	Todennäköisesti muuttuu harvinaisemmaksi keskilämpötilan nousun myötä

### **Myrskyt:**

Myrskyt liittyvät matalapaineiden alueisiin, ja ne muodostuvat vaakasuuntaisten lämpötilaerojen seurauksena keskileveysasteilla. Myrskyt ovat laajan skaalan ilmiöitä, ja niihin liittyy yleisesti voimakkaita tuulia. Myrskytuulet levittäytyvät usein laajalle alueelle matalapaineen keskuksen ympäristöön. Näin ollen myös tuhoja syntyy pienialaisempia rajuilmoja laajemmalla alueella. Suomessa myrskyksi luokitellaan tapaukset, joissa kymmenen minuutin keskituulennopeus ylittää 21 m/s. Matalapaineita esiintyy Suomessa muutaman päivän välein, mutta myrskyksi ne yltyvät selvästi harvemmin. Keskimäärin 27 kertaa vuodessa jollakin Suomen säähavaintoasemista havaitaan myrskyä eli tuulennopeus ylittää 21 m/s. Tätä suurempien tuulennopeuksien toistuvuus on harvinaisempaa. Esimerkiksi tuulennopeus 25 m/s ylittyy noin viisi kertaa vuodessa, kun taas 32 m/s on jo erittäin harvinainen lukema ja tällaisia myrskyjä Suomessa havaitaan keskimäärin kerran 50 vuodessa. Myrskyjen suhteen ei ole löydetty selvää signaalia siitä, kuinka ilmastonmuutos tulee muuttamaan niitä. Joidenkin tutkimusten mukaan ne eivät ainakaan merkittävästi olisi ilmastonmuutoksen myötä voimistumassa tai yleistymässä Suomessa.

### **Rajuilmat ja ukkonen:**

Rajuilmat ja ukkonen syntyvät, kun ilmakehässä tapahtuu voimakkaita pystysuuntaisia virtauksia. Pystyvirtauksien edellytyksenä on puolestaan ilmakehän pystysuuntaiset lämpötilaerot. Suomessa ukkoset ja rajuilmat painottuvat kesäkaudelle, lähinnä touko-

kuusta syyskuuhun. Tilastollisesti aktiivisin ukkoskuukausi on heinäkuu. Ukkoskaudella ukkosia esiintyy noin 100 päivänä jossain päin maata. Toistaiseksi näyttää siltä, että ilmastonmuutos ei Suomessa juurikaan muuta Suomen ukkosten lukumääriä, mutta olosuhteet saattavat ilmaston lämmetessä muuttua otollisemmiksi rajuilmojen synnylle ja voimakkaiden ukkosten esiintymiselle. Muutosten suuruus on epävarmaa.

### **Lumipyry:**

Lumipyry on voimakasta lumisadetta, joka esiintyy samanaikaisesti tuulen kanssa. Runsas lumipyry saattaa kestää säätilanteesta riippuen jopa useita päiviä, ja lunta saattaa kertyä kymmeniä senttimetrejä. Lisäksi voimakas tuuli kinostaa satavaa lunta. Lumipyryä voi esiintyä Suomessa syksystä kevääseen. Runsas lumipyry lisää etenkin tieliikenteen onnettomuusriskiä sekä raide- ja lentoliikenteen myöhästymisriskiä. Runsas lumisade voi aiheuttaa myös sähkönjakeluhäiriöitä sekä lumikertymistä johtuvia metsätuhoja. Ilmaston lämmetessä talvisademäärät Suomessa kasvavat. Ilman lämpötilasta riippuu, tulevatko sateet vetenä vai lumena. Etelä-Suomessa vesisateiden osuus talven sademäärästä kasvaa. Pohjois-Suomessa lumisateet saattavat alkuun lisääntyä, mutta sielläkin vesisateiden osuus talvisateista hiljalleen kasvaa.

### **Tykkylumi ja lumikuormat:**

Puihin kasautuvaa, raskasta lumikertymää tai -kuormaa kutsutaan tykkylumeksi. Tykkylumi syntyy, kun ilmassa on paljon kosteutta, kuten sumua, joka kiinnittää ilmassa olevan veden puustoon. Suurimmat tykkylumikuormat muodostuvat tyypillisesti Itä-Suomessa: Pohjois-Karjalassa, Kainuussa ja Koillismaalla. Alkutilvella olosuhteet ovat suotuisimmat tykyn nopealle kertymiselle ja pahimmat tykkytilanteet syntyvätkin tyypillisesti nopeasti märän lumen kertymisenä. Tykkyä voi kertyä myös hitaammin esimerkiksi jäätyneen lumen ja vähittäisen huurteen kertymisen yhteisvaikutuksesta. Vuosidadan loppuun mennessä puiden lumikuormien arvioidaan kasvavan Itä- ja Pohjois-Suomessa lämpenemisen, ilmankosteuden lisääntymisen ja lisääntyvien lumisateiden myötä. Etelä- ja Länsi-Suomessa lumikuormat pienenevät (Lehtonen ym., 2016).

### **Hulevesitulva ja rankkasade:**

Hulevesi- tai rankkasadetulva syntyy rankan sateen tai lumen sulamisen aiheuttamana taajama-alueella. Hulevesitulva syntyy, kun sataa niin rankasti, että kaupungin hulevesiverkosto ylikuormittuu tai kun sade- tai sulamisvedet eivät pääse verkostoon jonkin syyn takia. Syynä voi olla, että kaivonkannet ovat tukkeutuneet esimerkiksi puiden lehtien tai jään takia tai kun hulevesillä ei ole luontaista tilaa levitä ja imeytyä maaperään. Tämän myötä vesi nousee kaduille ja pihuille, mikä voi aiheuttaa suurikin vahinkoja. Yleisimmin hulevesitulvia esiintyy kesällä, jolloin sadannat ovat suurim-

pia ja rankimpia, mutta hulevesitulvia esiintyy myös muina vuodenaikoina. Ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän rankkasateita ja siten hulevesitulvien riskiä (Lehtonen ym. 2014, Tuomenvirta ym. 2018, Gregow ym. 2021). Kun kaupungit kasvavat ja kiinteistöjen hinnat nousevat, myös hulevesitulvien aiheuttamat kustannukset voivat nousta, ellei sopeutumistoimia ole toteutettu. Hulevesitulvien riskiin voidaan vaikuttaa kaupunkien maankäytön suunnittelulla ja hulevesiverkoston mitoituksella.

### **Vesistötulva:**

Vesistötulvalla tarkoitetaan sisävesien eli jokien ja järvien tulvimista haittaa tai vahinkoja aiheuttavalle tasolle. Vesistötulva voi aiheutua useista eri syistä. Vesistötulvan taustalla on yleisimmin lumen sulaminen, pitkäkestoiset rankkasateet, jää- ja hydepadot tai näiden yhdistelmät. Tulvariskit vaihtelevat huomattavasti alueellisesti riippuen vesistöjen ominaisuuksista, maastonmuodoista ja maankäytöstä. Suomessa on määritelty 17 merkittävää tulvariskialuetta vesistötulville. Haitallisia tulvia voi esiintyä myös muualla. Koska tulvat syntyvät hyvin erilaisista syistä, ne myös muuttuvat eri tavalla ilmastonmuutoksen vaikutuksesta eri vesistöissä. Paikoin ilmastonmuutos lisää tulvariskiä sateiden lisääntymisen ja talven lauhtumisen seurauksena, mutta paikoin tulvariski voi myös pienetä, koska lumen määrä vähenee ja sen vuoksi kevättulvat pienenevät. Tulvavaaran on arvioitu kasvavan etenkin Etelä- ja Keski-Suomen suurissa vesistöissä. Sen sijaan pohjoisempana muutokset voivat olla lähitulevaisuudessa melko pieniä ja muutoksen suunta on epävarma (Gregow ym. 2021, Veijalainen 2012). Toisaalta tässäkin pätee sama kuin hulevesitulvariskien kehityksessä. Vesistötulvien taloudellisten riskien kehitys riippuu usein ensisijaisesti maankäytön ja asutuksen kehityksestä ja nähin liityvistä sopeutumistoimpiteistä.

### **Rannikotulva:**

Rannikko- tai merivesitulvalla tarkoitetaan meren pinnan noususta aiheutuvaa tulvimista rannikolla. Meritulvat aiheutuvat Suomessa ennen kaikkea kovista tuulista ja ilmanpaine-eroista sekä Itämeren vedenpinnan edestakaisesta heilahtelusta. Suomessa on määritelty viisi merkittävää tulvariskialuetta meritulville, minkä lisäksi Porin tulvariskialueella tulvariski voi aiheutua vesistötulvan ja merivesitulvan yhdistelmästä. Ilmastonmuutoksesta aiheutuva merenpinnan nousu lisää selvästi rannikotulvien todennäköisyyttä tulevaisuudessa erityisesti Suomen etelärannikolla. Perämerellä tulvariskit eivät sen sijaan merkittävästi kasva vielä kuluvan vuosisadan aikana maanköhoamisesta johtuen (Pellikka ym. 2018, Gregow ym. 2021). Arvioihin meriveden noususta ja rannikotulvien riskien muutoksesta sisältyy merkittävää epävarmuutta.

**Hellejaksot:**

Hellejaksolla tarkoitetaan jaksoa, jolloin lämpötila nousee toistuvasti hellerajan eli yli +25,0 asteen yläpuolelle. Viikon hellejakso toistuu Suomessa tietyllä paikkakunnalla yleisesti mutta ei joka kesä. Kahden viikon hellejaksot ovat harvinaisempia, kun taas kolmen viikon hellejakson toistuvuus on jo poikkeuksellista, eli se toistuu noin kerran 30 vuodessa. Ilmastonmuutoksen myötä hellejaksot yleistyvät Suomessa.

**Kuivuus:**

Kuivuutta esiintyy, kun sadetta on vähän ja haihtuvuus on runsasta. Kesällä kuumuus ja pitkään jatkuva korkeapainetilanne edesauttaa kuivuuden syntymistä. Keväällä kuivuutta voi esiintyä riippuen lumen sulamisen ajankohdasta. Myös talvella kuivuutta voi esiintyä tilanteessa, jossa vesitilanne on valmiiksi syksyn jäljiltä kuiva ja uutta pohjavettä ei enää synny. Talven kuivuus aiheuttaa haasteita etenkin vesihuollolle. Ilmaston lämmitessä maan pintakerros saattaa muuttua Suomessa entistä kuivemmaksi (Veijalainen ym. 2019). Ilmastonmuutoksen myötä sadannan oletetaan yleisesti kasvavan. Lämpötilojen noustessa kuitenkin myös haihtuminen lisääntyy, mikä myös osaltaan vaikuttaa kuivuuden lisääntymiseen. Maaperän kuivumisen odotetaan lisääntyvän eniten keväisin lumen ja roudan vähentyessä ja lumen sulamisen aikaistuuessa (Ilmasto-opas.fi).

**Äärimmäinen kylmyys:**

Äärimmäisellä kylmyydellä tarkoitetaan, kun pakkasen on kireää ja lämpötila on alle -15 astetta maan eteläosassa, alle -20 astetta maan keskiosassa ja alle -25 astetta maan pohjoisosassa. Kovan pakkasen päiväksi katsotaan vuorokausi, jolloin vuorokauden alin lämpötila täyttää kovan pakkasen rajan. Kireät pakkaset tulevat vähemmän tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta.

**Muissa maissa tapahtuvat ilmiöt, jotka voivat vaikuttaa Suomeen:**

Useat edellä mainitutluonnon ääri-ilmiöt ovat erittäin olennaisia myös muualla maailmassa, ja muissa maissa tapahtuvat ääri-ilmiöt ja niiden välittömät vahingot voivat vaikuttaa Suomeen. Helleaaltojen ennakoitaan yleistyvän koko maailmassa ja tulvien aiheuttamien rankkasateiden odotetaan toistuvan useammin Afrikassa, Aasiassa, Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa (IPCC 2021). Afrikassa yleistyvä ja paheneva kuivuus rajoittaa ruoan tuotantokapasiteettia ja ruoan huoltovarmuutta, mikä nostaa nählöhätäriskiä ja lisää pakolaisvirtoja (IPCC 2022 luku 9). Euroopalle ennakoitaan hel-

leaaltojen toistuvuuden ja keston kasvua, mikä vaikuttaa kansanterveyteen, maastopalojen esiintymiseen sekä ruokatutannon kapasiteettiin ja spatiaaliseen rakentamiseen (IPCC 2022 luku 13).

## 2.2 Luonnonilmiöiden riskiketjut ja epävarmuudet

### 2.2.1 Johdanto

Ilmastonmuutos vaikuttaa meteorologisten ja hydrologisten mekanismien kautta geofyysiseen ympäristöön (esimerkiksi eroosio) ja luontoon (esimerkiksi ekosysteemipalvelujen häiriöt ja muutokset) sekä lopulta ihmisten luomaan ympäristöön ja yhteiskuntaan. Jokaisessa vaiheessa ilmiöiden voimakkuus ja kesto vaihtelevat useasta syystä. Syihin lukeutuu muun muassa alkuperäisen sääilmiön sattumanvarainen luonne sekä ilmiölle altistuneen luonnon tai yhteiskunnan kohteen kunnan ja sietokyvyn spatiaalinen sekä ajallinen vaihtelevuus. Kun alkuperäisen ilmiön vaikutukset etenevät luonnossa ja yhteiskunnassa, eri järjestelmien vuorovaikutukset voivat voimistaa tai vaimentaa seurauksien voimakkuutta ja laajuutta. On myös mahdollista, että tietty kohde tai alue kestää yhden voimakkaan ilmiön vaikutukset melko hyvin, mutta tiettyjen ilmiöiden yhdistelmä (samanaikaisesti tai peräkkäin) tehostaa vaikutuksia kohteen kriittisen sietokyvyn yläpuolelle.

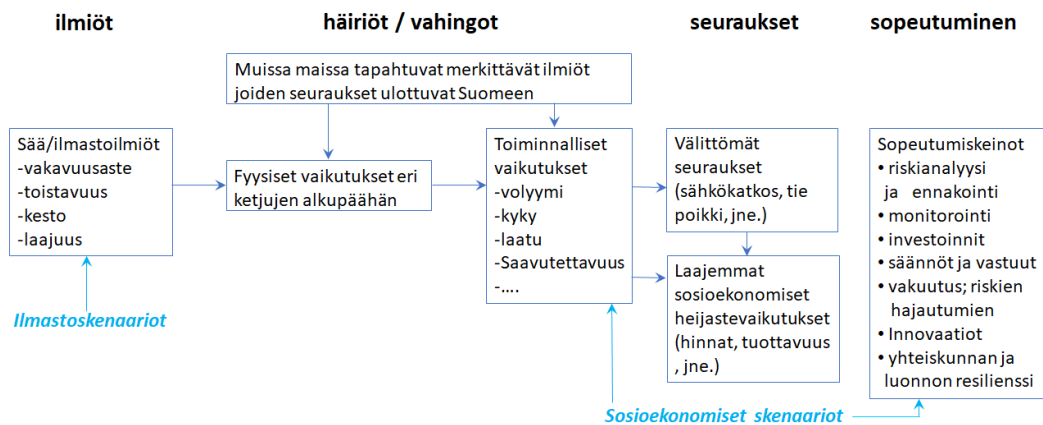
Edellä kuvatut ilmiöiden seuraukset voidaan esittää riskiketjuina. Jos riskiketjun jokaisesta vaiheesta on saatavilla riittävästi tietoa ja havaintoja, on mahdollista analysoida ja kvantifioida mekanismien suhteita, arvioida epävarmuusväliä sekä sitä, minkä kriittisten kynnsarvojen ylä- tai alapuolella tietyt seuraukset tulevat merkitykselliseksi. Lisäksi ilmastonmuutos nostaa riskiketjujen kompleksisuutta ja epävarmuutta, sillä kyseessä on kaukotulevaisuuden kehitys; niin sää- ja ilmaston ilmiöiden osalta kuin myös yhteiskunnan haavoittuvuuden osalta (väestön, tekniikan, arvojen, jne. kehityksen takia).

Käytännössä riskiketjujen analyysi ei ole täydellistä eikä myöskään täysin kattavaa kompleksisuuden ja valtavan tietomäärän takia. Lisäksi osaa tarvittavista tiedoista ei löydy tai ole vapaasti saatavilla (ks. luku 3). Silti esimerkkiketjujen avulla pystytään hahmottamaan, mitkä ovat keskeisiä tekijöitä ja vaikutusreittejä sekä mitkä sopeutumiskeinot auttavat parantamaan kohteen tai alueen resilienssiä (Kuva 2.1). Riskiketjun avulla voidaan myös selittää, miten seurauksien mittakaava ja epävarmuus kasvavat,



kun vaikutukset pääsevät eri luonnollisten, aineellisten ja sosioekonomisten mekanismien läpi. Esimerkiksi jos eri alueiden tiieverkoston korvautuvuus (vaihtoehtoreittien saatavuus) poikkeaa paljon toisistaan, korkean korvautuvuuden alueen talous saattaa kärsiä paljon vähemmän samankokoisesta tulvasta tai myrskystä. Eli kvantitatiivinen riski-indikaatio, kuten tietyn ilmiön aiheuttama vahingon odotusarvo tietyllä alueella ja tietyllä ajanjaksolla, liittyy aina vahinkotason jakaumaan. Luvuissa 2.2.2–2.2.5 esitetyt riskiketjut jakautuvat kahteen tyyppiin. Tulvat ja sähkökatkokset johtuvat yleensä yhdestä tai kahdesta ilmiöstä. Kummassakin riskiketjussa vahinkoriski painottuu taajamiin. Toisaalta metsä- ja maataloudessa voivat syntyä monenlaisia riskiketjuja.

**Kuva 2.1** Riskiketjun yleinen rakenne



Taloudellisesta näkökulmasta tärkeä ero on äkillisten ja hitaasti kehittyvien ilmiöiden välillä (Taulukko 2.2). Yleensä äkilliset ilmiöt menevät nopeasti ohi, ja jos äkillinen ilmiö ei ole oleellisesti muuttanut alueen tai kohteen toimintaedellytyksiä, lähes täydellinen palautuminen on mahdollista. Toisaalta taas hitaasti kehittyvät ilmiöt aiheuttavat usein pysyviä muutoksia toimintaedellytyksissä, minkä seurauksena toiminta voi ajan myötä tulla kannattamattomaksi, elleivät innovaatiot pelasta toimintaa.

**Taulukko 2.2** Ilmiöiden luokitus aikaprofiiliin, syntymäperän ja vaikutusten pysyvyyden mukaan

	luonnollisen ja rakennetun ympäristön perustilanne palautuu		luonnollisen ja rakennetun ympäristön perustilanne muuttuu pysyvästi	
	palautuu	ei palaudu	palautuu	ei palaudu
<i>1. äkilliset sääilmiöt (myrskyt; helleaallot)</i>	tulvat; metsävahingot; sähkökatkokset	ei Suomessa	Ei tapahdu, ellei ole tehokasta innovaatiota	ilmiön toistavuuden kasvaessa sopeutuminen vaikeutunee
<i>2. hitaasti kehittyvät ääritilanteet (kuivuus, lumi-kuormitus)</i>	sadot ↓ metsäpalot & vahingot; vesistöjen virkistyskäyttö	laaja kuivuus; peräkkäiset kehnot lumivuodet uhka etelän hiihtokeskukselle	Ei tapahdu, ellei ole tehokasta innovaatiota	ilmiön toistavuuden kasvaessa sopeutuminen vaikeutunee; muuten ei toistaiseksi Suomessa
<i>3. yhdensuuntaiset kehitykset (kasvukausi, lumipeite, routa)</i>			Ei tapahdu, ellei ole tehokasta innovaatiota	häviöt toiselle ja edut toiselle; puiden korjuun hinta? työn tuottavuus?
<i>4. bioottiset riskit (vektoripohjaiset taudit, vieraslajit)</i>	Hyvin ajoitetut tehokkaat vastatoimenpiteet mahdollistavat palautumista			vielä paljon epävarmuutta ja tiedon puutteita; merkittävä vahinkopotentiaali
<i>5. muutokset ja shokit muissa maissa</i>	Ohimeneväisien ilmiöiden aiheuttamista shokeista voidaan palautua ajan myöten; isoista shokeista voivat syntyä muutokset esimerkiksi kansainvälisessä logistiikassa		Pysyvät muutokset toisissa maissa voivat aiheuttaa sekä pysyvät menetykset että pysyvät edut (eli jälkimäisessä tapauksessa talous palautuisi alkuperäisen tason ylläpuolelle)	
<i>6. geofyysiset ja maailman käännekohtat</i>				makrotaloudelliset vaikutukset selvästi (hyvin) negatiivinen

Nykyisten tietojen perusteella (Gregow ym. 2021; Mäkinen ym. 2019) *taloudellisesti* tärkeitä ilmastonmuutokseen liittyviä (potentiaalisia) haavoittuvuuksia ovat taajamatulvat, energiahuollon ja liikenneinfrastruktuurin häiriöt, geofyysisten ja bioottisten ilmiöiden vaikutukset maa- ja metsätalouteen, eri tautien ja ääri-lämpötilojen riskit kansanterveyteen ja (alueellisesti) talviolosuhteiden muutosten vaikutukset matkailuun. Riskiketjujen ja tietojen tarkastelun perusteella tuli ilmi, ettei ole mahdollista suorittaa systeemaattisia skenaariopohjaisia laskelmia kaikille ilmiö-toimialayhdistelmille. Suurin este on tietojen puute, erityisesti vahinkojen arvon ja attribuution osalta. Usein perustiedot ovat periaatteessa saatavissa, mutta tämän tutkimuksen edellyttämät tiedot ja mallinuskyyt vaatisivat usein sellaista esitutkimusta, joka ei sovi tähän hankkeeseen. Näistä syistä pystyimme suorittamaan vain rajoitetusta ilmiö-toimialayhdistelmien valikoimasta skenaariopohjaiset laskelmat ilmastonmuutoksen taloudellista vaikutuksista ja sopeutumisen vaikuttavuudesta. Joistakin skenaariolaskelmien ulkopuolelle jääneistä toimialoista raportoimme vaikutuksista kvalitatiivisesti kirjallisuuden perusteella. Taulukko 2.3 tiivistää eri ilmiöiden relevanttisuuden toimialakohtaisesti ja sen, millä tasolla (skenaariolaskelmat, kvalitatiivisesti, ei mukana) kukin yhdistelmä on mukana tässä raportissa.

**Taulukko 2.3** Ilmiöiden relevanssi eri toimialojen vahinkoriskien suhteessa

	Taajamat; Matkailu	Sähkö	Metsätalous	Maatalous	Muut
<b>Myrskyt; lumipyry</b>	X	X / S	X / S	X	X / k
<b>tykkylumi</b>		X / S	X / S		
<b>roudan puute</b>	X	X / S	X	X	X
<b>vesistötulvat</b>	X / S	X		X	X
<b>rannikon tulvat</b>	X / S	X			X
<b>rankasateet</b>	X	X		X	X / k
<b>kuivuus</b>	X	X	X / S	X / S	
<b>sadantavaihtelut</b>				X / S	
<b>helleaalto</b>	X / k	X		X / S	X
<b>bioottiset riskit</b>			X / S	X	
<b>vektoritaudit</b>	X / k				
<b>kasvukausi</b>			X / S	X / S	
<b>lumipeite</b>	X / k				

X: relevantti; S: mukana skenaariolaskelmissa; k: mukana kvalitatiivisessa kuvassa (tieliikenne, matkailu, terveys, vesihuolto); Muut: terveys, tieliikenne, vesihuolto

## 2.2.2 Tulvatapahtumien riskiketjut

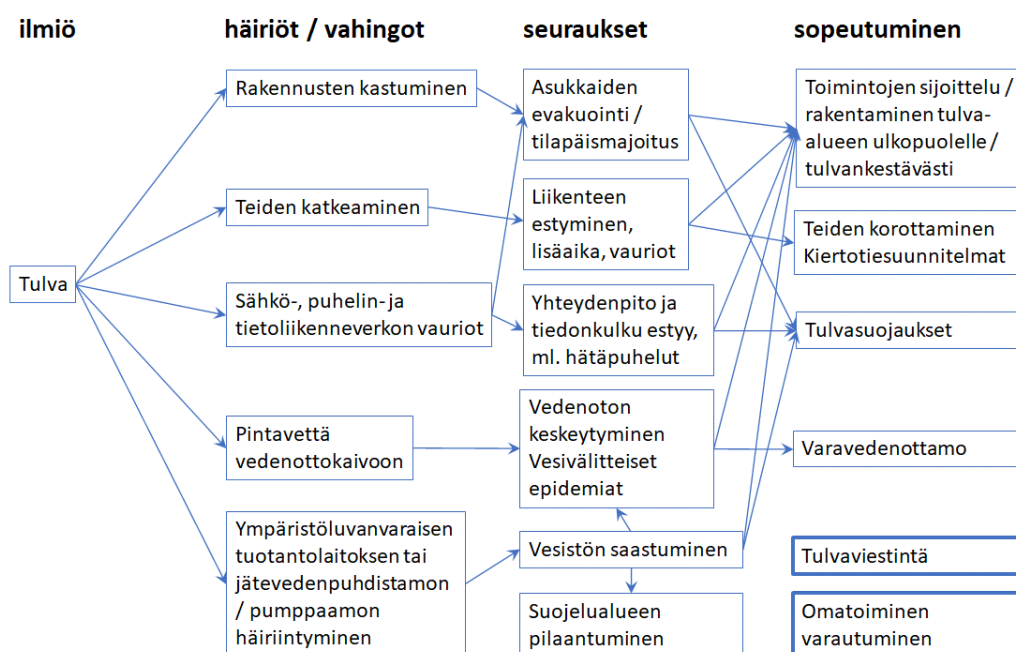
Tulvista mahdollisesti aiheutuvien vahinkojen arviointi on tehty pääosin tulvakarttojen perusteella. Tulvariskialueille on laadittu arviot eri skenaarioiden mukaisten tulvien aiheuttamista suorista euromääräisistä vahingoista. Vahinkoarviot on tehty seuraaville kokonaisuuksille: rakennusvahingot (rakennevahinko-, irtaimisto- ja puhdistus-kustannukset eroteltuina), liikennevahingot (vahingot infrastruktuurille, liikennekatkosta aiheutuva lisäaika, vahingot ajoneuvoille), pelastustoimen kustannukset (Silander & Parjanne 2013). Vahinkoarviot ja vuosittain päivittyvät asukasmäärätilastot ovat saatavilla sivulta [www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit](http://www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit). Tulvavaara- ja tulvariskikarttoja voi tarkastella Tulvakarttapalvelusta ([www.ymparisto.fi/tulvakartat](http://www.ymparisto.fi/tulvakartat)).

Tulvariskikartoissa esitettävistä tiedoista on säädetty tulvariskiasetuksessa (659/2010). Esitettäviä tietoja ovat muun muassa asukkaiden arvioitu määrä, vaikeasti evakuoitavat rakennukset, kuten hoitolaitokset, infrastruktuuri ja kulttuuriperintö. Kartoilla esitetään myös kohteet, joiden toiminta voi tulvatilanteessa aiheuttaa ympäristön äkillistä pilaantumista, ja alueet, joilla pilaantuminen voi aiheuttaa vahinkoa. Tulvariskikohteet liittyvät tulvariskilain (620/2010, 8 §) mukaisiin vahingollisiin seurauksiin. Näitä ovat vahingollinen seuraus ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle, välttämättömyyspalvelun keskeytyminen, vahingollinen seuraus ympäristölle ja kulttuuriperinnölle sekä yhteiskunnan elintärkeitä toimintoja turvaavan taloudellisen toiminnan keskeytyminen.

Tulvariskikartoituksen pääpaino on ollut tulvan välittömien (suorien) vaikutuksien tunnistamisessa. Tulvan välillisiä (epäsuoria) vaikutuksia on huomioitu vain osittain. Näitä ovat esimerkiksi tien katkeamisen takia tulvan saartamaksi jääneiden alueiden riskikohteiden tunnistaminen sekä suojelualueen pilaantuminen esimerkiksi jätevedenpuhdistamolta aiheutuneen ylivuodon ja edelleen vesimuodostuman saastumisen takia. Välillisiä vaikutuksia on kuitenkin arvioitu alueellisessa tulvariskien hallintatyössä osana toimenpidevaihtoehtojen tarkastelua. Valtakunnallisesti tietoja ei ole esitetty, koska vaikutusketjut ovat usein tapaus- ja paikkakohtaisia.

Alla olevassa kaaviossa on esitetty esimerkki tulvan riskiketjusta (Kuva 2.2). Tässä hankkeessa keskityimme aineellisten kustannusten syntymiseen. Laskelmien pohjana käytettiin SYKEN muutama vuosi sitten tuottamia skenaariopohjaisia vahinkolaskelmia (Parjanne ym. 2018). Netoimivat tämän raportin tulvakustannusten arvioinnin lähtökohtana (ks. luvut 4.4.1 ja 5.1). Lisätietoja tulvariskien hallinnastalöytyy liitteestä L2.1.

**Kuva 2.2** Esimerkki tulvan riskiketjusta vesistötulvan tapauksessa

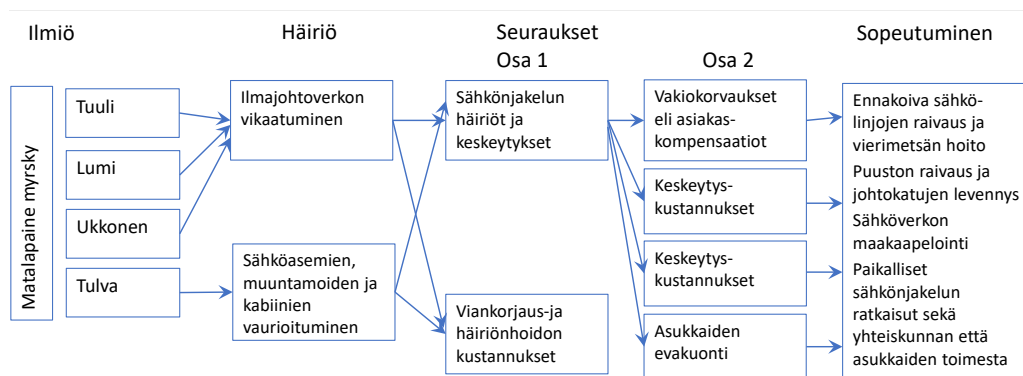


## 2.2.3 Sähkönjakelun riskiketjut

Keskimäärin suomalainen sähkönjakelun asiakas on kokenut viimeisen kymmenen vuoden aikana keskeytyksiä 2,8 tuntia vuodessa ja vuotuisten keskeytysten vaihteluväli on ollut 1,5–8,1 tuntia. Tilastoja lähemmin tarkasteltaessa voidaan huomata kuitenkin, että keskeytykset painottuvat hyvin vahvasti maaseudulla sijaitseville sähkönkäyttäjille. Samalla ajanjaksolla asemakaava-alueilla vuotuinen keskimääräinen keskeytysaika on ollut alle tunnin vuodessa ja viimeisen viiden vuoden aikana joka vuosi alle puoli tuntia vuodessa (Energiateollisuus 2005–2019).

Sähkönjakelun keskeytysten aiheuttajissa näyttäytyy kaksi muista merkittävämpää keskeytysten aiheuttajaa, jotka ovat tuuli ja myrsky sekä lumi- ja jääkuorma. Tuulen ja myrskyn osuus on yhteensä 49 % kaikesta asiakkaiden kokemasta keskeytysajasta ja vastaavasti lumi- ja jääkuormien osuus on 16 %. Sähkönjakelun häiriöihin johtavat riskiketjut pääosin muodostuvatkin edellä mainittujen luonnonilmiöiden myötä. Tämä on esitetty kuvassa 2.3.

**Kuva 2.3** Esimerkki sähköjaketun riskiketjuista matalapainemyrskyn seurauksena



Tyypillisesti riskiketjujen myötä ilmenevät sähköjaketun häiriöt johtavat lähinnä ai-neellisiin vahinkoihin ja korvauksiin, mutta erityisesti lämmityskaudella tapahtuvat häi-riöt voivat johtaa myös asukkaiden evakuointiin talojen lämmityksen keskeytyessä. Sähköjaketun riskiketjut realisoituvat tyypillisimmin maaseutuolosuhteissa, jossa sähköjaketun verkot ovat monin paikoin alttiina ilmastollisille häiriöille ja täten myös il-mastonmuutoksen vaikutuksille. Erityisesti ilmajohdot, jotka sijaitsevat metsän ja puuston lähellä, ovat häiriöalttiita (Lassila ym. 2019). Suurimman riskin sille, että säh-könjakelu keskeytyy pitkäksi aikaa, aiheuttavat puut, jotka kaatuessaan esimerkiksi myrskytuulen tai lumikuorman seurauksena yltävät sähkölinjalle ja pahimmassa ta-pauksessa vahingoittavat sähköjohdon rakenteita merkittävästi. Tällaisissa tapauk-sissa sähköjen palautus voi viivästyä korjaustyön vuoksi useiden tuntien tai jopa päi-vien mittaiseksi, mikä voi johtaa myös evakuointitoimenpiteisiin. Sähköjaketun kes-keytysriskiä maaseutuolosuhteissa lisää haastavien ympäristöolosuhteiden lisäksi verrattain pitkät sähköjohtojen pituudet.

Ilmastonmuutoksen seurauksena on olemassa riski, että myrskyjen ja lumikuormien aiheuttamat sähköjaketun häiriöt saattavat lisääntyä nykyisestä. Merkittävänä teki-jänä voi olla lämpimämpien talvien seurauksena sekä lumisateiden paikoittainen li-sääntyminen yhdistettynä haastaviin matalapainemyrskyihin että myös roudan vähe-neminen. Lopputuloksena erityisesti häiriöille alttiit ilmajohdot voivat kokea entistä enemmän vikoja, mikä lisää myös sähköjaketun asiakkaiden kokemia keskeytyshait-toja. Suuremmat vikamäärät tarkoittavat yleensä myös enemmän suoraa kustannuksia sähköverkon kunnossapitoon ja viankorjaukseen, mutta myös kustannuksia yhteis-kunnan eri toimialoille sähköjaketun keskeytymisen vuoksi muun muassa tuotannon ja palveluiden menetyksenä sekä asumisen haittana. Yhteiskunnallisten haittojen mi-nimoimiseksi Suomessa sähkömarkkinalaissa 588/2013 määritetäänkin minimitalvoit-teet sähköjaketun toimitusvarmuudelle, minkä vuoksi sähköverkkoja kehitetäänkin aktiivisesti muun muassa maakaapeloimalla metsissä sijaitsevia ilmajohdot ja siir-tämällä niitä teiden varsille.

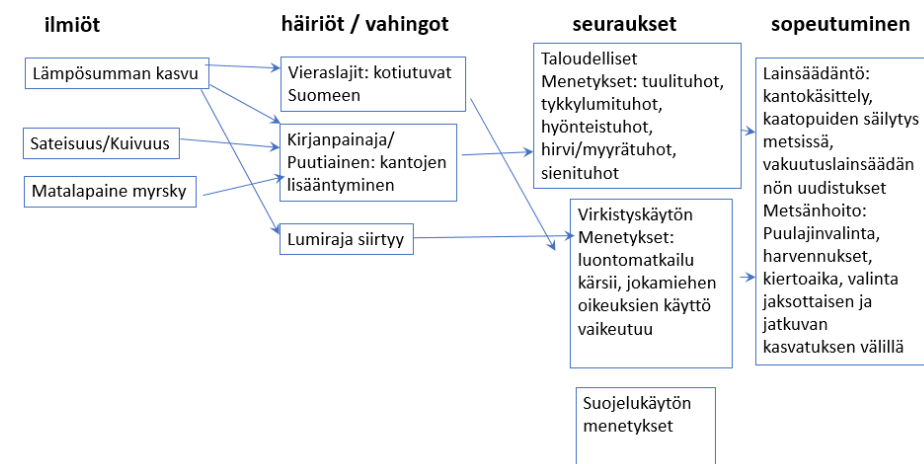
## 2.2.4 Metsätalouden riskiketjut

Ilmastonmuutoksen metsille ja metsätaloudelle aiheuttamien riskien ja riskiketjujen tunnistaminen on hyvinkin haasteellista, sillä sekä eri tekijöiden että seurauksien erottelu on usein vaikeaa. Metsät kohtaavat sekä bioottisia että abioottisia vahinkoja, joiden riippuvuus ilmastonmuutoksesta ei ole selvää. Edellisiä ovat esimerkiksi hyönteistuholaisten, kuten kaarnakuoriaisten (muun muassa kirjanpainaja), sienitautien (kuten kuusen ja männyn juurikäävän) ja selkärankaisten (hirvi, myyrät, valkohäntäpeura) aiheuttamat vahingot. Jälkimmäisiä, abioottisia, tuhoja aiheuttavat kilpailu, kuivuus, lumi, metsäpalo, pakkanen, ravinteiden epätasapaino, tuuli/myrsky ja vetisyys. Bioottisten ja abioottisten tuhojen välillä on myös interaktiivisia syy-seuraussuhteita. Esimerkiksi tuulituhojen ja kirjanpainaja-hyönteisen esiintymien välillä on syy-yhteys, todennäköisesti molempiin suuntiin. Lämpösumman kasvaessa ilmastonmuutoksen myötä, kirjanpainaja pystyy tekemään Etelä-Suomessa kaksi sukupolvea kesän aikana.

Tuulisuuden ei ole arveltu juurikaan muuttuvan Suomessa ilmastonmuutoksen myötä (Gregow ym. 2020). Sen sijaan metsät altistuvat tuulituhoilta myöhentyvän syyskauden ja lyhentyvän routakauden takia. Tutkimus on havainnut metsiin kohdistuvien tuulituhojen suuremman todennäköisyyden Etelä-Suomessa verrattuna Pohjois-Suomeen (Suvanto ym. 2019). Tulos selittyy pitkälti metsien ja puuston rakenne-erojen pohjalta, eikä sitä voi pitää pohjana ilmastonmuutoksen vaikutusten skenaariotöissä, vaikkakin niin sanottua space-for-time-substituutiota voisi yleisemmällä tasolla hyödyntää ilmastonmuutoksen skenaariotutkimuksessa (Peltoniemi 2021).

Ilmaston lämpeneminen ja hiilidioksidipitoisuuden kasvu nopeuttavat puuston kasvua ja myös vuotuista hiilinielua Suomen metsissä. Alueellisesti kuitenkin ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvä kuivuus voi haitata esimerkiksi Etelä-Suomen kuusimetsiä. Puuston kasvua voivat hidastaa myös pitkittyvät syyskaudet, jolloin puiden sisäinen aineenvaihdunta kuluttaa seuraavan kasvukauden kasvupotentiaalia (Kuva 2.4).

Ilmastonmuutoksella on pitkällä aikavälillä vaikutuksia myös kansainväliseen kauppaan sekä kauppapolitiikkaan. Paikallisten ja alueellisten metsätuhojen yleistyessä kansainvälisen kasvi- ja metsäteollisuustuotteiden kaupan merkitys sopeuttajana kohoaa. Lisääntyvä kansainvälinen kauppa lisää myös vieraslajien invaasiota kohottaen jälleen alueellisten tuhojen todennäköisyyttä. Toisaalta maiden käyttöön ottamalla kauppapolitiisilla reaktioilla saattaa olla päinvastainen vaikutus. Vienti- ja tuontirajoitukset, -maksut ja -kiellot hillitsevät kansainvälisen kaupan roolia kulutuskysynnän tyydyttäjänä.

**Kuva 2.4** Metsätalouden riskiketjujen esimerkit

## 2.2.5 Maatalouden riskiketjut

Maatalous kohtaa samantyyppisiä bioottisia ja abioottisia häiriöitä kuin metsätaloudenkin, ja niiden riippuvuus, suunnat ja yhdysvaikutukset ilmastonmuutoksesta eivät ole yksiselitteistä. Lisäksi aineelliset ja lopulliset taloudelliset vaikutukset eivät ole välttämättä suhteellisia.

Bioottisista tekijöistä kasvi- ja eläintautien, tuholaisten ja vieraslajien on ennustettu lisääntyvän ilmastonmuutoksen seurauksena. Abioottisista tekijöistä sateen ja siitä seuraavien tulvien sekä kuivuuskausien on ennustettu myös lisääntyvän. Viimeisen neljän vuosikymmenen aikana liiallinen märkyys syksyn korjuukauden aikana on aiheuttanut noin kymmenen vuoden välein merkittäviä satotappioita (Maatilatilastollinen vuosikirja 2014). Abioottisista tekijöistä maan routaantuminen on Etelä-Suomen savimaiden viljelyn näkökulmasta oleellista maan muokkautuvuuden ja sitä kautta hyvän kylvöalustan aikaansaamisen kannalta. Kun ilmasto lämpenee, niin talvet lämpenevät ja vähäroutaisten tai roudattomien talvien riski kasvaa, mikä vaikeuttaa Etelä-Suomen savimaiden kevätiljojen viljelyä. Tärkeimmät suorat maataloustuotantoa haittaavat ilmastonmuutoksen mukanaan tuomat abioottiset ilmiöt ovat roudattomuus, kuivuus ja liika märkyys.

Ilmastonmuutos nostaa lämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuutta sekä lisää sateisuutta. Nämä kaikki kiihdyttävät kasvien kasvua. Samalla kuitenkin myös kuivuusjaksot pitenevät. Vaikka kasvuolosuhteet paranevat ja kasvukausi pitenee, olosuhteita ei pystytä



nykyisillä viljelykasvilajikkeilla hyödyntämään täysimääräisesti. Ilmastonmuutos ei vaikuta valon määrään, mikä on keskeinen kasvua hidastava tekijä varsinkin pitenevän kasvukauden syyspuolella. Siksi tarvitaan kasvien jalostamista muuttuviin kasvuolosuhteisiin, jotta pitenevä kasvukausi pystytään hyödyntämään. Uusilla Suomen muuttuviin olosuhteisiin sopivilla kasvilajikkeilla ja niiden tarkalla ja asianmukaisella viljelyllä ja kasvinsuojelulla on keskeinen merkitys.

Viljelijöillä on mahdollisuus sopeutua ilmastonmuutoksen aiheuttamiin riskeihin kehittämällä monipuolisempia viljelymenetelmiä ja viljelykiertoja sekä ottamalla käyttöön uutta teknologiaa ja uusia viljelykasveja ja kasvilajikkeita. Tärkeää on myös parantaa peltojen ojitusta. EU:n maatalouspolitiikka luo osittaisen turvaverkon ilmastonmuutoksen riskeihin varautumiseen, kun viljelijöiden toimeentulosta osa tulee erilaisten tukien kautta ja vain osa varsinaisesta tuotannollisesta toiminnasta markkinoilta. Tämä on luonut tietynlaisen varmuuden osasta tulopohjaa. Kuitenkin sopeutettaessa EU:n maataloustuotantoa muuttuvaan ilmastoon ja pyrittäessä torjumaan ilmastonmuutosta riski kilpailijamaita kireämmistä standardeista kasvaa, mikä saattaa johtaa varsinkin Suomen tyyppisten pohjoisten reuna-alueiden maataloustuotannon taloudellisen kilpailuaseman heikkenemiseen.

Esimerkiksi kasvitautipaine kasvaa ilmaston lämmitessä, mutta EU:ssa sallittujen kasvinsuojeluaineiden lukumäärää on vähennetty, ja jatkossa näiden aineiden käyttöä on tavoitteena edelleen vähentää. Suomessa kasvinsuojeluaineiden käytön vähentäminen ennestään alhaiselta tasoltaan aiheuttaa haasteita, koska kasvinsuojelun tarve kasvaa. Tarvitaan sopivampia viljelykiertoja ja enemmän esimerkiksi mekaanisia ja biologisia menetelmiä kasvitautien ja -tuholaisien torjuntaan. Näiden kaikkien kehittäminen monenlaisiin tilanteisiin sopiviksi ei ole aivan yksinkertaista. Sadontuottoon vaikuttavien panosten käyttö riippuu myös panos- ja tuotehinnoista. Keskeinen riski ja osin jo toteutunut riski on, että panoshintojen voimakas kallistuminen johtaa alhaisempaan lannoitukseen, kasvinsuojeluun, peltojen kasvukuntoon ja heikkoon satokehitykseen. Satokehitys on ollut Suomessa vaatimatonta 2000-luvulla.

Kansainvälisen maatalouskaupan lisääntyessä ilmastonmuutoksen osittaisena seurauksena voimistuvat epätoivottujen vieraslajien, kasvi- ja eläintautien sekä tuholaisien invaasiot maatalousperäisten tuotteiden mukana. Ne saattavat johtaa kielteisiin kauppapolitiikan reaktioihin, kuten vienti- ja tuontirajoituksiin ja -kieltoihin. Tällä voi olla sekä kielteinen että myönteinen vaikutus. Pienelle tuonnista ja viennistä riippuvalle taloudelle kauppapolitiikan häiriöt saattavat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia tappioita. Toisaalta harvaan asuttuna ja viranomaistoimintaan luottavana maana Suomessa erilaisiin invaasioihin, kuten esimerkiksi eläintauteihin, on pystytty reagoimaan nopeasti ja invaasiot on saatu nopeasti kuriin tai pysymään rajojen ulkopuolella.

## 3 Luonnonilmiöiden kustannustiedot

### 3.1 Luonnonilmiöiden kustannukset

Suomessa ei ole olemassa keskitettyä luonnonilmiöiden vaikutusten tilastoa, puhumattakaan tilastoa luonnonilmiöiden kustannuksista. Tilastokeskus julkaisee vakuustustoiminnan tilastojen yhteydessä vahinkovakuutusten keskeiset vuosiluvut (liite 3). Vain määrittämätön osa mainituista korvausmaksuista koskee luonnonilmiöiden aiheuttamia vahinkoja. Finanssiala ry julkaisee aika ajoin tiivistelmiä myrskyjen aiheuttamien vahinkojen maksetuista korvauksista (liite 3). Maksetut korvaukset antavat jonkinlaisen kuvan kustannusten suuruusluokasta, mutta todellisuudessa varsinaiset kustannukset ovat suurempia, muun muassa eri vahinkovakuutusten epätäydellisen kattavuuden takia. Eli kaiken kaikkiaan luonnonilmiöiden aiheuttamista kustannuksista pystytään antamaan vain aika epätäydellinen kuva. Luvussa 3.4 esitämme saatavilla olevia vahinkotietoja ja tarkastelemme tietojen puutteellisen saatavuuden haittoja.

Edellä oletimme implisiittisesti, että ilmiöiden aiheuttamien vahinkojen kustannukset olisivat samat kuin rahamenot. Se on kuitenkin tässä tapauksessa liian kapea käsitys kustannuksista. Taustalta löytyy useita syitä, joista käsittelemme muutamia:

- Taloudellisesti katsoen aineelliset vahingot voivat toteutua varsinaiseksi rahamenoksi, esimerkiksi korjaamisen tai korvaamisen takia, tai tulomenetykseksi, esimerkiksi huonomman sadon takia. Toisaalta aineellisten vahingot voivat toteutua myös *potentiaaliseksi* kustannukseksi, esimerkiksi kun tietyn pääoman arvo laskee tulevan tulovirran odotusarvon laskun takia, kuten esimerkiksi hotelli hiihtokeskuksessa, joka kärsii toistuvasti lumen puutteesta.
- Aineellisten vahinkojen aiheuttamat niin sanotut välittömät kustannukset ovat periaatteessa helposti havaittavissa, mutta alkuperäiset vahingot ja välittömät kustannukset aiheuttavat myös välillisiä kustannuksia taloudessa, jotka lopulta heijastuvat koko kansantalouteen. Nämä välilliset kustannukset ovat yleensä vaikeasti havaittavissa, ja yleensä ne pystytään parhaiten arvioimaan talousmallien avulla.
- Myös luonto kärsii luonnonilmiöiden aiheuttamista vahingoista. Yleensä näillä vahingoilla ei ole markkinahintaa, ellei niiden vaikutuksia ole mahdollista kytkeä taloudelliseen toimintaan, kuten metsätalouteen. Silti on mahdollista laskea tietynlainen arvon menetys, joko luonnon entisöinnin kustannuksien avulla tai ekosysteemipalvelujen arvioinnin

avulla. Luonnonkohteiden entisöinnin tapauksessa investointikustannukset edustavat varsinaisia rahavirtoja taloudessa, kun taas ekosysteemipalvelujen arvoilla saadaan kustannusarviointi, joka saattaa osittain edustaa ihmiskunnan tuottamien korvaavien palvelujen markkina-arvoa (esimerkiksi vahingoittuneen luontoalueen entinen virkistysarvo) ja osittain potentiaalista arvoa (esimerkiksi biodiversiteettiaspektit).

- Erilaiset vahingot vaikuttavat ihmisten hyvinvointiin, joko suoraan oman tai läheisten terveysvaikutuksien kautta tai välillisesti, koska elinympäristön turvallisuus tai mukavuus heikkenee. Osa hyvinvoinnin vaikutuksista edustaa selvästi myös varsinaisia menoja tai arvon menetyksiä, kun taas toinen osa edustaa enemmänkin maksuvalmiuden raja-arvoja (siis maksuvalmius välttää tietty määrä hyvinvoinnin heikkenemistä).

Edellä mainittujen syiden lisäksi kustannustason vaikeaan määrittämiseen on olemassa havaintoteknisiä syitä. Yksi esimerkki on kustannusten siirto toiselle toimijalle, kuten esimerkiksi yhtiö, joka siirtää kustannukset tuotteiden hintoihin, tai kotitaloudet, joiden vahinkokustannukset ovat melkein kokonaan katettu vakuutuksella. Yrityksien välille voi syntyä myös isoja eroja, jos toinen yritys ehtii hyötyä toisen yrityksen tuotantohäiriöistä.

Tässä tutkimuksessa joudumme käyttämään erillisiä kustannusperusteita rinnakkain. Taulukossa 3.1 näytämme, mitkä kustannusperusteet sisältyvät eri toimialan mallitarkasteluihin. Ekosysteemipalvelujen vaikutukset ovat periaatteessa relevantteja kaikissa tapauksissa pois lukien sähkökatkoksissa. Silti pystymme huomioimaan niistä vain osan eri tarkasteluissa. Hyvinvointivaikutukset ovat eksplisiittisesti mukana vain sähkökatkosten kustannusanalyyseissä. Toisaalta ne ovat myös välillisesti osittain mukana ekosysteemien kulttuuripalvelujen muutoksissa metsätaloussektorissa.

Mainitsemme nämä haasteet kummassakin toimialan kustannusten käsittelyssä (lukuissa 3, 4 ja 5). Lisäksi on tärkeää ymmärtää, että makrotalousmallit pystyvät huomioimaan vain varsinaiset rahalliset (lisä)menot sekä pääoman ja työvoiman tuottavuuden muutokset.

**Taulukko 3.1** Eri kustannusperusteiden soveltaminen toimialojen tarkasteluissa

	taajamat (tulvat ja muut)	sähkö- katkokset	metsätalous	maatalous	muut
<b>RAHALLISET</b>					
menot / tulot	X	X	X	X	X
pääoman arvo			X	X	
<b>HYVINVOINTI*</b>					
aineellinen			(x)	(x)	
henkinen		X	(x)		
<b>EKOSTEEMIPALVELUT**</b>					
ylläpitopalvelut					
tuotantopalvelut			X	X	
säätelypalvelut					
kulttuuripalvelut			X		

\*) maksuvalmiuspohjainen (WTP); \*\*) joko korva markkinapalvelun hinnan mukainen (tuotanto) tai maksuvalmiuspohjainen (muut) (WTP)

## 3.2 Luonnonilmiöiden vahinkokustannusten arvioinnit lähihistoriassa

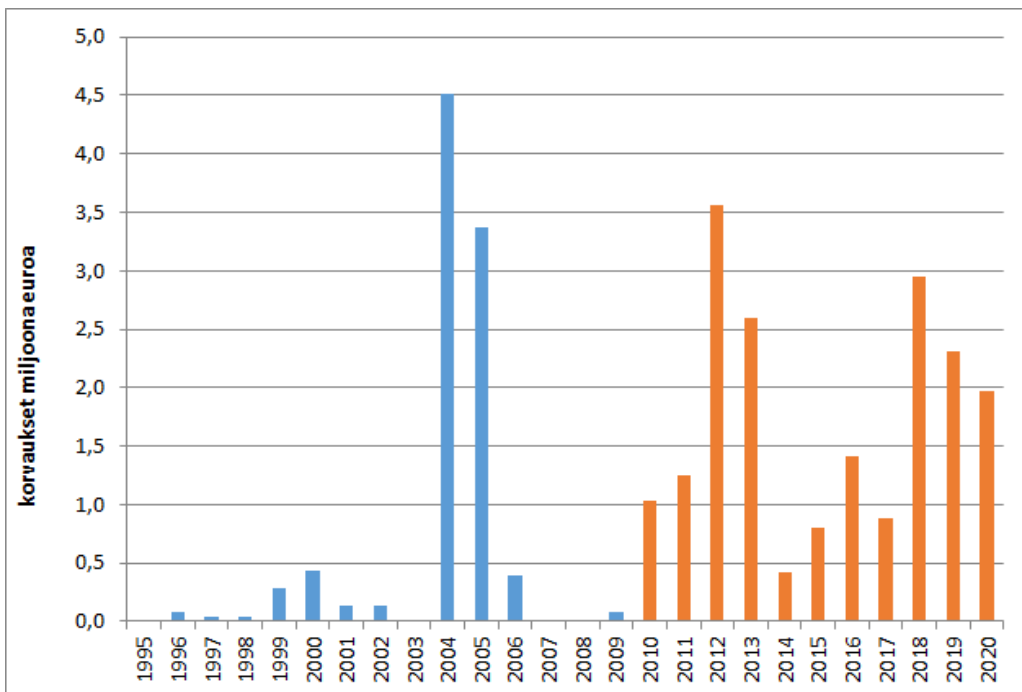
### 3.2.1 Rakennettu ympäristö

#### 3.2.1.1 Tulvat

Tulvat aiheuttavat vuosittain vahinkoja eri puolella Suomea. Näistä maksetut vuositasolla yli miljoonan euron vakuutuskorvaukset ovat vain osa tulvien aiheuttamista vuotuisista vahingoista (Tuomenvirta ym. 2018). Näiden lisäksi vahinkoja syntyy esimerkiksi kuntien omistamille kiinteistöille sekä välillisistä vahingoista. Vuosittaiset aiheutuneet tulvavahingot ovat täten helposti noin 5 miljoonaa euroa vuodessa (Parjanne ym. 2018).

Valtio ei ole vuoden 2014 alusta lähtien enää korvannut poikkeuksellisten tulvien aiheuttamia rakennus- ja irtaimistovahinkoja, vaan ne korvataan kotivakuutuksiin kuuluvasta tulvaturvasta. Finanssiala ry kerää tiedot maksetuista tulvavahinkokorvauksista vuosittain vakuutusyhtiöiltä, ja Suomen ympäristökeskus (SYKE) julkaisee ne verkkopalvelussaan ([www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit](http://www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit)). Vakuutusyhtiöiden maksamia korvauksia on mukana vuodesta 2010 alkaen. Tiedot sisältävät myös meritulvat ja rankkasateesta aiheutuvat tulvat sekä korvaukset irtaimistolle. Valtio maksoi korvauksia vain vesistötulvista aiheutuneista rakennusvahingoista. Valtion maksamia korvauksia on saatavilla palvelusta vuodesta 1995 lähtien (Kuva 3.1). Luonteeltaan nämä kustannukset ovat puhtaasti rahallisia, koska kyse on vain aineellisten vahinkojen korvaamisesta. Kompensaatioehtojen takia nämä määrät eivät kata kaikkia aineellisia kustannuksia, saati hyvinvointikustannuksia.

**Kuva 3.1** Suomen ympäristökeskuksen kokoama tulvavahinkotilasto vuosilta 1995–2020. Kuvassa on esitetty sekä valtion myöntämät korvaukset poikkeuksellisista vesistötulvista vuosina 1995–2013 että vakuutusyhtiöiden maksamat korvaukset vuosina 2010–2020 (sisältäen uutena myös meri- ja hulevesitulvat). Vuoden 2014 alusta alkaen poikkeuksellisista tulvista aiheutuneita vahinkoja on korvattu vain kotivakuutuksiin kuuluvasta tulvaturvasta.



Edelliset merkittävät vesistötulvat koettiin syksyllä 2012 ja keväällä 2013. Valtio myönsi tällöin korvauksia yli 4 miljoonaa euroa. Tulvien aiheuttamiksi kokonaisvahingoiksi arvioitiin noin 20 miljoonaa euroa. Tulvien myötä nimettiin myös kaksi uutta

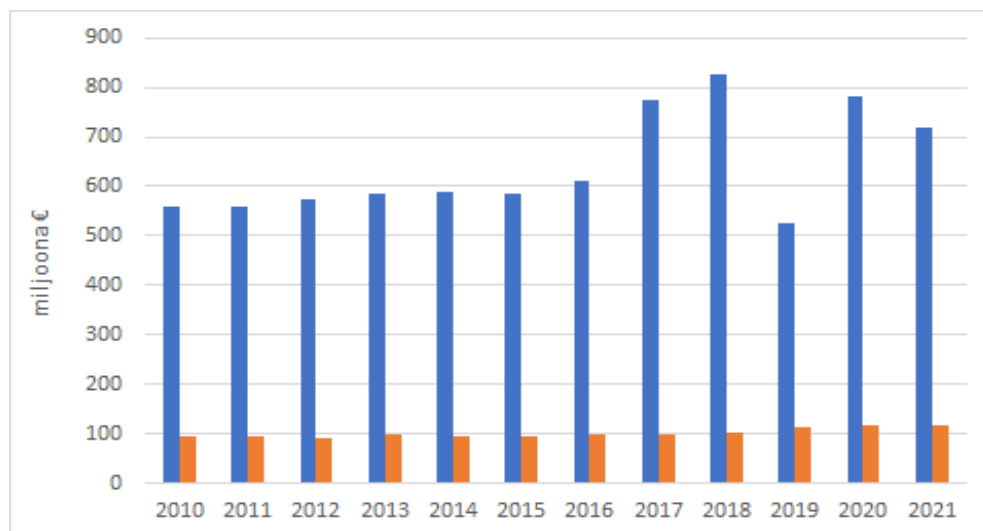
merkittävää tulvariskialetta: Lapväärtti ja Pyhäjoen alaosa – molempien nimeämiseen vaikuttivat myös jääpatotulvat.

Suuret tulvat toistuvat harvoin. Kesällä 2004 virtaamat kasvoivat esimerkiksi Vantaanjoen vesistöalueen uomissa jatkuvien rankkasateiden seurauksena ajankohtaan nähden ennätyskellisen suuriksi. Loppiaisenä 2005 puolestaan merivesi nousi Suomenlahdella ennätyslukemiin. Saman vuoden toukokuun lopussa olivat lumen sulamisesta aiheutuneet Lapin tulvat poikkeuksellisen rajuja. Porissa puolestaan aiheutti paikallinen rankkasade elokuussa 2007 yli 20 miljoonan euron vahingot, joista vakuutusyhtiöt korvasivat noin 10 miljoonaa euroa (Porin kaupunki 2009). Vaikka suuria vahinkoja aiheuttaneita tulvia ei olekaan viime vuosina tapahtunut, merkittävillä tulvariskialueilla on suuri vahinkopotentiaali. Muun muassa Rovaniemellä sekä Haminan ja Kotkan rannikkoalueella tulvat, joiden vuotuinen todennäköisyys on 1 %, voivat aiheuttaa yli 50 miljoonan euron vahingot. Tulvavahinkopotentiaalain kehitykseen palataan luvussa 4.4.1.

Vesihuoltoon kohdistuvat tulva- ja kuivuusriskit aiheuttavat pääasiassa välillisiä vaikutuksia, joiden arviointi on hankalaa yhtenevillä periaatteilla. Vesihuoltolaitosten toiminnan häiriintyminen tai keskeytyminen voi aiheuttaa taloudellisia ja ympäristövaikutuksia sekä keskeyttää välttämättömyyspalveluita, kuten juomaveden saannin ja viemäroinnin. Jätevesien tulviminen kaivon kansien tai muiden viemärointipisteiden kautta kiinteistöön, pihalle tai kadulle voi aiheuttaa myös terveydellistä haittaa.

### 3.2.1.2 Tieliikenne

Perusväylänpidon menot vaihtelevat kohtuullisen paljon (Kuva 3.2). Vaihtelevat sääolosuhteet eivät välttämättä ole vaikuttaneet paljon vuosittaisiin väylänpidon kustannuksiin, toisin kuin poliittiset budjettiarvioinnit. Kuvassa 3.2 näytetään erikseen väylänpitoon kuuluvat talvihoidon menot, jotka eivät nekään reagoi paljon tai ollenkaan vaihteleviin talviolosuhteisiin. Eri kaupunkien auras- ja suolauskustannukset eivät myöskään vaihtelee niin paljon kuin eri vuosien lumitilanteet antaisivat ymmärtää (vastaukset sähköpostitse pääkaupunkiseudun kunnilta). Valtion tiestön osalta taustalla vaikuttaa operatiivisten huoltosopimusten luonne. Kaupungeissa taas merkittävä osa tienhuollon työstä suoritetaan kaupungin palveluksessa olevalla työvoimalla, mikä vaihtelee vaihteluja. Lisäksi kaikissa organisaatioissa oli ilmeisesti hyvin vaikeaa erottaa vastaavat menot kirjapidonjärjestelmästä, etenkin ajallisesti.

**Kuva 3.2** Valtion tiestön peruspidon menot (miljoona euroa) ja menot tiestön talvihoidolle

Liikenneonnettomuuksien lukumäärä vaihtelee päivän ja vuodenajan mukaan muun muassa liikenteen volyymin ja sääolosuhteiden vaihtelun takia. Pitkällä aikavälillä sääolosuhteiden aiheuttamaa trendiä ei ole nähtävissä. Tieonnettomuuksien lukumäärän trendi on pikemminkin laskeva, todennäköisesti teknologian ja liikennesääntöjen ansiosta. Traficomien tietojen mukaan (Traficomin verkkosivusto 01.02.2022) liikenneonnettomuuksien kokonaiskustannukset laskivat 1,66 miljardista eurosta vuonna 2016 1,22 miljardiin euroon vuonna 2021. Luku sisältää sekä rahallista että hyvinvointielementtiä. Sekä Nurmi ym. (2012) Suomen tieliikenteen osalta, että Nokkala ym. (2012) koko Euroopan tieliikenteeseen viitaten, indikoivat, että noin 10 % tieonnettomuuksista johdetaan etupäässä huonoista sääolosuhteista. Suomessa ilmastonmuutoksen vaikutus näihin suureisiin on todennäköisesti melko vaisua ja näin ollen kustannusvaikutus jäi pieneksi.

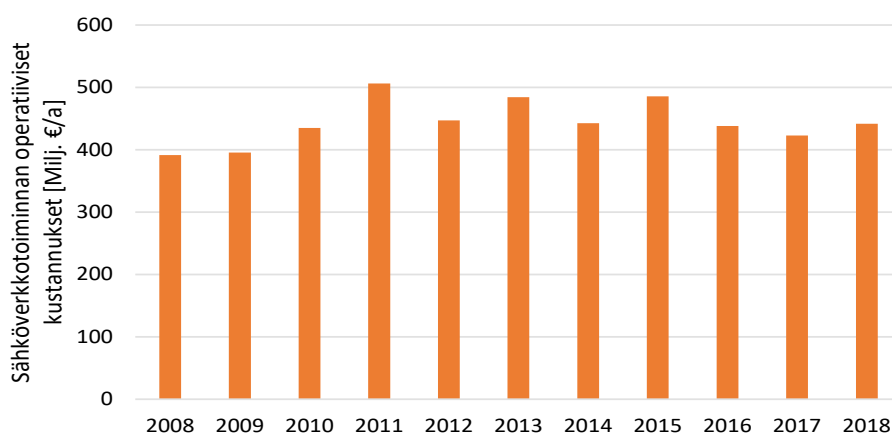
Väylävirastolta löytyy tieinfrastruktuurin vuosittaiset käyttötilastot (Kiiskilä ym. 2020), mukaan lukien eri tietyyppien ja osuuksien keskinopeus kesäkaudella (touko-syyskuu) ja talvikaudella (marraskuu – maaliskuun 15. päivä). Keskinopeus linkittyy suoraan keskimääräiseen matka-aikaan ja näin ollen taloudelliseen vaikutukseen. Suuren liikennekokonaisuuden takia jopa pieni muutos edustaa jo helposti taloudellisesti merkityksellistä hyötyä (keskinopeus nousee) tai haittaa (keskinopeus laskee). Yleensä vaihtelut ovat kuitenkin hyvin pieniä tai olemattomia. Lisäksi tämänkaltaiset kustannusvaihtelut edustavat laskennallisia kustannusvaikutuksia, jotka eivät sellaisenaan kelpaa kansantalousmalliin. Kiiskilä ym. (2020) perustella karkea arvio on, että runsasluminen talvi voi alentaa liikenteen keskinopeutta noin 1 %. Jos koko talvikauden henkilö- ja pakettiautojen matkustusaika nousee samalla prosenttimäärällä, lisätyn matkustusajan laskennallinen arvo on noin 23 miljoona euroa.

### 3.2.2 Sähkönjakelun häiriöt

Luonnonilmiöt ja niiden vaikutukset näyttäytyvät merkittävänä osana sähkönjakelun kustannuksia. Merkittävä osa sähkönjakelun operatiivisista kustannuksista liittyy tavalla tai toisella luonnonilmiöihin. Suoria kustannuksia luonnonilmiöistä ovat muun muassa sähkönjakelun häiriöiden selvitys- ja viankorjauskustannukset sekä sähkönjakelun asiakkaille pitkien, yli 12 tunnin mittaisten, keskeytysten kompensaatona maksettavat niin sanotut vakiokorvaukset. Näiden lisäksi sähköverkkotoiminnassa määritetään vuosittain keskeytysten aiheuttamat haittakustannukset (KAH), joiden määrittämisessä huomioidaan kaikki sähkönjakelun katkokset mukaan lukien jopa myös sekunnin osien pituiset katkokset. KAH-kustannuksissa pyritään huomioimaan muun muassa teollisuuslaitosten tuotannolliset tappiot, palvelutoimintojen myynti- tms. tappiot sekä kotitalouksien kärsimät haitat. Näin ollen KAH-kustannukset sisältävät hyvinvontikustannuskomponentin, kun taas maksetut vakiokorvauskompensaatiot asiakkaille edustavat rahallisia kustannuksia sähköyhtiölle.

Sähkönjakelun operatiiviset kustannukset vuosina 2008–2018 on esitetty kuvassa 3.3. Operatiivisia kustannuksia ovat tässä yhteydessä muun muassa sähkönjakelun käyttötoimintaan, sähköverkkojen ennakoiwaan kunnossapitoon, sähkölinjojen raivaukseen sekä häiriöiden selvitykseen ja viankorjaukseen liittyvät kustannukset.

**Kuva 3.3** Sähköverkkotoiminnan operatiiviset kustannukset vuosina 2008–2018. Kustannukset ovat vuoden 2018 rahan arvossa. (Energjavirasto 2015, Energjavirasto 2019)

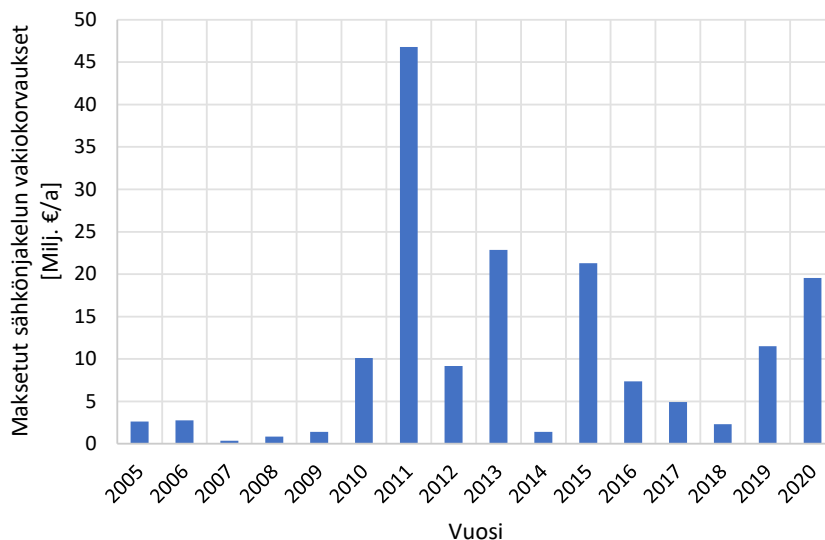


Operatiiviset kustannukset ovat vaihdelleet vuosittain noin 400–500 miljoonan euron välillä. Vuosien välistä vaihtelua selittää pääasiassa luonnonilmiöiden vuosittainen vaihtelu, mikä havaittiin myös esiintyneiden sähkönjakelun keskeytysten kohdalla (Liite 2).



Kuvassa 3.4 esitetään sähköjakelun häiriöiden seurauksena sähköjakelun asiakkaille maksettavien vakiokorvausten määrät vuosina 2005–2020. Sähköjakelun pitkiä keskeytyksiä kokeneiden sähkökäyttäjien saamat korvaukset vaihtelevat merkittävästi eri vuosien välillä. Suurimmillaan kokonaiskorvausten määrä on ollut liki 50 miljoonaa euroa, kun taas useina vuosia sähköjakelun asiakkaille maksettavia korvauksia on ollut alle 5 miljoonaa euroa. Maksettujen vakiokorvausten osalta voidaan havaita vakiokorvausten keskittyminen vuosille, joiden aikana on ollut haastavia myrskyjä, jotka ovat aiheuttaneet laajoja tuhoja myös sähköjakeluverkoissa. Tällaisia vuosia ovat olleet muun muassa vuodet 2011, 2013, 2015 ja 2020. Vuosittaisten vakiokorvausten yhteismitallistamista vaikeuttaa kuitenkin hieman vakiokorvausten korvausluokissa vuonna 2013 tapahtuneet muutokset. Se tarkoittaa, etteivät ennen sitä ja sen jälkeen olevat vuodet ole suoraan vertailukelpoisia keskenään.

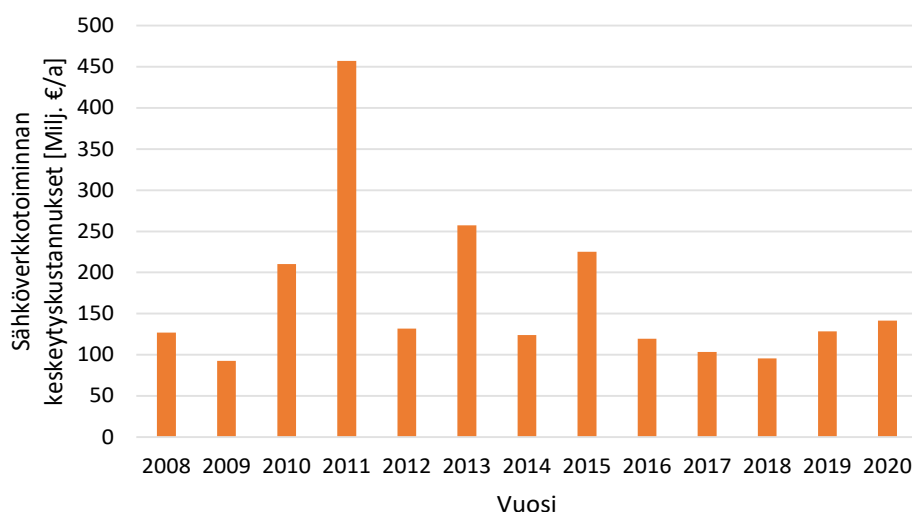
**Kuva 3.4** Sähköjakelun häiriöiden seurauksena asiakkaille maksetut vakiokorvaukset vuosina 2005–2020. Korvaukset ovat ko. vuoden rahanarvossa. (Energiavirasto 2022)



Asiakkaille maksettavien vakiokorvausten lisäksi sähköjakeluyhtiöt joutuvat myös maksamaan häiriön hoidosta ja viankorjauksesta, jotka ovat mukana kuvan 3.3 operaativisissa kustannuksissa. Muiden hankkeiden ei-julkisten tietojen perusteella arvioimme, että myrskytuhojen tai muiden sähköjakelun suurhäiriöiden häiriön hoidollisten kustannusten arvioidaan olevan tyypillisesti 30 % – 80 % verrattuna sähköjakelun vakiokorvauksiin, mutta häiriönhoitokustannukset voivat olla vakavien myrskytuhojen tapauksessa myös vakiokorvauksia suuremmat. Tämä riippuu kuitenkin merkittävästi häiriöiden laajuudesta ja toimintaympäristöstä.

Sähkönjakelun KAH-kustannukset vaihtelevat hyvin pitkälti vastaavasti kuin maksettavien vakiokorvausten määrä. Tätä selittää pitkälti se, että molempien taustalla vaikuttaa osin vastaavat tekijät eli sähkönjakelun asiakkaiden kokemien keskeytysten lukumäärä ja pituus. KAH-kustannuksiin kuitenkin sisällytetään vakiokorvauksista poiketen myös alle 12 tunnin pituisten keskeytysten haitat. KAH-kustannusten huippu on noin 450 miljoonaa euroa vuonna 2011, mikä on ollut sähkönjakelun keskeytysten määrää tarkasteltaessa hyvin haastava vuosi. Vastaavasti myös useat muut vaikeita myrskytuhoja sisältävät vuodet (2010, 2013 ja 2015) näyttäytyvät KAH-kustannusten näkökulmasta korkeina arvoina Kuva 3.5.

**Kuva 3.5** Sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuneet haitta (KAH)-kustannukset vuosina 2008–2020. Kustannukset ovat vuoden 2018 rahanarvossa. (Energiavirasto 2015, Energiavirasto 2019, Energiavirasto 2022)



### 3.2.3 Metsätalous

Metsien laatua alentavien tuhojen osuus puuntuotannollisesta pinta-alasta oli vuosina 2017 ja 2018 noin 27 % (Nuorteva 2019). Suorien ja epäsuorien häiriöiden ja yleisemmin vaikutusten tunnistaminen on oleellista vaikkakin hyvin vaativaa. Esimerkiksi juurikäävän tai tuulituhojen metsätaloudellisten suorien tappioiden arvioiminen voidaan tehdä suhteellisen suoraviivaisesti laskemalla tuhoutuneen puuston markkina-arvo sekä laadullisesti alentuneen puuston arvonalennus sekä ottamalla huomioon vaikeutuneiden korjuulosuhteiden aiheuttamat korjuu- ja kuljetustappiot. Juurikäävän vuotuisten tappioiden arvioidaan olevan noin 50 miljoonaa euroa (Piri ym. 2019). Juuri-

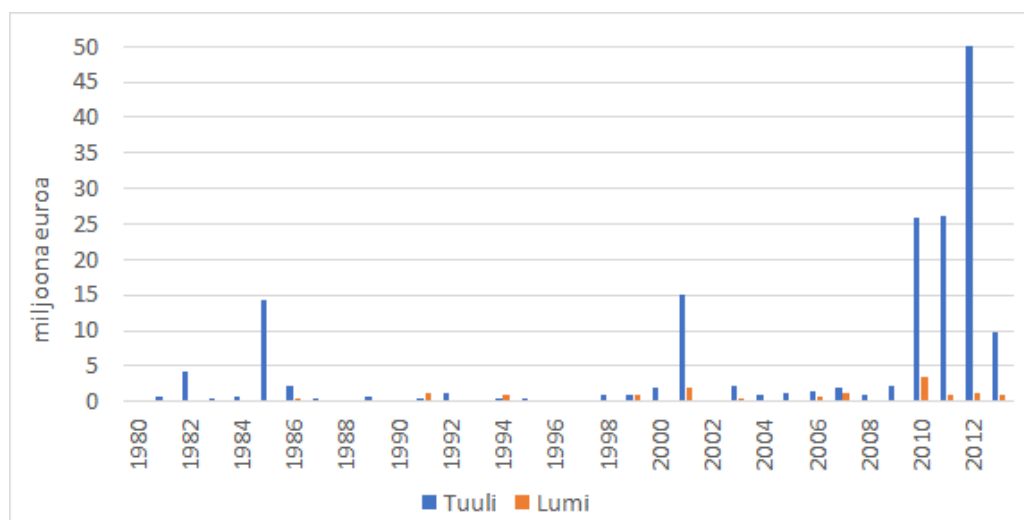
käävät lahottavat kuusikoita ja tappavat mäntyjä. Ilmastonmuutos lisää todennäköisesti juurikääpätuhojen määrää Suomessa. Keskeisinä syytekijöinä ovat talven lyheneminen, kesän lämpeneminen ja tuulisuuden lisääntyminen. Tuulituhoja korvattiin yli kymmenen miljoonan euron arvosta viitenä vuotena aikavälillä 1980–2013 (kuva 3.6).

Alueellisen tuulituhon kokonaistaloudellisten vaikutusten arvioiminen on huomattavasti vaativampaa. Niiden arvioimiseksi tarvitaan markkina-analyysia: lisääntynyt puun tarjonta tuhoalueelta johtaa supistuneeseen tarjontaan muualta. Alentunut puun hinta johtaa metsäteollisuudelle kohdistuvan kuluttajaylijäämän kasvuun, kun taas metsänomistajille kohdistuva tuottajaylijäämä supistuu. Kokonaistaloudellinen vaikutus on edellisten aggregaattitason vaikutus.

Puumarkkinat tasaavat paikallisten luonnonvahinkojen aiheuttamia shokkivaikutuksia tehokkaasti. Valtakunnallisesti liikkuvat puuvirrat pienentävät paikallisia puun hintavaihteluita.

Epäsuorat vaikutukset ovat oleellisia myös, kun arvioidaan tuuli- tai vastaavien tuhojen ilmastollisia vaikutuksia puuston nieluvaikutusten kautta. Markkinoilla on havaittu tässä yhteydessä olevan hyvin tehokas substituutiovaikutus, kun tuhon vuoksi menetetty hiilivaranto korvautuu tarjontaansa vähentävien metsänomistajien metsien hiilivarannon kasvun myötä (Asikainen ym. 2019).

**Kuva 3.6** Tuuli- ja lumivahinkokorvaukset metsänomistajille vuosina 1980–2013. Lähde: Metsätalastollinen vuosikirja 2014.

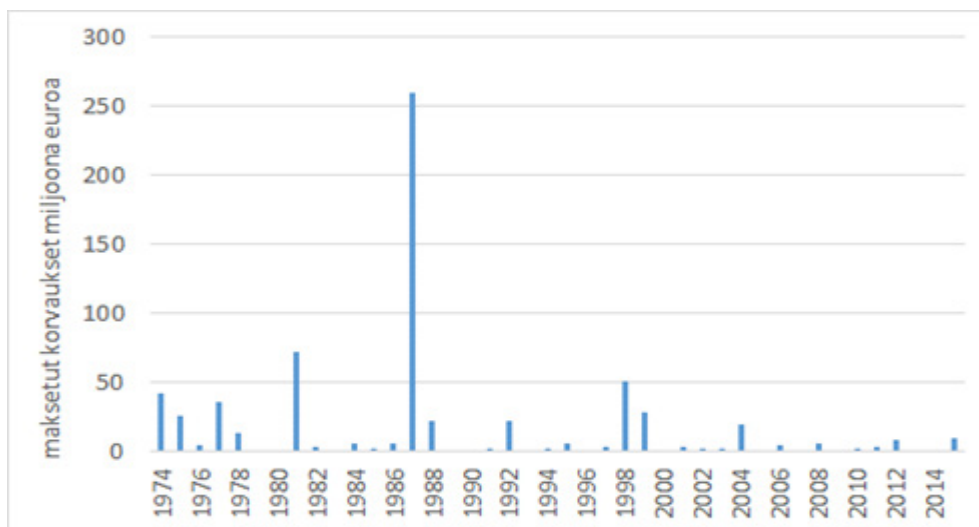


### 3.2.4 Maatalous

Maataloudessa oli valtion rahoittama satovahinkokorvausjärjestelmä voimassa vaikeasta katovuodesta 1974 lähtien vuoden 2015 loppuun saakka. Vuodesta 2016 alkaen valtion rahoittamasta järjestelmästä siirryttiin vakuutus pohjaiseen järjestelmään. Vuodesta 1974 vuoteen 2015 satovahingoista on saatavilla tarkat tilastoidut hehtaarimäärät ja maksetut korvaussummat (Maatilatilastollinen vuosikirja 2014, Maatilahallituksen vuosikertomukset). Vuosittaiset satovahinkoalat ovat vaihdelleet 0 hehtaarista melkein miljoonaan hehtaariin eli pahimpana satovahinkovuonna 1987 vahinkoala on ollut 997 500 hehtaaria. Vuosikorvaukset ovat vaihdelleet 0 eurosta 260 miljoonaan euroon. Yli 50 miljoonan euron satovahinkovuosia on ollut kolme eli noin kymmenen vuoden välein (*Kuva 3.7*). Satovahinkojen suurin aiheuttaja on ollut liiallinen märkyys syksyllä. Satovahinkojärjestelmässä ei otettu huomioon sadon laadullisia tappioita, ainostaan määrälliset tappiot. Satovahinkojärjestelmä ei korvannut määrällisiäkään tappioita täysimääräisesti vaan noin kaksi kolmasosaa vahingoista. Jotta todellinen satovahingon arvo saadaan selville, satovahinkojen korvaussummat tulee kertoa noin 1,35:lla.

Vakuutus pohjainen järjestelmä ei ole saavuttanut kovin suurta suosiota viljelijöiden eikä vakuutusyhtiöiden keskuudessa, eikä siitä ole saatavilla tilastotietoja. SYKE:ssä on hyödynnetty valtion korvaamista vahingoista koottua satovahinkotietokantaa ja kehitetty sen perusteella maatalouden tulvavahinkojen arviointimenetelmää täydentämään aikaisemmin kehitettyjä tulvavahinkojen euromääräisiä arviointimenetelmiä (Sillander & Parjanne 2013).

Maataloudelle voi aiheutua tulvimisen seurauksena erilaisia vahinkoja. Kevättulvat voivat aiheuttaa kylvön myöhästymistä ja sitä kautta heikentää sadon määrää ja laatua. Kesätulvissa tuhoutuu veden peittämäksi jääneen alueen sato osittain tai kokonaan. Joskus tulva voi vaikuttaa vielä seuraavien vuosienkin satoon sitä alentavasti. Tulvan ajankohdan lisäksi kasvilajilla ja tulvan kestolla on suuri vaikutus tulvasta aiheutuviin vahinkoihin. Satovahinkotietokannan vuosina 1995–2012 maksettujen korvausten perusteella suurimmat vahingot ovat aiheutuneet ohralle, perunalle, vehnälle ja kauralle. Korvauksia maksettiin kyseisinä vuosina kokonaan tai osittain tuhoutuneesta sadosta yhteensä noin 500 miljoonaa euroa.

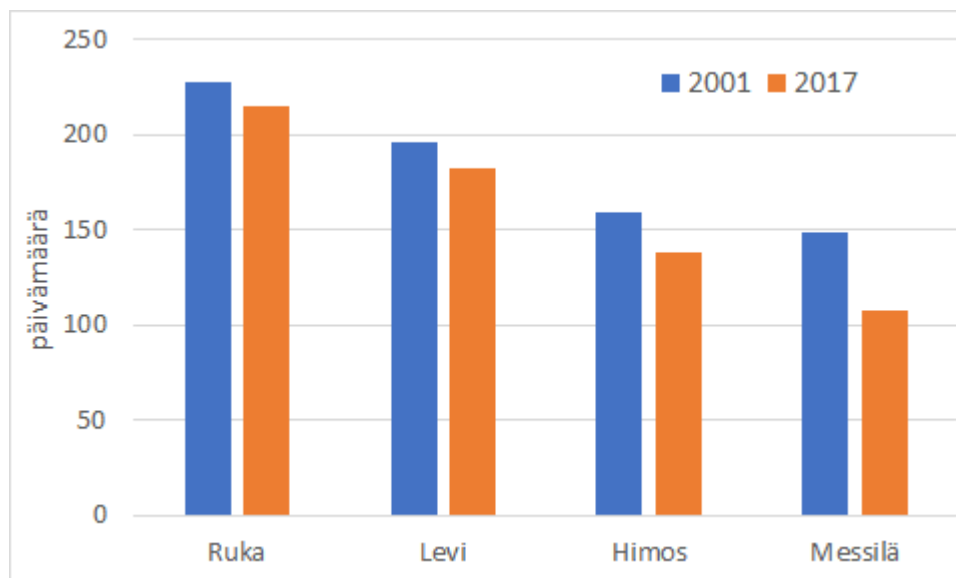
**Kuva 3.7** Satovahingoista maksetut korvaukset (euroa/vuosi) vuosina 1974–2015.

## 3.2.5 Muut sektorit

### 3.2.5.1 Matkailu

Kotimaan matkailu talvella keskittyy hiihto- ja laskettelukeskuksiin. Lisäksi Pohjois-Suomen laskettelukeskuksiin saapuu myös paljon kävijöitä muista maista. Falk ja Vieru (2019) ovat tutkineet hiihto- ja laskettelukeskuksen hissilippujen myynnin herkkyyttä suhteessa luonnollisen lumipeitteen paksuuteen. Artikkelin mukaan Etelä-Suomen laskettelukeskusten hissilippujen myynnin herkkyys on noin kaksi kertaa suurempi kuin Pohjois-Suomessa. Tutkimus indikoi myös, että lumen vähyyys Etelä-Suomessa kasvattaa jonkin verran Pohjois-Suomen laskettelukeskusten hissilippujen myyntiä. Tutkimuksen luonteesta johtuen ei ole mahdollista päätellä, missä Etelä-Suomen laskettelukeskusten kriittinen raja kulkee lumipeitteen vähyyden osalta.

Laskettelukelpoisten päivien lukumäärä on vähentynyt jo vuosikymmeniä (Kuva 3.8). Etelä-Suomen laskettelukeskuksille tämä tarkoittaa yhä useammin sellaisia vuosia, jolloin riittävää lumipeitettä on alle kolme kuukautta, eikä lumetuskaan enää toimi korkean lämpötilan takia. Suomen Hiihtokeskusyhdistyksen mukaan (SHKY 2021) Pohjois-Suomen laskettelukeskukset ovat yleisesti kasvattaneet kävijämääräänsä. Sen sijaan muilla alueilla laskettelukeskusten kävijämäärät ovat kasvaneet vain vähän tai ei lainkaan. Etelä-Suomen lumipeitteen vähäisyyden vaikutuksista kävijämääriin ei ole täsmällisiä tietoja.

**Kuva 3.8** Laskettelukauden pituus eri keskuksien tietojen mukaan (lähde: YLE 2019)

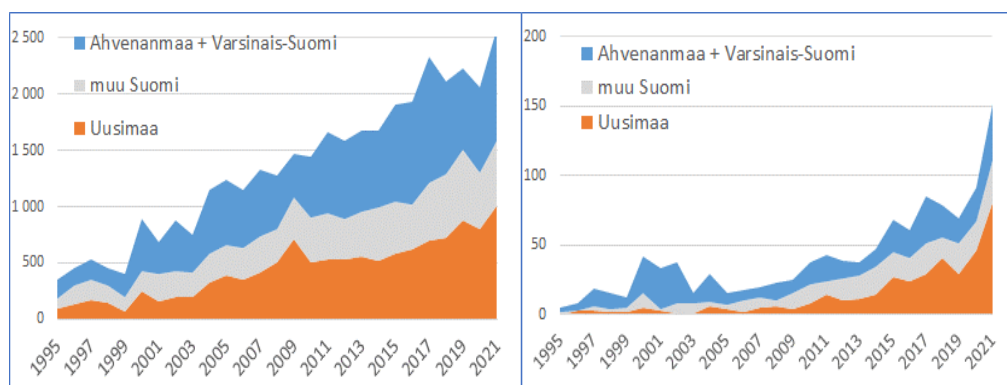
### 3.2.5.2 Terveys

Helleaallot ovat ylivoimaisesti Suomen tappavin sääilmiö. Monissa muissa EU-maissa tilanne on sama. Helleaaltojen vuosittainen keskimääräinen vaikutus kuolleisuuteen on 200 ~ 400 henkeä lisää (Ruuhela ym. 2021; Kollanus ja Lanki 2014). Helleaallot ovat erityisesti vaarallisia yli 75-vuotiaille henkilöille. Lyhyet (enintään 5 päivää kestävät) helleaallot nostavat tässä ikäryhmässä kuolleisuusriskiä vajaat 10 % ja pitkäkestoiset (yli 10 päivää kestävät) helleaallot noin 17 % (Kollanus ym. 2021). Toisaalta myös lämpötilan korkeus vaikuttaa kuolleisuusriskiin. Ruuhelan ym. (2021) mukaan yli 75-vuotiaiden kuolleisuusriski nousee 56 % Helsingissä ja 36 % pääkaupunkiseudun ympärivällä alueella, jos vuorokauden lämpötila nousee yli 24 asteen 17 asteen keskilämmön vuorokauteen verrattuna. Ilmastonmuutos vaikuttaa helleaaltojen kestoon ja keskilämpötilaan. Kustannusnäkökulmasta kyse on nimenomaan kuolleisuusriskiin liittyvistä hyvinvointikustannuksista. Lisäksi tähän liittyvät hoitokustannukset nousevat jonkin verran (Kollanus ja Lanki 2014), mutta siitä ei ole tarkkoja arvioita.

Ilmastonmuutos edistää vektori- ja vesivälitteisten tautien esiintymistä Euroopassa, Suomi mukaan lukien (Bednar-Friedl ym. 2022). Borrelioosi ja puutiaisaivotulehdus (TBE) ovat puutiaisten välittämiä tauteja, joiden levinneisyys ja esiintyvyys kasvavat (kuva 3.9). Suomessa siihen vaikuttaa myös väestön kasvun keskittyminen etelään. Van den Wijngaart ym. (2017) arvioi, että borrelioosin aiheuttamat vuosittaiset kustannukset Alankomaissa ovat noin 19 miljoona euroa (vuoden 2010 lukujen perusteella). Tuoreet esiintymisluvut Suomessa ovat noin 10 kertaa pienempiä kuin Alankomaissa, joten karkea kustannusarvio Suomelle on noin 2 miljoona euroa. Periaatteessa TBE

voi aiheuttaa vakavia ja myös pysyviä terveyshaittoja, mutta toisaalta sitä voi torjua rokotteella. TBE:n esiintymismäärät ovat noin 15 kertaa pienempiä kuin borrelioosin. Koska osa TBE-tapauksista aiheuttaa vakavia pysyviä neurologisia haittoja, vuosittainen kustannusvaikutus voi kuitenkin olla yhtä suuri tai jopa suurempi kuin borrelioosin.

**Kuva 3.9** Borrelioosin (vasen) ja putiaisiaivotulehduksen (oikea) esiintymisluvut, lähde: THL Tartuntatautirekisterin tilastotietokanta



### 3.2.6 Luonnonilmiöiden kustannuksien yhteenveto

Taulukko 3.2 esittää tiivistelmän niistä ilmiöistä ja sektoreista, joista on riittävä tietoa on saatavissa rahalliselle kustannusarvioinnille kuten on esitetty luvuissa 3.2.1 – 3.2.5. Sään ääri-ilmiöistä johtuvat vuosittaiset rahalliset kustannukset Suomessa ovat keskimäärin noin 90 miljoonaa euroa, jos sovelletaan pelkästään rahallisia eli transaktiopohjaisia kustannuksia. Ihmiset voivat kokea myös haittoja, joihin ei liity suoraviivaista rahallista korvausta. Näitä voidaan arvioida ns.niin sanotun maksuvalmiuden (willingness to pay WTP) pohjalta. Maksuvalmius suhteessa tietyn haitan vähentämisen vaatii oman tutkimuksensa. Tulos on tietynlainen haitan varjohinta, jota voidaan käyttää ilmiöiden vahinkojen arvioinnissa. Yleensä tämä menetelmä johtaa selvästi korkeampiin arvioihin. Maksuvalmiuspohjaiset arvioinnit voivat sisältää myös varsinaiset (rahalliset) kustannukset. Jos huomioidaan maksuvalmiuspohjaiset arviot vuosittaiset keskimääräiset kustannukset ovat noin 400 miljoonaa euroa.

Taulukon summat kattavat valtaosan ääri-ilmiöiden rahallisista kustannuksista mutta eivät kaikkia. Kaikki kustannukset eivät kata vakuutuskorjausmaksuja. Eri terveysvaikutukset, esimerkiksi hellejaksoista johtuen, eivät ole mukana. Suomessa helleaallot lisäävät selvästi kuolemantapauksia, keskimääräisesti jopa 200–400 vuodessa, minkä lisäksi hellejaksojen aikana monet heikkokuntoiset tarvitsevat lisää hoitoa. Tässä

hankkeessa ei ole erikseen tutkittu luonnolle aiheutuvia vahinkoja. Ne ovat kuitenkin osin edustettuina metsätalouden vahinkolaskelmissa. Sekä metsä- että maataloudessa on paljon bioottisia riskejä ja osa näistä reagoi myös selvästi sääolosuhteisiin, mutta on hyvin vaikea arvioida, mikä on sään osuus bioottisen vahinkoarvoissa, puhumattakaan ilmastonmuutoksen vaikutus tähän osuuteen

**Taulukko 3.2** Eri ääri-ilmiöiden aiheuttamat vuosittaiset keskimääräiset kustannukset

ilmiöt / toimialat	havaitut kustannukset – vuosittaiset keskiarvot (miljoona €) ajanjaksossa 2010-2020	
	rahalliset (transaktiopohjaiset)	maksuvalmiuspohjaiset (WTP)
vesistö- ja rannikkotulvat	5	?
sähkökatkokset	19	181
vakuutuskorjausmaksut metsä- ja rakennusomistajille*	66	
tieonnettomuudet huonossa säässä **)		147
borrelioosi	2	?

\*) myrskyistä ja lumikuormituksesta johtuen \*\*) noin 10% kaikista onnettomuuksista

### 3.3 Kartoitus ilmastonmuutoksen kustannustiedoista

Kartoitimme hankkeessa, mitä Suomea koskevia tai kansainvälisiä tietoja ilmastonmuutoksen aiheuttamista kustannuksista on saatavilla.

Ilmastonmuutoksen aiheuttamista kustannuksista tai taloudellisista vaikutuksista Suomessa ei löydy montaa arviointia. Suomen ilmastopaneelin raportti sopeutumisesta (Gregow ym. 2021) listaa 28 julkaisua, joissa käsitellään (myös) ilmastonmuutoksesta johtuvia vahinkoja ja tuotantovaikutuksia. Vain kahdeksan suomalaista julkaisua esittää nimenomaan Suomea koskevia numeerisia kustannusvaikutuksia ja muita talousvaikutuksia, joko koko kansantaloudesta tai tietyistä toimialoista (energia, maatalous, matkailu ja rakennetun ympäristön tulvat): Perrels ym. 2005, Pilli-Sihvola ym. 2010, Perrels ym. 2010, Virta ym. 2011, Lehtonen 2015, Parjanne ym. 2018, Purola ym.



2018, Falk ja Vieru 2019. Lisäksi Votsis ja Perrels (2016) sekä Nurmi ym. (2019) käsittelevät sopeutumiskeinojen tehokkuutta. Ainakin vanhemmat julkaisut (vuosilta 2005 ja 2010) ovat jonkin verran vanhentuneita kvantitatiivisten tuloksiensa osalta.

Virta ym. 2011 sisältää kansantaloudellisen tarkastelun hypoteettisesta äärimmäisestä rankkasateesta Helsingissä ja jokitulvasta Porissa. Molemmilla alueilla kansantalous toipuu nopeasti mutta ei ihan täydellisesti (bruttokansantuote (BKT) 10 vuotta shokin jälkeen:  $-0,04 \sim -0,2$  % perusuraan verrattuna). Tulvan jälkeisen korjausboomien rahoitustapa vaikuttaa myös tuloksiin. Helsingin shokin heijastevaikutus muihin maakuntiin on selvästi suurempi kuin Porin shokki, vaikka alkuperäiset vahingot ovat suurempia Porissa.

Maa- ja metsätaloudesta löytyy melko paljon julkaisuja, joissa selitetään aineelliset muutoksia, kuten sato/ha, muttei varsinaisia kustannusvaikutuksia toimialan tasolla.

Taloustutkijat keskustelevat ja tutkivat edelleen, mikä on sopiva menetelmä mallintaa maan tai alueen toipumista luonnonilmion aiheuttamasta shokista (Hallegatte 2015, Hsiang ja Jina 2014, Rose 2007). Jos eri markkinoiden epätäydellisyys on merkittävää, esimerkiksi jos tieto riskeistä ja toimintavaihtoehdoista ei kulje, toipuminen kestää kauemmin ja on epätäydellistä. Virta ym. 2011 vihjaa melko täydelliseen toipumiseen Suomen kohdalla. Dunz ym. 2021 on mallintanut Meksikon taloudellisen toipumisen hurrikaaneista. Tulokset viittavat melko hyvään toipumiseen Meksikon tapauksessa, jos vain yksi vakava shokki ilmestyy kerrallaan. Yhdistelmät, kuten hurrikaani + COVID-19-rajotukset, voivat johtaa pitkäkestoisempiin menetyksiin BKT:ssa. Toisaalta esimerkiksi Hsiang ja Jina (2014) indikoi, että hurrikaanit aiheuttavat Yhdysvaltoihin jonkin verran pysyviä menetyksiä bruttokansantuotteen kehityksessä.

Muutamit EU-tutkimukset (Bosello ym. 2020, Ciscar ym. 2018, Aaheim ym. 2015) sisältävät kustannusvaikutustietoja joko Suomesta (Bosello) tai Pohjoismaista (muut). Bosello ym. (2020) on EU COACCH -hankkeen tuottama julkaisu, ja käytämme sitä luvussa 6.3 vertailussa tämän hankkeen makrotalousmallien tuloksiin.

COACCH-hanke on tuorein kaikki EU-jäsenmaat kattava tutkimus ilmastonmuutoksen aiheuttamista taloudellisista vaikutuksista eri ilmasto- ja talousskenaarioissa. Tutkimuksessa käsitellään sekä vaikutuksia joillekin toimialoille että kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Tutkimuksessa huomioitiin lyhytaikaiset ääri-ilmiöt, pysyvät muutokset sekä niin sanotut keikahduspisteet. Osa tuloksista suoritettiin alueellisella tasolla (NUTS 2), mikä erottelee neljä aluetta Suomessa (Uusimaa, muu Etelä-Suomi, Länsi-Suomi sekä Itä- ja Pohjois-Suomi).

## 3.4 Riskitietojen saatavuuden ja avoimuuden merkitys sopeutumiseen

Sopeutuminen vaatii paljon ja jatkuvasti uutta tietoa. Suunnittelu- ja valmisteluvaiheessa tietojen saatavuuden, kattavuuden, määrän ja laadun on oltava riittävää, jotta riskien arviointi on riittävän osuvaa ja sen mukaisesti myös toimenpiteet oikeanmittaisia. Toimenpiteen sovellusvaiheessa taas monitorointi on tärkeää, koska ajan myötä vaikuttavuus voi vähentyä. Kuten edellisissä luvuissa on kuvattu, aineellista vaikutuksista (erityisesti alkuvaiheista) on suhteellisen paljon tietoa saatavilla, mutta tiedot ovat usein hajallaan ja monimutkaisista yhdistelmä- ja takaisinkytkentävaikutuksista puuttuu paljon tietoa ja ymmärrystä. Toisaalta tietopohja kustannusten osalta on melko puutteellista. Liite 4 esittää lyhyen tiivistelmän tietojen saatavuudesta Suomessa. Tässä luvussa keskitytään erityisesti tietojen saatavuuden tärkeyteen ja kansantaloudelliseen merkitykseen.

Talousteoreettisesti tietojen puute tarkoittaa, että riskimarkkinat eivät toimi tehokkaasti tai ollenkaan. Riskimarkkinat toimivat epävarmuuden kontekstissa, ja siksi pelkästään lisätieto ei välttämättä tehosta riskimarkkinoita. EU-MACS- ja MARCO-hankkeissa tarkasteltiin ilmastotietopalvelujen käyttöönoton ja arvonmuodostuksen esteitä (Perrels ym. 2020). Ilmastotietomarkkinoiden parantaminen edellyttää avoimuuden ja tietojen jakamista edistäviä toimenpiteitä, ei niinkään rahallista tukea. Merkittävällä osalla ilmastotiedoista on meriittihyödykkeen luonne (Perrels ym. 2020). Meriittihyödyke on hyödyke tai palvelu, jonka käyttö jää matalammaksi kuin mitä on yhteiskunnallisesti optimaalista (Musgrave 2008). Ilmastotietopalvelujen markkinatoimivuuden parantamiseksi eri tutkijat (Mees ym. 2018, Bessembinder ym. 2019; Perrels ym. 2020) mainitsevat muun muassa seuraavia toimenpiteitä: (1) termi- ja tietoluokitusten harmonisointi, (2) ilmastoriskien raportointivelvollisuus finanssialalle, kunnille ja infrastruktuuriyhtiöille, (3) ilmastotietomarkkinan läpinäkyvyyden edistäminen esimerkiksi neuvonta- ja tiedonvälitysportaalien avulla, (4) julkisten ja yksityisten tahojen tietoyhteistyön fasilitointi yhteishyödyllisyyden edistämiseksi ja (5) uusien tietoyhteistyöbusinessmallien kokeiluohjelmat. Myös uudessa IPCC:n kuudennessa arviointiraportissa (New ym. 2022) korostetaan tietojen saatavuuden ja kattavuuden tärkeys tehokkaan sopeutumisen edistämiseksi.

EU-MACS- ja MARCO-hankkeissa suoritettiin muutamia arviointeja eri ilmastopalvelujen arvopotentialista. Caurla ja Lobianco (2020) ajoivat simulaation Etelä-Ranskan metsien metsähoidosta. Puuston iästä riippuen tietopalvelun arvo vaihtelee paljon. Nuorille metsille arvot vaihtelevat hehtaaria kohti 0 ja 50 euron välillä, kun taas metsälle, joka lähestyy hakkuuajankohtaa, arvo voi nousta jopa 4 900 euroon hehtaaria kohti. Perrels (2020) arvioi kokonaisilmastotietopalvelun arvopotentialin markkina-

arvon Euroopalle vuonna 2030 eri oletuksista kolmesta miljardista 30 miljardiin euron, kun taas palvelunkäytön kansantaloudelliset edut vaihtelivat 40 ja 60 miljardin euron välillä. Hunt ym. (2017) tarkasteli kuumuuteen liittyvän tietopalvelun aluetaloudellisia etuja suurille kaupungeille (Madrid, Praha, Lontoo). Palvelun nettohyöty vaihteli voimakkaasti eri epävarmuustekijöiden takia, kuten esimerkiksi palvelunvälityksen tehokkuuden vuoksi. Dawson ym. (2018) tutki niin sanotun optioarvomenetelmän avulla lisäinformaation arvoa rannikotulvan suojauksen parantamisessa eri ilmastokenaariossa. Ilmastotietopalvelun sovellus yhdelle rannikkoalueen suojaussuunnitelulle arvioitiin tuovan noin 50–400 miljoonan punnan hyödyn (yhden optioarvon tapauksessa), nimenomaan investointisumman pienentämisen ansiosta. Arviointiesimerkkien tulokset osoittavat ilmastotietopalvelujen merkittävää nettohyötypotentiaalia. Hyöty-kustannussuhde oli yleensä yli 1, eivätkä tulokset yli 10 olleet harvinaisia. Toisaalta esimerkit osoittavat, että hyvät tulokset edellyttävät riittävää, hyvälaatuista ja helposti saatavaa tietoa.

## 4 KUITTI-hankkeen skenaariovalinnat

### 4.1 Skenaarion kokonaisrakenne ja käyttö

Varautuminen ilmastonmuutokseen vaatii ymmärrystä useasta mahdollisesta kehityksestä, kuten ilmastonmuutoksen vauhdista ja eri maiden taloudellisesta ja yhteiskunnallisesta kehityksestä. Yhteiskunnan ja eri toimialojen kokonaisvaltainen varautuminen ilmastonmuutokseen tarvitsee skenaarion pohjaisen analyysin, jotta päätöksentekijät pystyvät käsittämään keskeiset vaihtoehdot, riskit ja vaihtokaupat.

Hankkeessa käytetään IPCC:n skenaariorakennetta, jossa RCP-vaihtoehdot (Representative Concentration Pathways) viittaavat ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kehitykseen ja SSP-vaihtoehdot (Shared Socioeconomic Pathways) edustavat narratiiveja, jotka kuvaavat sosioekonomista kehitystä. Ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kehitys riippuu globaalista talouskasvusta sekä kasvihuonekaasujen päästöjen hillintäpolitiikan kunnianhimoisuudesta ja sen toimeenpanon tehokkuudesta globaalitasolla. Mitä enemmän kasvihuonekaasuja vielä päästetään, sitä nopeammin ilmaston lämpeneminen etenee.

RCP2.6 edustaa kehityspolkua, jossa kasvihuonekaasujen päästöt vähenevät nopeasti. Vähentämisen ansiosta globaali lämpötilan nousu jää juuri alle kahden asteen kohtuullisella todennäköisyydellä. RCP4.5 edustaa tavallaan keskietä, jossa maat yleisesti toteuttavat ilmastopolitiikkaa mutteivät riittävästi. Seurauksena globaalin lämpötilan nousun arvioidaan olevan noin 2,7 astetta vuosisadan loppuun mennessä. RCP8.5 edustaa kehityspolkua, jossa kasvihuonekaasujen päästöt jatkavat kasvuaan ja globaali lämpötilan nousu olisi noin neljä astetta (tai korkeampi) vuosisadan loppuun mennessä. SSP-vaihtoehtojen keskeiset indikaattorit ovat bruttokansantuotteen (BKT) kehitys ja väestön kehitys, mutta taustalla on myös erilaisia visioita, miten maailma kehittyy, esimerkiksi yhteisten arvojen, yhteistyökyvyn ja teknologian siirron sujuvuuden osalta.

Oletettavasti Suomi tulee toteuttamaan Pariisin ilmastopimuksen tavoitteet, mutta välttämättä kaikkien maiden toimet eivät yllä samaan. Tuoreiden arviointien mukaan (Carbon Action Tracker 02.02.2022) maiden sitoumukset ovat silti sellaisella tasolla, etteivät korkeimmat pitoisuusurat (RCP8.5, RCP7.0) ole enää kovin todennäköisiä. Toistaiseksi nykyinen maailman keskiarvoinen päästövähennystahti sopisi RCP4.5-uraan (Carbon Action Tracker 02.02.2022), mikä ylittää Pariisin ilmastopimuksen

ylärajan. Tutkimuksessa verrataan RCP2.6- ja RCP4.5-uria. RCP2.6 edustaa niin sanotun kahden asteen maailmaa (Pariisin ilmastopimuksen lämpenemisen sallittu yläraja) ja RCP4.5 maailmaa, jossa kasvihuonekaasujen pitoisuus nousee liikaa ja maailman keskilämpötilan odotetaan nousevan noin 2,7 astetta vuosisadan loppuvaiheella.

Kestävän kasvun SSP1-skenaariossa talous siirtyy kestävän kasvun uralle. Skenaariossa korostuvat laaja kansainvälinen yhteistyö globaalien ongelmien, kuten ilmastomuutoksen ratkaisemiseksi ja eriarvoisuuden vähentämiseksi sekä maiden välillä että sisällä. Aineellisen kasvun merkitys vähenee ja resurssi- ja energiantensivisyys alenevat. Investoinnit koulutukseen ja terveyteen parantavat demografista kehitystä.

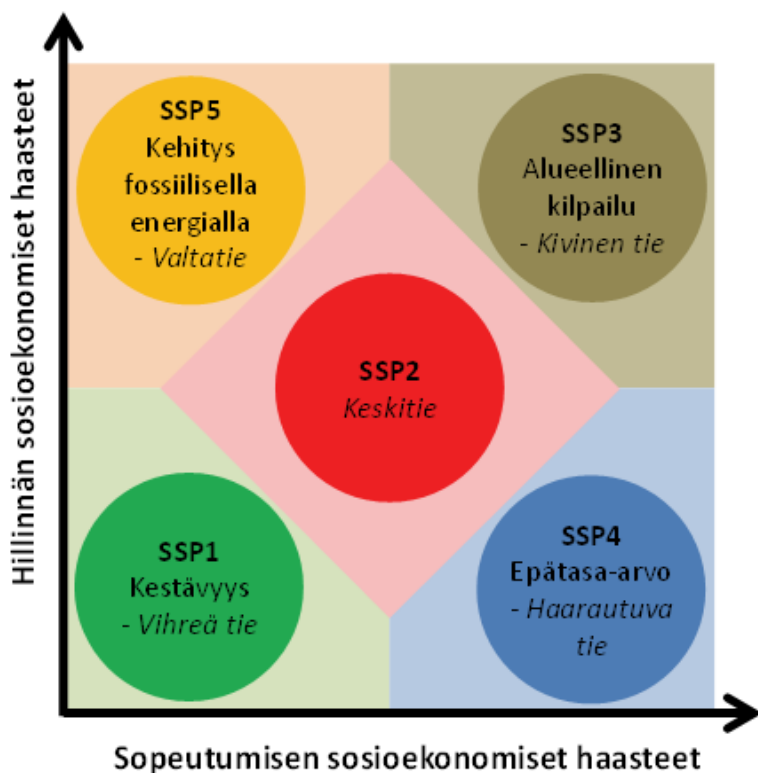
SSP3-skenaariossa kehityskulku on keskeisiltä osin päinvastainen kuin SSP1-skenaariossa. Poliitiikkapäätöksissä korostuvat kansalliset kysymykset sekä ruoka- ja energiaturvallisuus. Kansainvälisten ympäristösopimusten heikentyessä joillakin alueilla luonnonvarat vähenevät huomattavasti. Talouskasvu jää alhaiseksi ja on samalla luonnonresursseja kuluttavaa. Väestönkasvu on hidasta teollisuusmaissa mutta nopeaa kehitysmaissa, ja investoinnit koulutukseen sekä terveyteen vähenevät.

SSP4-skenaariossa eriarvoisuus korostuu. Osassa valtioista talouskasvu on voimakasta perustuen korkean teknologian ja osaamisen leviämiseen kansainvälisillä markkinoilla, kun taas osassa talous toimii heikosti koulutetun työvoiman varassa. Vauraat valtiot ovat vähähiilisiä, kun taas köyhillä alueilla käytetään fossiilista energiaa.

SSP5-skenaariossa valtiot ovat voimakkaan kasvun uralla integroituneisiin markkinoihin ja teknologia- ja koulutusinvestointeihin perustuen. Energiantuotanto perustuu kuitenkin fossiilisiin polttoaineisiin. SSP2 on keskittien skenaario, jossa sosiaalinen, taloudellinen ja teknologinen kehitys eivät juurikaan poikkea historiallisista trendeistä.

Kuvassa 4.1 kuvataan ilmastomuutoksen hillinnän ja siihen sopeutumisen sosioekonomisia haasteita eri SSP-skenaarioissa. SSP1-skenaariossa sekä hillinnän että sopeutumisen haasteet ovat vähäisiä kansainvälisen yhteistyön ja teknologisen kehityksen johdosta. Näiden puute johtaa SSP3-skenaariossa puolestaan suuriin haasteisiin. SSP4-skenaariossa on suuria haasteita sopeutumisessa ja SSP5-skenaariossa hillinnässä.

**Kuva 4.1** Sosioekonomisten skenaarioiden erottelu niiden aiheuttaman päästövähennysponnistuksen ja sopeutumisponnistuksen mukaan (lähde: O'Neill ym. (2014) ja Frame ym. (2018))



KUITTI-hankkeessa käytetään kahta SSP-RCP-skenaarioyhdistelmää. RCP2.6 sopii luonteeltaan hyvin kestävästä kehitystä korostavaan sosioekonomiseen SSP1-skenaarioon. SSP3 valittiin toiseksi skenaarioksi, jotta se erottuu riittävästi SSP1-skenaariosta ja toisaalta sopii yhteen RCP4.5-skenaarion kanssa. Eri kansainvälisten integroitujen arviointimallien (IAM) laskelmien perusteella RCP4.5 toteutunee SSP3-skenaariossa (Riahi ym. 2017).

Lisäksi erottelemme reaktiivisen ja proaktiivisen sopeutumistavan. Reaktiivinen sopeutumistapa tarkoittaa, että merkittävät ponnistukset (investoinnit, selkeät velvollisuudet) toteutuvat vasta merkittävien vahinkojen jälkeen, kun taas proaktiivinen sopeutumistapa käyttää riskiennusteita hyväksi ja investoi **etupainotteisesti**.

Kuten luvussa 2 selitettiin, merkittävät ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit syntyvät Suomen ulkopuolella ja vaikuttavat tai siirtyvät taloustoiminnan välityksellä, luonnon prosessien avulla tai ihmisten käyttäytymisen välityksellä Suomeen (Groundström ja Juhola 2018; Hildén ym. 2016). Siksi KUITTI-hankkeessa tarkastelemme sekä Suo-

messa tapahtuvaa ilmastonmuutosta ja sen seurauksia että ilmastonmuutoksesta joh-  
 tuvia seurauksia muualla maailmassa. Ilmastonmuutoksen seuraukset toteutuvat vii-  
 veellä kasvihuonekaasujen pitoisuuteen verrattuna. Siksi on tärkeää katsoa riittävän  
 kauas eteenpäin. Toisaalta sosioekonomisessa skenaariossa epävarmuus kasvaa no-  
 peasti, jos ajanjakso ulottuu useita sukupolvia eteenpäin. Esimerkiksi väestön ja ta-  
 louskasvun ennusteet usein katsovat enintään 40–50 vuotta eteenpäin. Kompromis-  
 sina sovellamme kahta ajanjaksoa, 2020–2040 ja 2041–2070. Näin syntyy jo merkit-  
 tävä määrä skenaariotilanteita (taulukko 4.1)

**Taulukko 4.1** Tutkimuksessa tarkistellut ilmasto- ja talousskenaarioiden yhdistelmät  
 ajanjaksoa kohden ja kahden lähestymistavan mukaan

	Alue	Suomessa syntyneet riskit (Toimialamallit; RegFinDyn)		Muissa maissa syntyneet riskit (GTAP)
tarkastelu jaksot	sopeutumisen tapa päästöura	proaktiivinen	reaktiivinen	ilman (suunniteltua) sopeutumista
2020-2040	1 päästöura	SSP1	SSP3	-
2041-2070	RCP2.6	SSP1	SSP1	SSP1
	RCP4.5	SSP3	SSP3	SSP3*

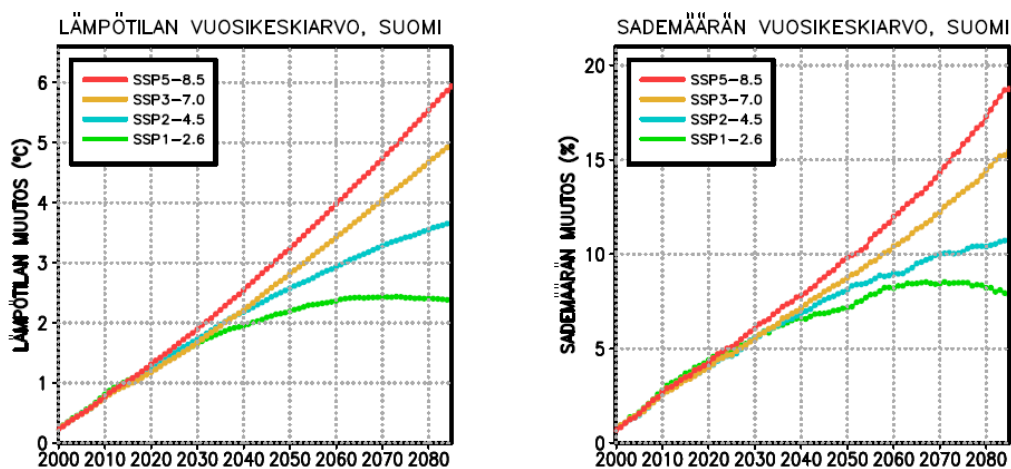
\*) Ilmastonmuutoksen vaikutukset maailman viljelyn tuotantoon arvioitiin RCP6.0- päästöskenaariota soveltaen. Työntuottavuuden kehityksen tarkastelu perustuu 3 asteen lämpenemisskenaarioon ajanjaksossa 2041–2070 (joka on hiukan korkeampi kuin RCP4.5-päästöskenaariossa).

## 4.2 Ilmastonmuutoksen, talouden ja väestön perusrat – kansainvälisesti ja Suomessa

Noin vuoteen 2040 asti eri kasvihuonepäästöskenaariot aiheuttavat noin samaa lämpötilan nousua Suomessa (Kuva 4.2 vasemmalla). Vuodesta 2050 lähtien erot kasvihuonepäästöskenaarioiden välillä kasvavat merkittävästi. Sademäärän osalta kehitys ja erot ovat samankaltaisia kuin lämpötilaskenaarioissa mutta erot kasvavat jonkin verran hitaammin ja jäävät suhteellisesti pieniksi RCP2.6- ja RCP4.5-skenaarioiden välillä (Kuva 4.2 oikealla). Gregow ym. (2021) tarjoaa arvioinnit maakuntatasolla. Lämpötilan nousu on suurempi talvella kuin kesällä ja sama pätee sademäärän muu-

tokseen (Gregow ym. 2021). Tämä tarkoittaa muun muassa, että Etelä-Suomessa lumipeitteen esiintyminen vähenee merkittävästi jo ennen vuotta 2040. Kun lämpötilat ovat keskimääräisesti korkeammat, haihduntakin kasvaa. Koska toisaalta sademäärät kasvavat keskimääräisesti, yhdistelmävaikutuksella on suurempi volatilitteetti – joskus on kuivuutta, joskus ylimääräistä vettä ja joskus noin tasapaino.

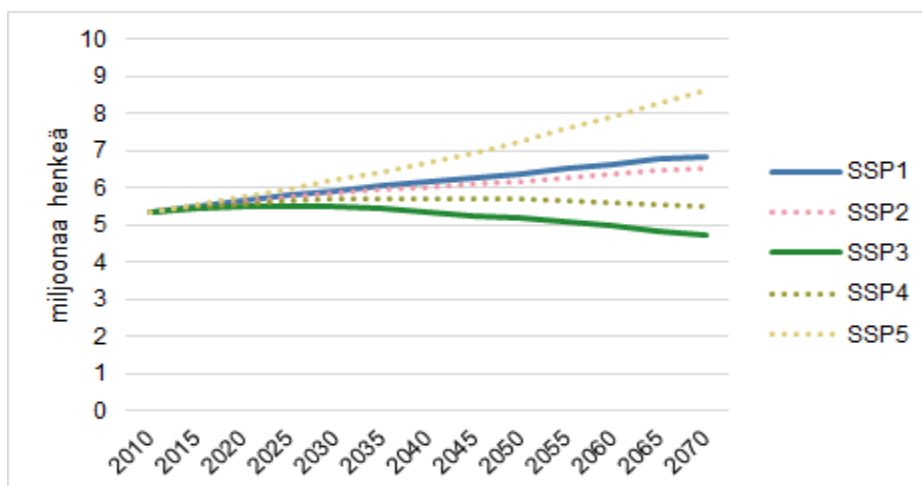
**Kuva 4.2** Vuoden keskilämpötilan ja sademäärän muutokset Suomessa eri ilmastoskenaarioissa (lähde: Ruosteenoja ym. 2021)



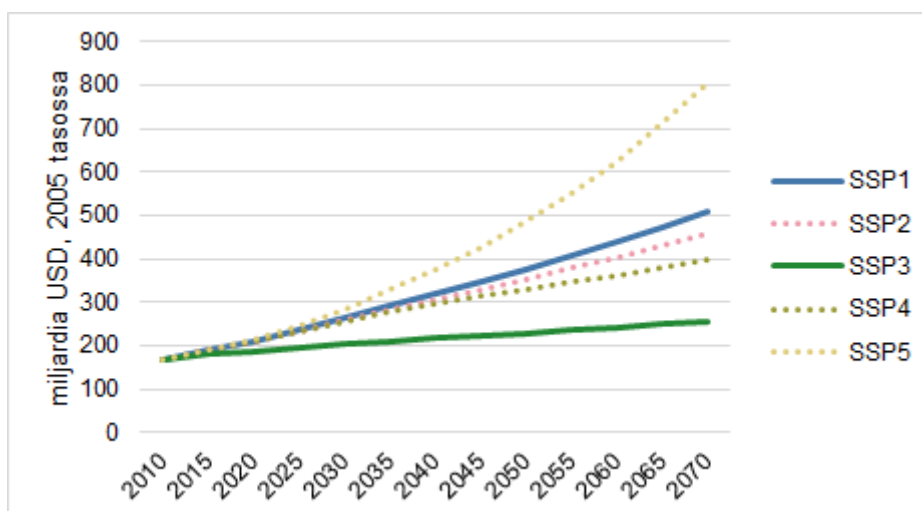
SSP-skenaariot on kvantifioitu BKT-kehityksen ja väestönkasvun osalta. Kehitysurat on esitetty IIASA:n (International Institute for Applied Systems Analysis) tietokannassa (Riahi ym., 2017). SSP:t huomioivan väestökehityksen taustalla olevan artikkelin ovat kirjoittaneet KC ja Lutz (2017) (ks. Suomen kehityksen osalta Kuva 4.3). Tietokanta tarjoaa kaksi vaihtoehtoista arviota kansallisista BKT-kehityskuluista eri SSP-urilla (ks. Suomen kehityksen osalta Kuva 4.4). IIASA:n oma BKT-arvio pohjautuu Cuaresman (2017) artikkelissa julkaisemiin laskelmiin. OECD:n BKT-arvio puolestaan perustuu Dellinkin ym. (2017) artikkelin mukaisiin tietoihin. KUITTI-hankkeessa hyödynnettiin IIASA:n esittämää BKT-kehitystä, jossa SSP:iden väliset erot ovat suuremmat kuin OECD-arviossa. Valinnan taustalla on pyrkimys tuoda esiin tarkasteltujen ilmiöiden vaikutusten vaihteluväliä.



**Kuva 4.3** Suomen väestön kehitysarviot eri SSP-urilla vuosina 2010–2070, miljoonaa henkeä. Tiedot: Riahi, ym., 2017; KC & Lutz, 2017

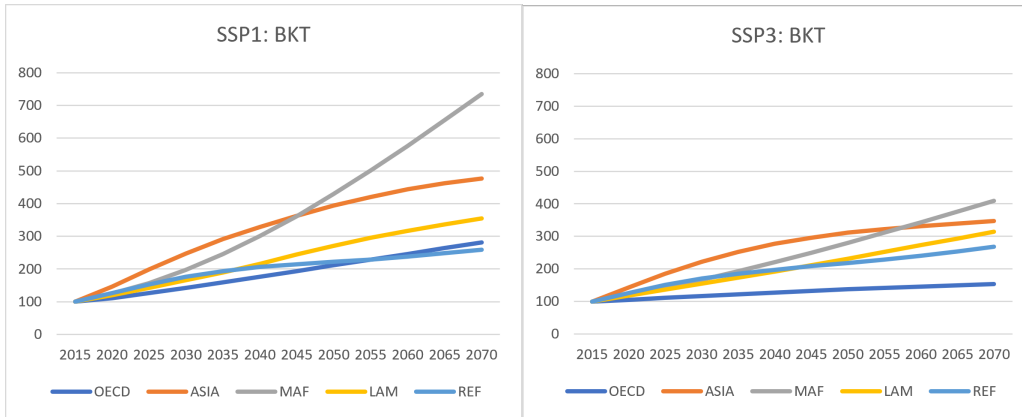


**Kuva 4.4** Ostovoimapariteetilla korjatun, Suomen bruttokansantuotteen kehitysarviot eri SSP-urilla vuosina 2010–2070, miljardia US-dollaria, vuoden 2005 hintatasolla. Tiedot: Riahi, ym., 2017; Cuaresma, 2017



Kansainvälisesti tarkasteltuna SSP1-skenaariossa BKT kasvaa selvästi voimakkaimmin Afrikassa ja Lähi-idässä (MAF) (Kuva 4.5). Kasvu on voimakasta myös Aasiassa erityisesti tarkastelujakson alkupuolella. OECD-alueella talouskasvu on heikompaa kuin muilla alueilla. Aasian osuus maailman BKT:sta nouseekin vuoteen 2040 asti, kun taas Afrikka ja Lähi-itä kasvattavat osuuttaan 2040–2070.

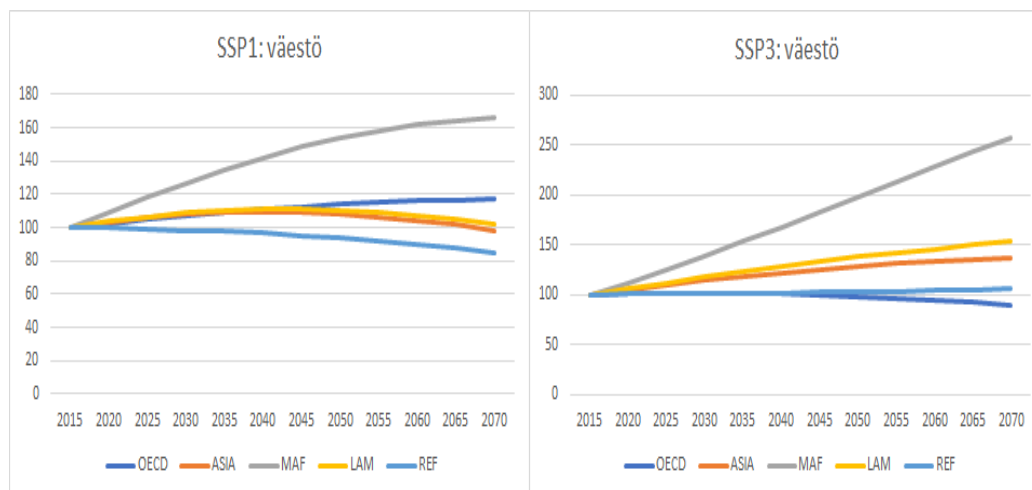
**Kuva 4.5** Ostovoimakorjatut BKT kasvu-urat maaryhmittäin SSP1- ja SSP3-skenaariossa. Indeksiv.2015=100. Lyhenteet: MAF – Lähi-itä ja Afrikka; LAM – Latinalainen Amerikka; REF – Venäjä, Itäinen Eurooppa ja Keski-Aasia. Lähde: Riahi ym., 2017; Cuaresma, 2017.



SSP3-skenaariossa talous kasvaa kaikilla alueilla selvästi hitaammin kuin SSP1-skenaariossa. Aasian talous kasvaa tarkastelujakson alkupuolella selvästi nopeimmin, kun taas jakson loppupuolella Afrikan talous nousee osuuttaan, samantapaisesti kuin SSP1-skenaariossa. Vastaavasti OECD:n talouskasvu on heikointa ja OECD:n osuus maailmantaloudesta alenee SSP1-skenaariota enemmän. Tämä tarkoittaa, että SSP3-skenaariossa suurempi osa maailmantaloudesta on alttiina ilmastomuutoksen vaikutuksille kuin SSP1-skenaariossa.

SSP1-skenaariossa maailman väestö kasvaa jonkin verran 2050-luvulle asti, jonka jälkeen väestö alkaa hitaasti vähentyä (Kuva 4.6). YK:n mukaan vuonna 2015 maailman väestö oli noin 7,3 miljardia ihmistä. Väestönkasvu on suhteellisesti ja lukumääräisesti voimakkainta Afrikassa ja Lähi-idässä. SSP3-skenaariossa väestönkasvu on selvästi nopeampaa kuin SSP1-skenaariossa. Väestö kasvaa suhteellisesti voimakkaimmin Afrikassa ja Lähi-idässä ja absoluuttisesti Aasiassa. SSP1-skenaariossa talous kasvaa selvästi väestöä nopeammin, joten tuottavuuskehitys selittää suuren osan talouskasvusta. SSP3-skenaariossa tuottavuuskehityksen merkitys on vähäisempi.

**Kuva 4.6** Väestönkehitys maaryhmittäin SSP1 ja SSP3 skenaarioissa, indeksi v.2015 = 100; Lyhenteet: MAF – Lähi-itä ja Afrikka; LAM – Latinalainen Amerikka; REF – Venäjä, Itäinen Eurooppa ja Keski-Aasia. lähde: Riahi ym., 2017, KC&Lutz, 2017.



## 4.3 Reaktiivinen ja proaktiivinen sopeutuminen

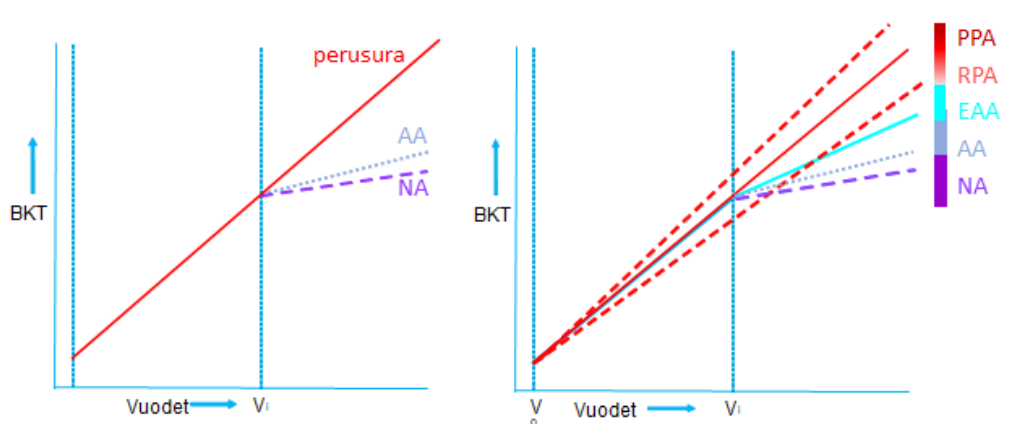
Sopeutuminen ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin voi toteutua eri asteilla, joko ennaltaehkäisevällä lähestymistavalla (proaktiivinen tai ennakoiva) tai jälkikäteen korjaamista korostavalla lähestymistavalla (reaktiivinen). IPCC:n kolmannessa arviointiraportissa kuvattiin sopeutumisen ulottuvuuksia, asteita ja lähestymistapoja (Smit ym. 2001). Keskeinen ero oli autonomisen tai automaattisen ja suunnitellun sopeutumisen välillä. Ensimmäinen tapa viittaa luonnollisiin ja ihmisten luomiin mekanismeihin, jotka automaattisesti reagoivat muuttuviin olosuhteisiin. Jos muutokset eivät ole liian suuria tai väliaikaisia, automaattinen sopeutuminen saattaa olla riittävää kyseessä olevan luonnollisen tai keinotekoisien pääoman selviytymiselle. Silti toimenpiteet saattavat olla tarpeellisia, jos automaattisen sopeutumisen jälkeen tuottavuus laskee. Suunniteltu sopeutuminen tarkoittaa, että joko etukäteen tai muutoksien jälkeen sovelletaan suunnitellut toimenpiteet vahinkojen välttämiseksi tai korjaamiseksi.

Ennaltaehkäisevä eli proaktiivinen suunniteltu sopeutuminen katsotaan usein ensisijaiseksi vaihtoehdoksi. Sopeutumisen suunnittelu tapahtuu usein kuitenkin epävarmoissa olosuhteissa, joten tiedon keruu sekä oppiminen saattaa olla suotavaa, jotta sopeutumisen toimenpiteet olisivat oikean mittaisia. Muutoin proaktiivinen sopeutuminen voi johtaa haittasopeutumiseen (maladaptation). Sopeutumisen viivästymisen ta-

kia yhteiskunta voi käytännössä siirtyä reaktiiviseen sopeutumiseen. Reaktiivinen sopeutuminen saattaa olla myös määrätietoinen valinta, esimerkiksi jos ei ole mahdollista linkittää riskejä selvästi tietyyn paikkaan tai alueeseen ja näin ollen vakuutusratkaisu lienee parempi vaihtoehto. Sinänsä myös vakuutus ja muut riskihajontaratkaisut kuuluvat sopeutumisen keinojen valikoimaan, mutta ne ovat luonteeltaan reaktiivisia.

Sopeutumisen kokemusten ja tutkimusten edetessä on syntymässä ymmärrys, että sopeutuminen voi toteutua eri asteilla ja ajan myötä sopeutumisen toimeenpanot saattavat olla rinnakkain eri asteilla. Perrels ym. (2015) identifioi tehostetun autonomisen tai automaattisen sopeutumisen (enhanced automatic adaptation), esimerkiksi innovaatioiden avulla, tärkeäksi väliaskeleeksi. EU COACCH -hankkeessa sovelletaan myös erilaisia ja joustavia sopeutumistasoja (Bosello ym. 2020; Botzen ym. 2020). Rahman ym. (2021) soveltaa automaattisen ja suunnitellun sopeutumisen tasapainoteltua teknillisten ja institutionaalisten innovaatioiden avulla, mikä on samankaltainen mutta joustavampi menetelmä kuin Perrelsin ym. (2015).

Kuva 4.7 Sopeutumisen asteet ja lähestymistavat BKT:n vaikutusten suhteessaesittää sopeutumista eri asteilla bruttokansantuotteen (BKT) kehityksen yhteydessä. Kuva 4.7 vasemmalla puolella BKT kasvaa häiriöittä vuoteen V asti, kun taas vuodesta V lähtien BKT kasvaa hitaammin tai juuri ollenkaan ilmastonmuutoksen kriittisen kynnyksen ylittämisen takia. Automaattisen sopeutumisen (AA) ansiosta kasvu saattaa olla vielä kohtuullista. Jos automaattinen sopeutuminen ei toimi (NA) eli jos ei ole toteutunut minkäänlaista sopeutumista, BKT:n kasvu hidastuu entistä enemmän tai pysähtyy kokonaan. Kuva 4.7 oikealla puolella näytetään eri sopeutumisasteita, jotka edustavat suunniteltua toimintaa. Tehostettu automaattinen sopeutuminen (EAA) pyrkii innovaatioiden avulla nostamaan automaattisen sopeutumisen vaikuttavuutta. Esimerkiksi eri informaatiopalvelut voivat tehostaa reagointia logistiikassa tai liikenteessä, joten häiriöt jäävät pieneksi, eli tehostetun automaattisen sopeutumisen ansiosta menetetty BKT:n kasvu on pienempi kuin tilanteessa, jossa toimi vain automaattinen sopeutuminen. Seuraava askel on reaktiivinen sopeutuminen (RPA), jossa aluksi tapahtuu vielä häiriötä, ennen kuin sopeutuminen alkaa vaikuttaa. Siksi kasvu on jonkin verran jarrutettua tai vastaavasti palautuminen ei ole täydellistä. Lopulta proaktiivinen sopeutuminen (PPA) yrittää välttää vahinkoja kokonaan. Juuri talouden proaktiivisessa strategiassa toiminnan korkean ennustettavuuden ansiosta BKT:n kasvu saattaa olla jopa perusuran yläpuolella.

**Kuva 4.7** Sopeutumisen asteet ja lähestymistavat BKT:n vaikutusten suhteessa

Toimialojen ja kokonaistaloudelliset tarkastelut vertaavat kahta ajanjaksoa (v. 2020–2040 ja v. 2041–2070) ensin kummassakin SSP-RCP-skenaariotilanteessa perusuran kustannus- tai tulotason kunkin skenaarion kustannus- tai tulotasoon, kuten ero NA- ja perusuran välillä Kuva 4.7 vasemmalla puolella. Mallinnusmekanismeista riippuen perusura saattaa sisältää tietyn määrän automaattista sopeutumista. Seuraavaksi metsätalous- ja maatalousmallilaskelmat sekä kokonaistaloudelliset mallilaskelmat tarkastavat, miten paljon sopeutuminen vähentää perusuran kuilua, mahdollisuuksista riippuen. Tulvien ja sähkökatkoksien osalta ei olla tehty erikseen sopeutumiskeinojen vaikuttavuuslaskelmia. Sen sijaan selitetään kvalitatiivisesti, miten sopeutumiskeinot ovat vaikuttaneet. Jokaiselle mallilaskelmalle pätee logiikka, että erotus perusuran ja sopeutumisen välillä indikoi maksimirahamäärää, joka kannattaa investoida sopeutumiseen olettaen, että sopeutumiskeinojen vaikuttavuus on tunnettu.

## 4.4 Skenaariolähtökohdat toimialoittain

### 4.4.1 Rakennettu ympäristö

Vaikka ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan myös vesihuollon ja liikenneinfrastruktuurin ylläpitokustannuksiin, nämä vaikutukset eivät ole mukana vaikutusskenaarion määrittelyssä. Poisjäämisen syyt ovat kustannusvaikutusten epämääräisyys ja todennäköinen vähäisyys (vuositasolla) (ks. luku 3.2.1 ja 3.2.5). Myös rakennussektori on altis ilmastonmuutoksen vaikutuksille, mutta toistaiseksi vaikuttaa siltä, että on odottavissa sekä haittoja että hyötyjä. Kosteuden hallinta ja eteläsuuntaisten julkisivujen kunnossapito muodostuvat todennäköisesti eniten haasteita (mm. Pakkala 2020).

Luvussa 6.3 käsitellään nämä mallilaskelmien ulkopuolelle jääneet sektorit lyhyesti. Näin ollen rakennetun ympäristön vaikutukset keskittyvät tulvariskeihin.

Parjanne ym. 2018 on perustanut merkittävälle tulvariskialueille lasketut tulevaisuuden tulvariskien arvioinnit ilmastonmuutoksen osalta hallitustenvälisen ilmastonmuutospaaneeli IPCC:n kokoamiin RCP-skenaarioihin ja sosioekonomisten vaikutusten osalta SSP-skenaarioihin. Kaikkien skenaarioyhdistelmien tarkastelemisen sijasta tunnistettiin todennäköisimmän kehityspolun lisäksi ne skenaariot, jotka poikkeavat keskiarvoskenaariosta eniten. Näin voitiin ottaa huomioon arvioiden vaihteluväli, epävarmuudet ja epätodennäköisemmät mutta mahdollisesti hyvinkin haitalliset kehityskulut. Molemmista skenaariotyypeistä tarkasteltiin kolmea: RCP:t 2.6, 4.5 ja 8.5 sekä SSP:t 1, 2 ja 3, ja ne laskettiin kymmenelle eri ajanhetkelle. Arvioinnissa otettiin huomioon vain vesistö- ja meritulvat, ei hulevesitulvia.

Väestöennusteiden laskenta tehtiin nykyisille merkittävälle tulvariskialueille vuoteen 2100 asti. Laskennan komponentteina olivat syntyvyys, kuolleisuus, kuntien välinen muuttoliike ja maahanmuutto. Aineistoina mallissa käytettiin Rakennus- ja huoneistorekisteriä (RHR), Tilastokeskuksen muuttoliikeaineistoa sekä avoimia aineistoja syntyvyydestä, kuolleisuudesta ja maahanmuutosta. Talouskasvu-skenaarioina käytettiin valtiovarainministeriön ja Suomen Pankin lyhyen ja keskipitkän aikavälin valtakunnallisia kasvuennusteita. Seuraavien tekijöiden oletettiin vaikuttavan talouskasvuun: pääoman ja työvoiman muutokset, koulutustason parantuminen, käytettävissä olevat luonnonvarat, työn tuottavuuden muutos sekä teknisen kehityksen vaikutus tuotantoon. RegFinDyn-mallin syöttötietoja varten korjattiin edellä mainitut kehitysluvut siten, että ne sopivat yhteen IIASA:n SSP1- ja SSP3-kasvulukuihin Suomelle, koska samoja lukuja sovellettiin myös kansantaloudellisten mallien laskelmissa. Korjausmenetelmä on kuvattu liitteessä 6.

Ilmastonmuutoskenaarioissa käytettiin vesistötulvavaaran muutoksen indikaattorina laskentamenetelmässä SYKE:n Vesistömallijärjestelmällä mallinnettua keskiyliyvirtaamaa eli päivittäisten virtaamien vuoden maksimiarvoa kullekin alueelle. Meritulvan muutoksen indikaattorina käytettiin puolestaan Ilmatieteen laitoksella eri mareografeille laskettua keskimääräisen merivedenkorkeuden muutosta. Harvinaisempien tulvatilanteiden oletettiin muuttuvan samassa suhteessa.

Taloudelliset vahingot laskettiin suorien euromääräisten vahinkojen perusteella. Näissä huomioitiin kokonaisrakennusvahingot, liikenne, pelastustoimi ja autot. Tulvariskialueiden asukasmäärän on oletettu kasvavan tai vähenevän samassa suhteessa koko alueella, eikä mallissa otettu huomioon rakennuskannan ja siten asukasmäärän sijoittumisen muutosta merkittävän tulvariskialueen sisällä. Tulokset kuvaavat näin ollen koko alueen riskipotentialia sellaisessa tulevaisuuden tilanteessa, jossa tulvariskien hallintatoimet, kuten maankäytön suunnittelu, jatkuvat nykyisten ja toteutettujen

käytäntöjen mukaisina, sopeutumistoimia ei oteta huomioon eikä politiikassa tapahdu muutoksia. Mallin tuloksia voidaan siten pitää perusuran mukaisina, ja niihin voidaan tulevaisuudessa tarvittaessa reagoida käytäntöjä muuttamalla. Odotusarvojen trendilaskelmien lisäksi laskettiin muutamien isojen hypoteettisesti tapahtuvien tulvien kustannus(potentiaali)arviot skenaarioissa SSP1-RCP2.6 ja SSP3-RCP4.5 RegFinDynmallin syöttötiedoksi (ks. luvut 5.1 ja 6.1). Tulvariskien odotusarvojen trendimuutokset ovat kansantaloudellisesti katsoen melko pieniä, kun taas tietty toteutunut tulva voi aiheuttaa merkittävästi suuremman kustannuspiikin, ainakin maakuntatasolla. Tämä tarkastelu tuonee parempaa ymmärrystä tulvien kansantaloudellisista häiriöriskeistä.

Tuloksia tulkittaessa on hyvä huomata, että ennusteet ovat pääosin alueellisia, mutta talouskasvun ennuste on valtakunnallinen eikä siinä ole huomioitu ilmastonmuutoksen vaikutusta. Laskennassa ei ole otettu huomioon aineettomia tai välillisiä vahinkoja, kuten tilapäistä kärsimystä tai toimintakatkosta aiheutuvia vaikutuksia.

#### 4.4.2 Sähkönjakelu ja sähköenergiajärjestelmä

Ilmastonmuutos luo haasteita sähköenergiajärjestelmille. Erityisesti jakeluverkon ilmastolliset häiriöt saattavat lisääntyä. Näistä Suomen olosuhteissa vaikuttavimpia ovat tuulituhot ja jossakin määrin lumituhot. Tulvien osalta haittavaikutuksia voi syntyä kaupunkialueilla erityisesti rannikkoseudulla, missä vesi voi vahingoittaa maanalaista infrastruktuuria. Tämantyyppisten kaupunkiverkkojen määrä on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin tuuli- ja lumituhoille alttiiden ilmajohtoverkkojen, jolloin niiden yhteiskunnallinen vaikutus on myös suurempi. Tästä huolimatta myös tulvien aiheuttamiin haittoihin pyritään varautumaan jo ennakkoon, jotta riskit ovat paremmin hallinnassa. Esimerkkinä tästä on Helsingin kaupungin tulvastrategia (Helsinki 2010), jonka mukaisesti myös sähkönjakelujärjestelmän häiriöherkät osat sijoitetaan huomioiden tulvivan veden riskit muun muassa siten, että uudet jakelumuuntamot rakennetaan tulvarajan yläpuolelle.

Sähköntuotannon osalta ilmastonmuutos voi tuoda oman haasteensa esimerkiksi pitkittyvien kuivien kausien tai suurten sateiden myötä. Tällä olisi vaikutusta myös Suomessa näkyvään sähkön hintaan, sillä Suomen ollessa osa pohjoismaisia sähkömarkkinoita vaikuttaa Norjan ja Ruotsin suurten vesivoimantuottajien sähköntuotanto myös Suomeen. Seurauksena sähköpörssin hintavaihtelut tulevat todennäköisesti kasvaamaan.

Sähköenergian käyttöön ilmastonmuutos vaikuttaa ensisijaisesti lämpenemisen ja siitä seuraavan lämmitystarpeen pienenemisen kautta. Esimerkiksi yhden asteen läm-

penemisen arvioidaan vähentävän sähkönkäyttöä noin 3 % ja kahden asteen lämpenemisen noin 7 % (Lassila ym. 2019). Vuodessa tämä näkyisi asumisen sähkönkuluksessa siten, että RCP2.6-skenaariossa vuotuinen kulutus pienenesi noin 6 000 MWh ja RCP4.5-skenaariossa noin 20 000 MWh.

## Sähkönjakelu

Sähkönjakelun skenaariossa ilmastonmuutos vaikuttaa häiriöiden ilmaantumiseen ilmajohtoverkossa. Sähkönjakelun osalta Suomi on jaettu viiteen alueeseen: Lounais-Suomi, Kaakkois-Suomi, Itä-Suomi, Länsi-Suomi ja Pohjois-Suomi.

Myrsky- ja muiden ilmastollisten vikatapausten odotusarvon kasvaessa häiriöille alttiissa ilmajohtoverkoissa onkin selvää nykyisiä sähkönjakelun toimitusvarmuustavoitteita vasten, että sähköverkkoihin on tehtävä häiriöitä ehkäiseviä toimenpiteitä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että sähkönjakelussa häiriöiden absoluuttinen kokonaismäärä ja niistä seuraavat haitat tulevat vähenemään jatkossa. Tämä on seurausta infrastruktuuriin tehtävistä suurista sähkönjakelun toimitusvarmuutta parantavista investoinneista, joihin myös sähkömarkkinalaki sähköverkkotoimijoita velvoittaa. Samalla toimiala sopeuttaa myös omaa toimintaansa ilmastonmuutoksen vaikutuksia vastaan.

Sähkönjakelua pyritään kehittämään yhteiskunnan näkökulmasta siten, että sähköverkkotoimijan pitkän aikavälin kokonaiskustannukset minimoituvat. Kokonaiskustannuksissa huomioidaan sähkönverkkoon tehtävät investoinnit ja niiden rahoituskustannukset, sähköverkon käyttö- ja kunnossapitokustannukset, viankorjauskustannukset sekä sähkönjakelun keskeytysten haittakustannukset. Kokonaiskustannusfunktio kirjoitetaan

$$\begin{aligned} \min \int_0^T (K_{\text{capex}}(t) + K_{\text{opex}}(t) + K_{\text{kesk}}(t)) dt &\approx & (4.1) \\ \min \sum_{t=1}^T [K_{\text{capex}}(t) + K_{\text{opex}}(t) + K_{\text{kesk}}(t)] & \end{aligned}$$

missä,  $K_{\text{capex}}(t)$  on toiminnan pääomakustannukset sis. investointi- ja rahoituskustannukset ajanhetkenä  $t$  (vuonna  $t$ ),  $K_{\text{opex}}(t)$  on operatiiviset kustannukset sis. käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä viankorjauskustannukset ajanhetkenä  $t$  (vuonna  $t$ ) ja  $K_{\text{kesk}}(t)$  on keskeytyskustannukset ajanhetkenä  $t$  (vuonna  $t$ ).

Sähköverkkotoimijoiden sähkönjakeluinfrastruktuuria kehittäessä tavoitteena onkin, että esimerkiksi vanhoja häiriöalttiita ilmajohtoja maakaapeloitaessa kokonaiskustannukset laskevat tai eivät ainakaan kasva. Tähän voidaankin vaikuttaa kohdistamalla verkostoinvestoinnit niihin kohteisiin, joissa saadaan paras hyöty kokonaiskustannusten näkökulmasta. Toimialan verkon rakentamiskustannuksia tarkasteltaessa voidaan



tyypillisessä tapauksessa sanoa, että ilmastollisilta häiriöiltä paremmin suojassa olevan maakaapeliverkon rakentaminen on vähintään kymmeniä prosentteja tai jopa 100 % kalliimpaa verrattuna ilmajohdon rakentamiseen. Sähkönjakelun kokonaiskustannusskenaariossa ilmastomuutoksen vaikutusta simuloidaan siten, että kokonaiskustannuksessa sopeutumisinvestointien kokonaiskustannusvaikutuksen oletetaan olevan likimain nolla, eli operatiiviset ja keskeytyskustannukset pienenevät, kun investointi- ja rahoituskustannukset vastaavasti kasvavat.

### 4.4.3 Metsäsektori

Metsäsektorin skenaariotarkastelut tehdään KUITTI-hankkeessa FinFEP-metsä- ja energiasektorimallilla (Lintunen ym. 2015). Malli kuvaa Suomen metsä- ja energiasektorin investointi- ja tuotantopäätökset sekä metsäresurssien kehityksen ja metsänomistajien hakuupäätökset. Malli huomioi siis skenaarioiden vaikutukset sekä talouden että metsien kehitykseen.

Talouskehityksen mallinnuksessa keskityttiin arvioihin metsäteollisuustuotteiden kysyntäkehityksestä. Koska Suomen metsäteollisuustoimialojen (paperi- ja massateollisuus sekä puutuoteteollisuus) tuotteiden kysyntä tulee suurelta osin maailmanmarkkinoilta, voitiin kysyntäskenaariot perustaa globaaleihin arvioihin markkinoiden kehityksestä. Metsäsektoriarvioiden keskeisenä lähteenä käytettiin Daigneaultin ja Faveron (2021) tuoreita mallilaskelmia eri SSP:iden tapauksessa. SSP-RCP-parin johdonmukaisuus varmistettiin peilaamalla näitä tuloksia aiempiin laskelmiin ja arvioihin (Favero ym. 2020, Lauri ym. 2017, Popp ym. 2017 ja Riahi ym. 2017).

SSP1-kehityspolussa talouskehitys on ilmastopolitiikka huomioiden suhteellisen vahvaa. Myös kansainvälinen kauppa kehittyy hyvin, koska kehityspolussa kansainvälinen kanssakäynti ja yhteistyö on vahvaa. Metsäteollisuuden kysyntä kehittyy tässä kehityspolussa suhteellisen hyvin. SSP1-kehityspolku yhdistettynä RCP2.6-kehityskulkuun luo skenaarion, jossa ilmastopolitiikka on voimakasta ja ulottuu myös metsänhoitoon, hiilensidontakorvauksen muodossa.

SSP3-kehityspolussa talouskehitys on sisäänpäin kääntyvissä talouksissa heikkoa. Myös kansainvälinen kauppa heikkenee, koska taloudet pyrkivät omavaraisuuteen ja kaupankäyntiä rajoitetaan. Metsäteollisuustuotteiden kysyntä kehittyy tämän vuoksi suhteellisen heikosti. SSP3-kehityspolussa myös ilmastopolitiikka ei ole yhtä kattava kuin SSP1-RCP2.6-skenaariossa, joskin yhdistettynä RCP4.5-kehityskulkuun suhteellisen tehokasta. Ilmastopolitiikka ei kuitenkaan ulotu Suomen metsänhoitoon ainakaan hiilensidontakorvauksen muodossa.

Metsäteollisuustuotteet jaettiin kahteen luokkaan sen perusteella, miten valoisalta niiden yleinen kysyntäkehityksen tulevaisuus näyttää. Vanhan kehityksen tuotteita ovat muun muassa sahatavara, sellu ja kartonki. Heikon kehityksen tuotteita ovat erityisesti monet paperilaadut. Daigneautilin ja Faveron (2021) arvioihin perustuen SSP1-RCP2.6-skenaariossa vahvan kehityksen tuotteiden kysyntä kasvaa 2,5 prosenttia vuodessa ja heikon kasvun tuotteiden kysyntä 1,5 prosenttia. SSP3-RCP4.5-skenaariossa metsäteollisuustuotteiden kehitys on heikompaa: vahvan kehityksen tuotteiden kysyntä kasvaa 0,9 prosenttia vuodessa ja heikon kasvun tuotteiden 0,5 prosenttia. Muiden mallien tavoin myös metsäsektorilaskelmissa käytettiin IMAGE-mallin tuottamaa hintauraa hiilidioksidipäästöille tarkastelluille SSP-RCP-pareille.

Sopeutumisanalyysin kannalta keskeistä on kytkeä tarkastellut RCP2.6- ja RCP4.5-ilmastokehityskulut ennakoituihin muutoksiin metsien kasvukehityksessä ja metsätuhoriskeissä. Kasvukehityksen muutoksista on tehty suhteellisen tuoreita kvantitatiivisia arvioita (esimerkiksi Heinonen ym. 2018 ja Kellomäki ym. 2018), joiden pohjalta tehtiin arviot tilavuuskasvun muutoksista eri ilmastonmuutoksen RCP-kehityskuluissa. Kasvukehityksestä poiketen tutkimuskirjallisuudessa esitetyt arviot tuhoriskien kehityksestä ovat lähinnä kvalitatiivisia (Lehtonen ym. 2020 ja Venäläinen ym. 2020). Skenaariossa tuhoriskien vaikutuksissa huomioitiin sekä ilmastonmuutoksen RCP-kehityskulku että sopeutumistoimien luonne (reaktiivinen vs. proaktiivinen). Skenaarioiden rakentamisessa käytettiin apuna Metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2019), johon on koostettu tutkimukseen perustuva arvio Suomen metsien tulevista näkymistä ja parhaista tavoista sopeuttaa metsänhoito tuleviin muutoksiin.

Kasvu- ja tuhoriskimuutokset arvioitiin erikseen männylle, kuuselle ja koivulle kolmella maantieteellisellä vyöhykkeellä (Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomi). Ilmastonmuutoksella ei odoteta oleva suurta merkitystä kasvuun vuoteen 2040 mennessä, mutta siitä eteenpäin kasvunlisäyksiä on odotettavissa männylle muualla kuin Etelä-Suomessa ja kuuselle pohjoisessa. Koivun kasvulisäyksen odotetaan olevan voimakasta koko maassa. Kuusen kasvu voi heiketä Etelä-Suomessa lisääntyvän kuivuuden myötä. RCP4.5-ilmastokehityskulussa muutokset ovat voimakkaampia kuin RCP2.6:ssa, jossa ilmastonmuutos on heikompaa.

Edellä kuvatut kasvumuutokset eivät huomioi muutoksia metsätuhoriskeissä. Laskelmissa pyrittiin huomioimaan myös tuhoriskien muutosten vaikutukset metsien kehitykseen. Laskelmissa huomioitiin kuuden keskeisen tuhonaiheuttajan kehitys (kirjainpaina, juurikäpää, tuulituhot, lumituhot, kuivuus ja metsäpalot), mutta emme erittele eri tuhoriskien vaikutuksia, vaan käytämme arvioita niiden mahdollisista yhteisvaikutuksista. Riskit voidaan jakaa metsikkötason vaikutustensa perusteella kahteen ryhmään: joko tuhon vaikutus on rajoittunutta, joka voidaan nähdä kasvaneena luontaisena kuolleisuutena, tai sitten tuhot ovat katastrofaalisia niin, että metsikkö täytyy uudistaa pian tuhon jälkeen. Mallinnuksessa ei-katastrofaaliset tuhot huomioitiin kuusen,

männyn ja koivun kasvun heikentymisenä ja katastrofaaliset tuhot kuusivaltaisten metsiköiden puiden kuolemisenä ja metsikön uudistamisena. Katastrofaalisten tuhojen narratiivina käytettiin tuhoketjua, jossa tuulituho yhdessä pitkittyvän kuivuusjakson kanssa johtaa laaja-alaiseen hyönteistuhoepisodeihin ja sitä (mahdollisesti) seuraaviin metsäpaloihin. Katastrofaaliset tuhot kohdistettiin muihin maakuntiin kuin Lappiin. Näillä tuhoalueilla puiden puutavaralaji heikkeni niin, että puolet tukki- ja kuitupuusta menetti taloudellisen arvonsa. Laskelmassa tuhojen vaikutusala riippuu tarkasteluvuodesta ja puuston ikäluokasta.

Skenaarioissa perusurassa ei huomioida metsätuhoriskien muutosta. Perusuraa verrataan skenaarioihin, joissa metsätuhojen muutos huomioidaan, mutta sopeutuminen riskimuutoksiin on reaktiivista tai proaktiivista. Keskeinen sopeutumishjenuora (Äijälä ym. 2019) on noudattaa metsänhoidon ohjeistusta. Laskennassa on oletuksena, että metsänhoidon suosituksia noudatetaan. Tätä FinFEP-mallin perusoletusta ei voi muuttaa. Siten sopeutumisen vaikutusten arviointi on lähtökohtaisesti rajoittunutta. Huomioimme mallinnuksessa sopeutumistapojen vaikutukset kahden mekanismin kautta. Ensinnäkin oletettiin, että proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa ei-katastrofaalisten tuhojen vaikutus kasvuun on hieman pienempi. Oletus perustuu ajatukseen, että proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa tuhojen laajuus on pienempää, koska metsänhoito on riskejä paremmin ennakoivaa. Toiseksi katastrofaalisten tuhojen oletettiin proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa kohdistuvan pienempiin pinta-aloihin. Suurimmillaan pinta-ala on tarkastelujakson lopussa SSP3-RCP4.5-skenaariossa, kun sopeutuminen on reaktiivista. Tällöin kymmenen prosenttia vanhimmasta kuusikkoikäluokasta altistuu tuholle. Reaktiivisessa sopeutumisessa osaan pinta-aloista käytettiin ennakoivia hakkuita, joilla pyritään rajaamaan laajaa-alaisia tuhoepisodeja.

Edellä kuvattuja metsätuhojen prosessien todennäköisyyksiä ei pystytä vielä täsmällisesti arvioimaan muuttuneissa ilmasto-oloissa. Vielä heikommin ymmärretään, kuinka merkittävästi metsänkäsittelyvalinnoilla, tai yleisemmin sopeutumisella, voidaan vaikuttaa näihin todennäköisyyksiin. Laskelmassa käytetyt kvantitatiiviset todennäköisyysarviot ovat siis hyvin karkeita, eikä niitä tule nähdä ennusteina tulevasta kehityksestä. Koska metsänhoidon vaikutusarviot ovat vielä heikkoja, ei laskelmassa huomioitu metsänhoidon optimointia vallitsevaan riskiympäristöön. Siten harvennuksia tai kiertoaikaa ei sopeutettu tuhoriskiin eikä sekapuuston lisäämisen vaikutusta arvioitu. Toisaalta tuhoriskit ovat lopulta melko alhaisia, joten metsäekonominen teorian pohjalta voidaan arvioida, ettei esimerkiksi kiertoajan voimakas muuttaminen olisikaan perusteltua.

Koska tietopohja on vielä suhteellisen heikkoa, ei laskelman tarkoitus ole tarjota ennustetta metsäsektorin tulevasta kehityksestä. Sen sijaan tarkoitus on tarjota karkea arvio siitä, kuinka metsäsektori voisi reagoida tilanteeseen, jossa säännöllisesti toistuvat laaja-alaiset metsätuhot vaikuttaisivat sen toimintaan.

#### 4.4.4 Maatalous

Kasvien satoisuuden kehitys, johon ilmastonmuutoksella on merkittävä vaikutus, on keskeinen epävarmuuden aiheuttaja pitkän aikavälin tuottavuuskehitykselle maataloudessa. Sen sijaan kotieläintalous etenee pitkälti ilmastonmuutoksesta riippumatta kotieläinjalostuksen ja uusien tuotantorakennusten ja laitteiden myötä, jolloin tuottavuus kasvaa. Satotasojen kehitys eri ilmastoskenaarioissa on vaikeasti ennakoitava asia, koska se riippuu monista tekijöistä, ei pelkästään suoraan lämpötilan ja sateisuuden kehityksestä, vaan myös sopeutumisen toteutuksesta ja painopisteistä sekä kasvitautipaineen kehityksestä. Siksi maatalouden kehitystä SSP1- ja SSP3- kehitysurissa on hyödyllistä tarkastella reaktiivisen ja proaktiivisen sopeutumisen skenaarioissa ja lisäksi skenaariossa, jossa satotaso ei muutu. Tämä on aiheellista muun muassa sen vuoksi, että Suomessa viljelykasvien sadot, vaikka ovatkin vaihdelleet vuodesta toiseen ajoittain voimakkaasti erityisesti aluetasolla tarkasteltuna (koko maan keskisatojen tarkastelu tasoittaa vuotuisia vaihteluja), ovat kehittyneet varsin hitaasti 2000-luvulla huolimatta lämpenevästä ilmastosta ja uusista entistä tuottavammista kasvilajikkeista. Tähän ovat myötävaikuttaneet paitsi kasvanut kasvitautipaine, myös ajoittain epäsuotuisat sääolot, tuotantopanosten kallistuminen ja hintavaihtelut sekä maatalouspolitiikka, jossa tukien kannustavuutta tuotantoon on vähennetty.

Kasvien sadot laskevat reaktiivisen sopeutumisen skenaariossa kaikkien kasvien osalta 5 %. Tätä voidaan perustella sillä, että jo kasvien satojen pitäminen ennallaan vaatii jonkin verran sopeutumista, joka ei välttämättä ole riittävää, jos se on pelkästään reaktiivista. Keskeistä maatalouden sopeutumisessa ilmastonmuutokseen on (1) uusien Suomen olosuhteisiin (valoisuus, lämpötilan melko suuret vuorokausivaihtelut alkukasvukaudesta, valoisuuden nopea väheneminen elo-syyskuussa jne.) sopivien uusien kasvilajikkeiden kehittäminen, joiden kasvuvaiheet ajoittuvat ja osuvat paremmin pitempään kasvukautteen ja lämpösumman kasvuun kasvukauden aikana kuin entiset lajikkeet; (2) pellon vesitalouden eli peruskuivatuksen ja maan rakenteen vedenpidätyskyvyn kehittäminen muuttuvaa sateisuutta ja säiden äärevöitymistä sietäväksi (suuret äkilliset sademäärät, pitenevät kuivuusjaksot, märät kasvukaudet); (3) kasvin-suojelun ja viljelykiertojen kehittämistä niin, että kasvitautipaineen väistämätön kasvu ei olennaisesti heikennä satojen muodostumista. Keskeistä maatalouden sopeutumisessa ilmastonmuutokseen on:

1. kehittää uusia, Suomen olosuhteisiin (valoisuus, lämpötilan melko suuret vuorokausivaihtelut alkukasvukaudesta, valoisuuden nopea väheneminen elo-syyskuussa jne.) sopivia uusia kasvilajikkeita, joiden kasvuvaiheet ajoittuvat ja osuvat paremmin pitempään kasvukautteen ja lämpösumman kasvuun kasvukauden aikana kuin entiset lajikkeet

2. kehittää pellon vesitaloutta eli peruskuivatusta ja maan rakenteen vedenpidätyskykyä muuttuvaa sateisuutta ja säiden äärevöitymistä sietäväksi (suuret äkilliset sademäärät, pitenevät kuivuusjaksot, märät kasvukaudet)
3. kehittää kasvinsuojelua ja viljelykiertoja niin, että kasvitautipaineen väisämätön kasvu ei olennaisesti heikennä satojen muodostumista.

Jos nämä toimet ovat pääasiassa reaktiivisia, eli toimeen ryhdytään vasta, kun ensimmäiset suuret satovahingot on jo kärsitty, ollaan myöhässä ja joudutaan kärsimään pitkään vastaavista vahingoista, ennen kuin em. sopeutumistoimia (1)–(3) on päästy laajassa mitassa hyödyntämään. Jos kuitenkin näihin toimiin ryhdytään, ne myös tuottavat tulosta ennen pitkää. Uusia kasvilajikkeita ei jalosteta hetkessä maataloille käyttövalmiiksi, vaan se voi kestää yli 10 vuotta. Samoin peltojen vesitalouden parantaminen nykyiseltä, jo usein puutteelliselta tasoltaan vie aikaa, koska viljelijällä harvoin on taloudellisia edellytyksiä uusien kaikkien peltojensa ojituksia edes 5–10 vuoden aikana, vaan ojitusinvestointeja on tehtävä eri tavoin pitkän aikavälin ohjelmana. Myöskin maaperältään tiivistyneiden peltolohkojen hoito kuohkeammaksi ja kasvuominaisuuksiltaan paremmiksi vie aikaa vähintään muutamia vuosia. Vastaavasti kasvinsuojelun kehittäminen on pitkäjänteistä työtä, jossa ongelmat voivat olla monisyisiä, eikä nopeita ratkaisuja ole yleensä olemassa, etenkin kun EU:ssa on tavoitteena kemiallisten torjunta-aineiden vähentäminen. Voidaan kuitenkin pitää todennäköisenä, että osa ilmastonmuutoksen haitoista voidaan ratkaista reaktiivisella sopeutumisella, niin että satotasojen lasku jäisi melko vähäiseksi eli noin 5 prosentin suuruiseksi vuoteen 2050 mennessä.

Todellisuudessa sopeutuminen ei tule olemaan pelkästään reaktiivista. Uusia kasvilajikkeita kehitetään Suomessakin, joskaan ei välttämättä riittävässä mittakaavassa. Proaktiivisessa sopeutumisessa oletetaan, että lämpenevään ilmastoon sopivat kasvilajikkeet saadaan käyttöön heti, kun tarvitaan, ja lisäksi peltojen ojitus ja kasvukunto sekä kasvitaudit eivät suuresti rajoita satoa. Tällöin satotasot voivat kasvaa merkittävästikin. Satotasojen kehitys voidaan tällöin olettaa olevan pääosin riippuvainen ilmastoskenaariosta (RCP2.6 tai RCP4.5) ja sosioekonomisesta skenaariosta (SSP1 tai SSP3), joissa panosten ja tuotteiden hinnat sekä maatalous- ja ympäristöpolitiikka vaikuttavat panoskäyttöön, kuten lannoitukseen.

Satoisuus nousee proaktiivisen sopeutumisen skenaariossa eri tavalla eri kasveilla. Proaktiivisen sopeutumisen tapauksissa RCP2.6- ja RCP4.5-ilmastoskenaarioissa eri kasvilajit reagoivat eri tavalla lämpötilan, kasvukauden pituuden ja sateisuuden muutoksiin. Nurmikasvien kasvukausi on pidempi ja juuret jo alkukesästä syvemmillä maassa kuin kevätkylvöisten yksivuotisten kasvien, kuten viljojen ja öljykasvien. Sen vuoksi nurmikasvien satoisuus paranee kaikilla alueilla melko samalla tavalla. Sen sijaan syyskylvöisten viljojen sato nousee vain vähän tai ei lainkaan Etelä-Suomessa

aiempaa suurempien talvehtimishaasteiden vuoksi. Sen sijaan muualla maassa syysviljan sadot nousevat. Öljykasvien sekä palkoviljojen, kuten herneen ja härkäpavun, sadot, jotka usein kärsivät lyhyestä kasvukaudesta ja pienestä lämpösummasta, nousevat noin kolmanneksella muualla paitsi Pohjois-Suomessa vain 15 %. Näin merkittävästi nousevia satoja voidaan pitää jossain määrin optimistisina öljykasveille ja palkoviljoille 2000-luvulla koettujen kasvinsuojeluongelmien taustaa vasten.

Nämä satoisuuden arvioidut muutokset eri RCP-skenaarioissa, jotka perustuvat pitkälti viimeisen 5–7 vuoden aikana julkaistuihin Suomen kasvinviljelyä käsitteleviin tutkimuksiin, on esitetty Taulukko 4.2. Eri kasviryhmien arvioitu satoisuuskehitys prosenttimuutoksena 2020–2050 RCP2.6- ja RCP4.5-skenaarioissa, kun oletetaan sopeutumisen olevan proaktiivista. Lähde: Eri tutkimusjulkaisut ja Luonnonvarakeskuksen asiantuntija-arviot (Höglind ym. 2013, Rötter ym. 2013, Tao ym. 2015) Oletuksena on lisäksi, että satotason noustessa lannoitusta on lisättävä puolet satotason noususta (esimerkiksi 10 %:n sadon nousu vaatisi 5 % lisää lannoitusta), eli ravinteiden hyväksikäytön oletetaan parantuvan proaktiivisen sopeutumisen tapauksissa edellä mainittujen laajamittaisten ja ennakoivien sopeutumistoimien (1)–(3) ansiosta. Sen sijaan reaktiivisen sopeutumisen tapauksissa 5 %:n satotason lasku toteutuu, vaikka lannoitusta ei vähennetä, jolloin ravinteiden hyväksikäyttö kasveille heikkenee.

**Taulukko 4.2** Eri kasviryhmien arvioitu satoisuuskehitys prosenttimuutoksena 2020–2050 RCP2.6- ja RCP4.5-skenaarioissa, kun oletetaan sopeutumisen olevan proaktiivista. Lähde: Eri tutkimusjulkaisut ja Luonnonvarakeskuksen asiantuntija-arviot (Höglind ym. 2013, Rötter ym. 2013, Tao ym. 2015)

	Kevätviljat	Syysviljat	Palkoviljat	Öljykasvit	Juurikasvit	Nurmikasvit
<b>RCP2.6 – Etelä-Suomi</b>	5	0	33	33	20	10
<b>RCP2.6 – Sisä-Suomi</b>	15	15	33	33	20	8
<b>RCP2.6 – Pohjanmaa</b>	15	15	33	33	20	8
<b>RCP2.6 – Pohjois-Suomi</b>	15	15	15	15	20	8
<b>RCP4.5 – Etelä-Suomi</b>	0	0	33	33	15	18
<b>RCP4.5 – Sisä-Suomi</b>	15	10	33	33	15	15

	Kevätviljat	Syysviljat	Palkoviljat	Öljykasvit	Juurikasvit	Nurmikasvit
<b>RCP4.5 – Pohjanmaa</b>	15	10	33	33	15	15
<b>RCP4.5 – Pohjois-Suomi</b>	15	10	15	15	15	15

### Maataloutteen vaikuttava sosioekonominen kehitys SSP1-skenaariossa

Lehtonen ym. (2021) arvioivat sidosryhmien laajan kuulemisen perusteella sanalliset kertomukset Suomen maatalouden tilasta SSP1-, SSP3-, SSP4- ja SSP5-skenaariossa. Tältä pohjalta voidaan muodostaa sekä SSP1- että SSP3-skenaario. SSP1 yhdistetään RCP2.6- ja SSP3 RCP4.5-skenaarioon.

Väkiluvun kehitys noudattaa jo aiemmissa luvuissa esitettyä kehitystä SSP1-skenaariossa. Suomen väkiluku nousee yli 6 miljoonaan henkilöön vuoteen 2050 mennessä. Kaikkien liha- ja maitotuotteiden kulutus vähenee henkilöä kohden 30 % vuodesta 2020 vuoteen 2045 mennessä. Samalla palkoviljojen kulutus ruoaksi kasvaa 6-kertaiseksi, kauran 3-kertaiseksi, rukiin 70 %, vehnän 15 % ja ohran 20 %. Näin korvataan pitkälti se proteiini ja energia, minkä lihan ja maidon kulutuksen väheneminen ruokavaliossa aiheuttaa. Lisäksi lisätään kalan kulutusta. Kananmunien kulutus ei muutu vuodesta 2020. Kuluttajista suurin osa siirtyy näin selvästi aiempaa kasvisvoittoisempaan ruokavalioon omasta halustaan ilman merkittävää julkista ohjausta, mutta osa ohjauksen, kuten ruokavalio- ja kestävyysvalistuksen, tukemana.

Nurmien tuotantoon kannustetaan pienillä laajaperäisen nurmituotannon palkkioilla, koska nurmialan vähenemistä halutaan jarruttaa kotieläinten lukumäärien vähentyessä merkittävästi. Uusiutuvaan energiaan siirtymistä kannustetaan. Maatalouden energiakustannukset eivät kokonaisuudessaan paljoa alene, mutta energian hintojen vaihtelu vähenee.

### Maataloutteen vaikuttava sosioekonominen kehitys SSP3-skenaariossa

Väkiluvun kehitys noudattaa jo aiemmissa luvuissa esitettyä kehitystä SSP3-skenaariossa. Suomen väkiluku vähenee 5,5 miljoonasta noin 5 miljoonaan henkilöön vuoteen 2050. Ruokavaliot pysyvät likimain samanlaisina kuin ne olivat 2020. Maataloustuissa tapahtuu pieniä muutoksia siten, että pinta-alamatukia vähennetään lievästi samalla kun tuotehinnat ovat aiempaa vähän korkeammat, koska kansainvälinen maatalouskauppa vähenee. Kotimaisen maa- ja elintarviketuotannon markkina-asema vahvistuu ja kuluttajien heikkenee.

## 4.5 Kokonaistaloudellisten mallien perusurat ja skenaariot

### 4.5.1 Kokonaistaloudellinen mallinnus, aineisto ja perusskenaariot

Yhdellä toimialalla tapahtuvat muutokset heijastuvat muualle talouteen vuorovaikutussuhteiden kautta. Vastaavasti muutos jossakin aluetaloudessa välittyy muille alueille. Muutokset voivat olla toisiaan vahvistavia tai heikentäviä. Kokonaistaloudellisten vaikutusten hahmottamiseksi KUITTI-hankkeessa hyödynnettiin talousmallinnusta yleisen tasapainon malleja käyttäen.

Yleisen tasapainon mallinnuksessa kuvataan ensin talouden rakenne ja sen kehitys ilman tarkasteltavan ilmiön toteutumista. Seuraavaksi mallilla arvioidaan talouden kehitysskenaariossa, joka sisältää tarkastelun kohteena olevan ilmiön toteutumisesta aiheutuvan muutoksen (ks. luvut 4.5.2 ja 4.5.3). Lopuksi näitä kahta kuvausta verrataan toisiinsa tarkasteltavan ilmiön vaikuttavuuden selvittämiseksi (ks. luvut 6 ja 7).

KUITTI-hankkeen makrotalouden tarkasteluissa on hyödynnetty kahta simulointimalia: RegFinDyn ja GTAP. RegFinDyn-mallinnuksissa on keskitytty Suomessa tapahtuvien ilmiöiden vaikutuksiin ja GTAP-mallinnuksissa globaalitalouden kautta Suomeen kohdistuviin vaikutuksiin. Mallien lyhyet kuvaukset esitetään liitteessä 5.

### 4.5.2 RegFinDyn-skenaariot

RegFinDyn-laskelmissa tarkastellut skenaariot pohjautuvat KUITTI-hankkeessa toteutettujen toimialakohtaisten vaikutusarvioiden tuloksiin. RegFinDyn-arvioinnin tarkoituksena on koota eri toimialoihin kohdistuvat muutokset niiden yhdessä aiheuttamien kokonaistaloudellisten vaikutusten hahmottamiseksi. Skenaarioissa on huomioitu talouden näkökulmasta olennaisimmat ilmiöt, joista oli saatavilla laskelmissa tarvittavat lähtötiedot. Skenaarioissa on keskitytty talouden shokkeihin, jotka kohdistuvat rakennettuun ympäristöön tulvien kautta, sähkönjakeluun, maatalouteen ja metsäsektoriin. Koska keskeiset toimialatarkastelut rajautuivat Manner-Suomeen, myös RegFinDyn-laskelmissa Ahvenanmaa on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

**Tulvien** myötä rakennettuun ympäristöön kohdistuvat vaikutukset huomioitiin RegFinDyn-skenaarioissa SYKEN ja Ilmatieteen laitoksen tuottamien tietojen mukaisesti (ks.



luku 5.1 Rakennettu ympäristö). Tarkastelussa ovat mukana vesistö- ja meritulvien merkittävät tulvariskialueet, mutta ei esimerkiksi hulevesitulvia. Tulvien oletettiin aiheuttavan rakennuksille vahinkoja, jotka ovat korjattavissa. Suurimmat talousvaikutukset kohdistuisivat Kymenlaaksoon, Lappiin ja Uudellemaalle. Suurempien tulvien oletettiin tapahtuvan vuosina 2030 ja 2060. Tulvista aiheutuvien kustannusten muutos arvioitiin suhteessa vuoden 2015 laskennallisiin tulvakustannuksiin. Kustannukset jaettiin kotitalouksien ja eri toimialojen kesken rakennuskannan perusteella sekä edelleen eri toimialoille työntekijämäärien suhteessa (ks. liite 6). Oletuksena oli, että kotitaloudet ja toimialat vastaavat korjauskustannuksista kulutustaan ja investointejaan sopeuttamalla. Mahdollisissa tulevissa selvityksissä vaikuttavuusarvioita voisi täsmentää huomioimalla kustannusten kantamista koskevat vaihtoehtoiset toimintamallit. Tulvia koskevan lähtöaineiston rajallisuuden vuoksi tulvat on huomioitu ainoastaan reaktiivisissa skenaarioissa. Tulvien talousvaikutukset proaktiivisissa skenaarioissa edellyttäsivät erillistä tulvatutkimusta.

**Sähkönjakelun** osalta RegFinDyn-skenaariot perustuvat LUTin laskelmiin (ks. luku 5.2 Sähkönjakelu). Laskelmissa oletettiin, että nykyinen politiikka sähkönjakelun häiriöiden vähentämiseksi sisältyy proaktiivisten skenaarioiden perusuriin. Reaktiivisissa skenaarioissa huomioitiin energiasektorille kohdistuvien käyttökustannusten kasvu, joka aiheutuisi sähkönjakelun häiriöiden yleistymisestä. LUTin laatimissa laskelmissa kustannukset kohdistettiin viidelle maantieteelliselle alueelle, jotka ovat Lounais-Suomi, Kaakkois-Suomi, Itä-Suomi, Länsi-Suomi ja Pohjois-Suomi. RegFinDyn-laskelmissa vaikutukset jaettiin edelleen maakuntiin suhteessa alueiden laajuuteen. Energiasektorilla on tapahtumassa olennaisia rakenteellisia muutoksia tulevina vuosikymmeninä. Sähkönjakelua koskevien kokonaistaloudellisten vaikutusten arviointia eri skenaarioissa olisi mahdollista tarkentaa energiasektorin muutoksen kuvaamisella. Tässä tarkastelussa rakennemuutosta ei ole huomioitu taustatietojen puuttumisen vuoksi.

**Metsäsektorin** skenaarioissa pohjana ovat Luken laskelmat (ks. luku 5.3 Metsäsektori). Luke arvioi laskelmissaan metsäteollisuustoimialoihin kohdistuvat vaikutukset. Luke esitti näiden toimialojen tuotannon muutoksen niin reaktiivisissa kuin proaktiivisissa skenaarioissa maakuntatasolla. Metsäteollisuuden muutokset vaikuttavat edelleen metsätalouteen, mikä huomioitiin vaikuttavuuslaskelmissa.

**Maatalouden** skenaarioiden taustalla ovat Luken vaikutusarviot (ks. luku 5.4 Maatalous). Maataloustuotannon arvioitiin muuttuvan niin reaktiivisissa kuin proaktiivisissa skenaarioissa. Luken tulokset esitettiin neljälle alueelle, jotka noudattelevat maatalouden tukialueiden rajoja. Vaikutukset jaettiin maakunnittaisiksi vaikutuksiksi olettaen, että kunkin tukialueen maakunnassa maatalouden muutos on suhteessa samanlaista

kuin tukialueella yleisesti. Luken arviot päättyivät vuoteen 2050. Tästä johtuen Reg-FinDyn-laskelmissa oletetaan, että maatalouteen ei kohdistu uusia shokkeja vuosina 2051–2070.

### 4.5.3 GTAP-skenaariot

Suomen ulkopuolella tapahtuvat ilmastonmuutoksen vaikutukset heijastuvat Suomeen ulkomaankaupan kautta. Ilmastonmuutos vaikuttaa suoraan ilmastoherkkien tuotteiden tuontiin ja hintoihin. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat kuitenkin selvästi laajemmalla, sillä suhteellisten hintojen muutos johtaa markkinasopeutumiseen ja vaikuttaa siten kaikkien tuotteiden kauppavirtoihin, tuotantoon ja hintoihin. Ilmastonmuutos voi aiheuttaa myös häiriöitä logistiikkaan, jolloin kuljetus estyy tai kallistuu (Carter ym., 2021).

KUITTI-hankkeessa tarkastellaan Suomen ulkopuolelta heijastuvia vaikutuksia työn tuottavuuden ja maatalouden osalta. Näitä on tyypillisesti tarkasteltu myös kansainvälisessä tutkimuksessa (Orlov ym. 2021, Knittel ym. 2020), koska niille on saatavissa vaikutusarvioita.

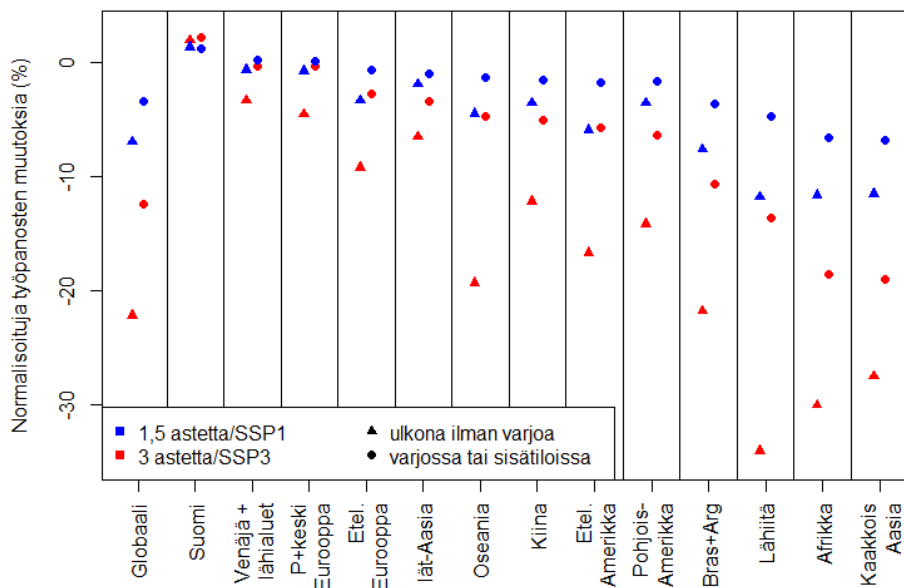
Arvioitaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia työn tuottavuuteen hyödynnetään Dasguptan ym. (2021) arvioita ja Dasguptan toimittamaa yksityiskohtaista karttapohjaista aineistoa. Arviot kuvaavat pidemmän aikavälin keskimääräistä vaikutusta eivätkä esimerkiksi äkillisiä helleaaltoja. Dasguptan ym. arvioissa otetaan huomioon sekä vaikutus työn tuottavuuteen työtuntia kohden että työtuntien määrään. Useimmissa muissa tutkimuksissa vaikutusta työtuntien määrään ei ole huomioitu. Dasgupta ym. arvioi vaikutukset kahdelle ryhmälle eli ulkona auringossa työskenteleville sekä sisällä ja ulkona varjossa työskenteleville. GTAP-mallin sektoreita, joihin suurimmat vaikutukset kohdistuvat, ovat maatalous, metsätalous, kaivannaistoiminta ja rakentaminen. Työvoima on mallilaskelmissa aggregoitu kouluttamattomaan ja koulutettuun työvoimaan ja oletettu, että ulkotöissä auringossa on vain kouluttamatonta työvoimaa. Dasgupta ym. raportoi tuottavuusvaikutukset 1,5, 2 ja 3 asteen lämpenemiselle. SSP1-RCP2.6-skenaariossa käytetään 1,5 asteen arviota molemmille tarkasteluajankohdille. SSP3-RCP4.5-skenaariossa käytetään kahden asteen lämpenemisen vaikutuksia vuodelle 2040 ja kolmen asteen vaikutuksia vuodelle 2070.

Lämpeneminen vähentää sekä työvoiman tarjontaa että työn tuottavuutta. Normalisoitu työpanos on Dasgupta ym. soveltama käsite, jossa korjataan alkuperäiset nominaaliset työvoiman ja työn tuottavuus lämpenemisen takia, joten yksiköt edustavat sa-

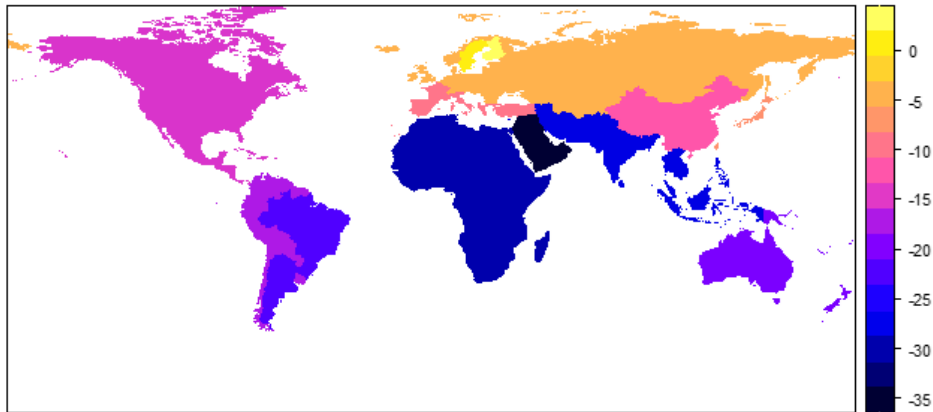
maa sisältöä kuin ennen lämpemistä. Alueiden keskimääräiset normalisoidut työpanokset lasketaan SSP1- ja SSP3-skenaarioiden vuoden 2100 väestöennusteiden perusteella.

Normalisoidun työpanoksen ennustetaan supistuvan 22 % aurinkopaisteessa suoritettavan ulkotyön osalta ja enintään 12 % suojatun ulkotyön ja sisätiloissa suoritettavan työn osalta kolme asteen lämpenemisskenaariossa (Kuva 4.8). Lämpenemisen vaikutukset vaihtelevat merkittävästi alueiden välillä. Trooppisten alueiden odotetaan kärsivän suurimmat negatiiviset vaikutukset, kun taas korkeiden leveysasteiden alueilla voidaan yleisesti odottaa melko lieviä negatiivisia vaikutuksia ja mahdollisesti pieniä parannuksia talvien keskilämpötilojen nousun takia (Kuva 4.9 ja Kuva 4.10). Samansuuntaiset mutta maltillisemmat muutokset ovat odotettavissa 1,5 asteen lämpenemisskenaariossa.

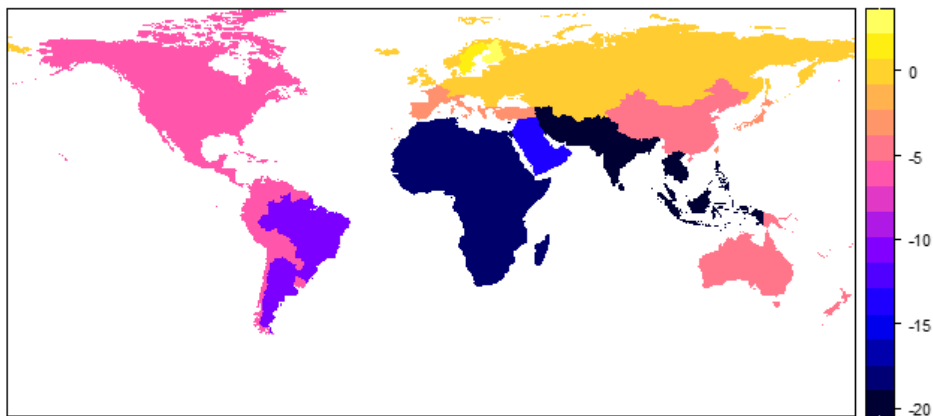
**Kuva 4.8** 1,5, 2 ja 3 asteen lämpenemisurien mukaisien ilmastoskenaarioiden sisältämät maailmanlaajuiset ja alueelliset normalisoitujen työpanosten muutokset suhteessa nykyiseen työpanokseen. Kuva perustuu Dasgupta ym. (2021) arvioihin.



**Kuva 4.9** Kolmen asteen lämpenemisuran mukaisen ilmastoskenaarion sisältämät alueelliset normaali-soidun työpanoksen muutokset suhteessa nykyiseen työpanokseen – ulkotyö auringonpais-teessa. Lähde: Kuva perustuu Dasgupta ym. 2021 arvioihin.



**Kuva 4.10** Kolmen asteen lämpenemisuran mukaisen ilmastoskenaarion sisältämät alueelliset normaali-soidun työpanoksen muutokset suhteessa nykyiseen työpanokseen – suojattu ulkotyö ja työ sisätiloissa. Lähde: Kuva perustuu Dasgupta ym. 2021.



Myös maatalouden osalta tarkastellaan ilmastomuutoksen aiheuttamia keskimääräisiä vaikutuksia. Tarkastelu rajoittuu viljelykasveihin, kuten kansainvälisessä tutkimuksessa. Tämä johtuu siitä, että karjataloudelle tai vihanneksille ja hedelmille ei ole olemassa luonnontieteellisiä globaaleja malleja, joilla ilmastomuutoksen vaikutuksia tuotantoon ja satoisuuteen voitaisiin arvioida. Viljelykasvien osalta KUITTI-hankkeen laskelma sisältää globaalisti tärkeimmät viljelykasvit eli vehnän, riisin, soijan ja maisin. Koska maissi on GTAP-aineistossa yhdistetty ohran, rukiin ja kauran kanssa, tälle

sektorille käytettiin Suomen, muun pohjoisen Euroopan ja Venäjän osalta vehnän satoisuusarviota, koska ilmastonmuutos vaikuttaa erityisesti ohraan samantapaisesti kuin vehnään kun taas vaikutus maissiin poikkeaa näistä. Etelä-Euroopalle satoisuusarvio laskettiin painottamalla vehnän ja maissin satoisuusmuutoksia.

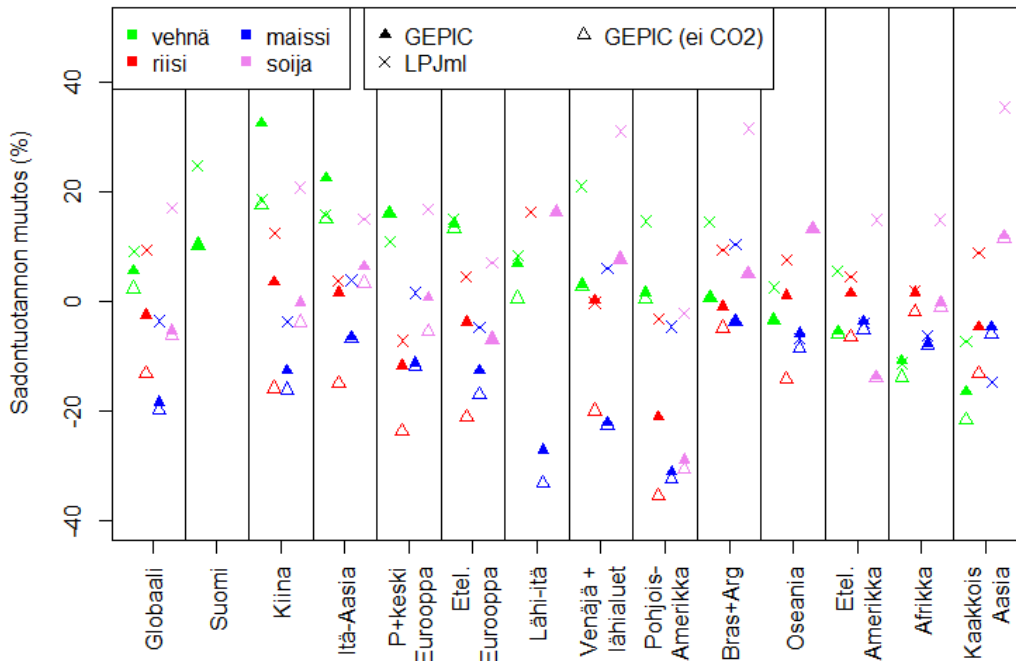
Ilmastonmuutoksen vaikutus satoisuuteen otettiin ISIMIP2b-tietokannasta (Frieler ym., 2017; Jägermeier ym., 2021). ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) on aineistotietokanta, joka sisältää kansainvälisten tutkimushankkeiden tuloksena saatuja globaalien tason skenaarioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista eri sektoreille eri ilmastoskenaariossa (RCP) ja sosioekonomisissa skenaarioissa (SSP). Vaikutusarvot otettiin uusimmasta ISIMIP-tietokannasta jonka arviot perustuvat selvästi kehittyneempiin kasvumalleihin kuin aiemmat versiot. Uusin tietokanta ei kuitenkaan sisällä arvioita RCP4.5-skenaariolle, vaan sen sijaan käytettiin RCP6.0-arvioita.

GTAP-laskelmiin syötetyt vaikutusarvot perustuvat kahteen kasvumalliin heijastamaan huomattavaa epävarmuutta. GEPIC-mallissa satoisuudet ovat pienemmät kuin useimmissa muissa malleissa, kun taas LPJml tuotti korkeammat satoisuudet. LPJml sisältää myös laajemman valikoiman viljelykasveja kuin muut mallit. Sen sijaan GEPIC-mallista on saatavissa vaikutukset satoisuuteen ilman kohonneen hiilidioksidipitoisuuden lannoitusvaikutusta, eli siinä ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on nykyisellä tasolla.

Pitkän aikavälin keskimääräiset satoisuuden muutokset laskettiin vertailujaksolle 1986–2005 sekä tuleville ajanjaksoille 2025–2055 ja 2055–2085 kuvaamaan tarkasteluvuosia 2040 ja 2070. Satoisuudet yhdistettiin globaaliin viljelykasvien tuotantoaloja koskevaan aineistoon vuodelle 2010 (SPAM2010 version 2r0; Yu ym. 2020). Viljelyalojen muutoksia tulevaisuudessa ei siten arvioitu. Tuloksena saadut viljelykasvien tuotannot aggregoitiin 13 maaryhmäksi tai maaksi, joille laskettiin muutokset viljelykasvien tuotannossa satoisuusmuutosten seurauksena.

Kasvumallien mukaan ilmastonmuutoksella on positiivinen vaikutus vehnän satoisuuteen, negatiivinen maissin ja vaikutuksen suunta vaihtelee soijalle ja riisille mallista riippuen. Kun hiilidioksidin lannoitusvaikutusta ei oteta huomioon, riisin satoisuusvaikutus muuttuu selvästi negatiiviseksi ja muille vaikutus pienenee hieman.

**Kuva 4.11** Muutokset globaaleissa ja alueellisissa viljelykasvien tuotannoilla painotetuissa satoisuuksissa 2070-2099 verrattuna vuosiin 1986-2005 kahdessa globaalissa satomallissa, GEPIC and LPJml, jotka käyttävät RCP6.0 mukaista ilmastoskenaariota HadGEM2-ES ilmastomallista. GEPIC-mallille tulokset esitetään simulaatioista kasvavan ilmavehän hiilidioksidipitoisuuden aiheuttaman lannoitusvaikutuksen kanssa ja ilman sitä. Lähde: ISIMIP.



## 5 Toimialojen vaikutukset

### 5.1 Rakennettu ympäristö

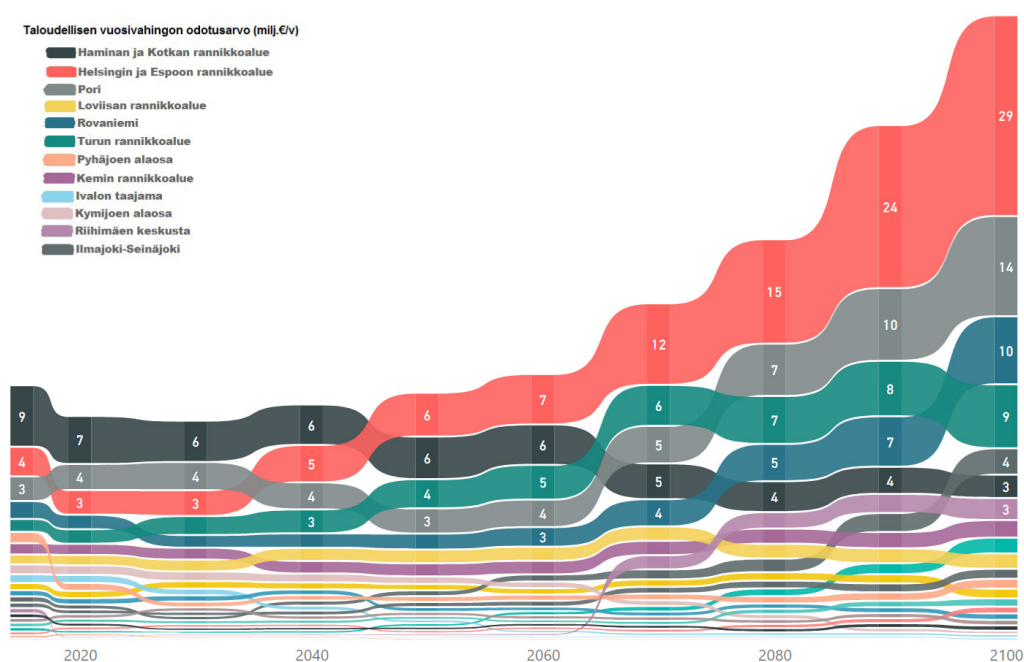
Vesistötulvavaaran on arvioitu kasvavan etenkin Etelä- ja Keski-Suomen suurissa vesistöissä. Sen sijaan pohjoisempana muutokset voivat olla lähitulevaisuudessa melko pieniä ja muutoksen suunta on epävarma. Rankkasateiden yleistyminen lisää taajamien hulevesitulvia. Merivesitulvien arvioidaan kasvavan ainakin Suomenlahdella, jossa maanpinnan kohoaminen ei riitä kompensoimaan merivedenpinnan nousua pitkällä aikavälillä (Suomen ilmastopaneeli 2021). Tulvat voivat aiheuttaa merkittäviäkin vahinkoja esimerkiksi ihmisille, ympäristölle ja taloudelliselle toiminnalle. Haavoittuvuus on lisääntynyt, muun muassa rakennusten teknistyessä.

Parjanne ym. 2018 on mallintanut, että Suomen tulvariskin ennustetaan kaksin- tai kolminkertaistuvan vuoteen 2100 mennessä, jos tulvariskien hallinnan toimenpiteitä tai ilmastomuutoksen sopeutumistoimia ei jatketa ja toteuteta suunnitellusti. Tämä tarkoittaisi sitä, että esimerkiksi uusien rakennusten rakentamiskorkeus säilyisi samana kuin aiemman rakennuskannan eli ne sijoittuisivat samassa suhteessa tulvavaara-alueille. Samankokoinen tulva saattaa siis tulevaisuudessa aiheuttaa nykyistä suuremmat vahingot.

Merkittävien tulvariskialueiden suorat rakennusvahingot erittäin harvinaisella tulvalla (vuositainen todennäköisyys 1/1000) on arvioitu Suomessa yli miljardiksi euroksi ja alueilla tulvavaarassa tai tulvasuojeltuna asuu 30 000–40 000 ihmistä. Arvioiden perusteella laskennallisesti tulvista aiheutuisi – todennäköisyydet huomioon ottaen – vuosittain noin 30 miljoonan euron suorat vahingot., jos mitään tulvanaikaisia toimenpiteitä ei toteutettaisi. Mikäli kaikki olemassa olevat tulvasuojelut pettäisivät, voisi vuosittain kastua noin 4000 asukkaan koti. (Parjanne ym. 2018)

Tulevaisuuden tulvariskiarvioit on laadittu kansallisesti yhtenevällä menetelmällä merkittäville tulvariskialueille vuosille 2015–2100. Arvioissa on otettu alueellisesti huomioon erilaiset ilmaston, väestön ja talouden skenaariot. Tulvariskiarvioita voi tarkastella internet-palvelussa sivulla [www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit](http://www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit) valtakunnallisesti ja alueellisesti. Käyttäjä voi esimerkiksi arvioida ilmastomuutoksen merkitystä suhteessa väestön- ja talouskasvuun eri vuosina ja eri skenaarioilla. Tulvariskiä ja sen muutosta on kuvattu alueen asukkaiden ja taloudellisen vahinkopotentialin avulla (Kuva 5.1). Vuosivahingon odotusarvon avulla voi arvioida tulvariskien hallinnan investointien kannattavuutta, kuten tulvapenkereen korottamista ja veden pidättämistä valuma-alueella.

**Kuva 5.1** Merkittävien tulvariskialueiden taloudellisen riskin (miljoonaa euroa vuodessa) arvioitu kehitys tällä vuosisadalla SSP1-RCP2.6-skenaariossa ("kova tavoite") Parjanne ym. 2018 mukaan (<https://www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit>).

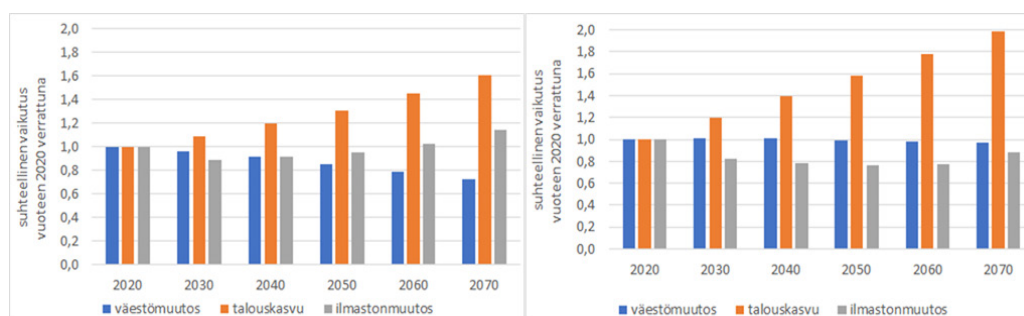


Parjanne ym. 2018 on myös tutkinut, miten eri tekijät vaikuttavat tietyn alueen tulvariskin kehitykseen. Tekijöinä toimivat talouskasvu, tulvariskialueeseen kuuluvien kuntien väestönkasvu sekä ilmastonmuutoksen vaikutus tulvavaaraan. Tulvariskin ennustettu kasvu johtuu pääosin tasaiseksi oletetusta vahinkokohteiden arvoa nostavasta talouskasvusta. Väestömuutoksen vaikutus tulvariskiin on pieni. Joillakin alueilla vesistöjen tulvavaaran ja väestömuutoksen vaikutukset ovat vastakkaisia, kun taas toisilla alueilla ne voimistavat toisiaan ja siten kasvattavat tai vähentävät tulvariskiä huomattavasti. Tulvariskin ennustetaan vähenevän Pohjois-Suomessa sekä erityisesti muuttotappioalueilla. Väestön ikääntymisen myötä sosiaalinen haavoittuvuus kasvaa. Erot alueittain ovat kuitenkin merkittäviä.

Kuva 5.2 näyttää kahden SSP-RCP-skenaarioiden tekijöiden suhteellisen vaikutuksen tulvariskin kehitykseen. Talouskasvu on molemmissa skenaarioissa dominoiva ja voimistuva kustannusriskitekijä, erityisesti SSP1-RCP2.6-skenaariossa. Monissa muissa tutkimuksissa on todettu taloudellisen kehityksen dominoiva rooli ääri-ilmiöiden kustannusriskeissä (esim. Neumayer ja Barthel 2011). SSP1-RCP2.6-skenaariossa väestönkasvun ja ilmastonmuutoksen tulvavaara vaikuttavat suunnilleen yhtä paljon ja niiden vaikutus jää suunnilleen sama koko jakson aikana. RCP4.5-skenaariossa ilmasto muuttuu enemmän kuin RCP2.6-skenaariossa, ja siksi sen vaikutus tulvariskiin kasvaa vuoden 2060 jälkeen.



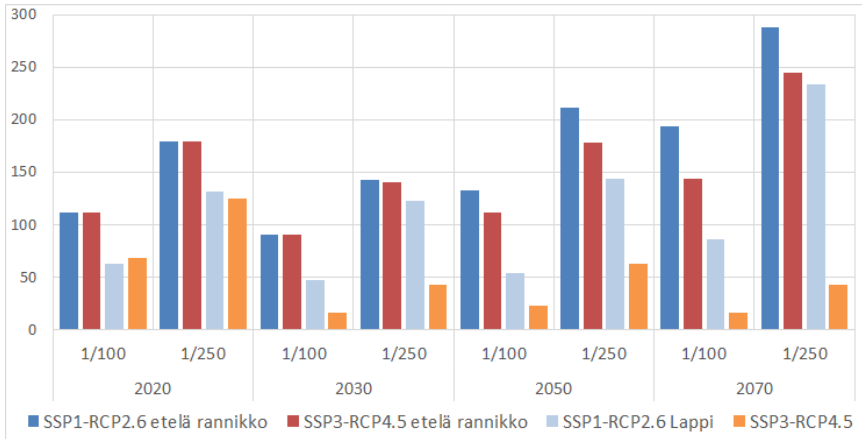
**Kuva 5.2** Väestön ja talouskasvun sekä ilmastonmuutoksen aiheuttaman tulvavaaran muutoksen osa-vaikutukset alueen tulvariskin kehitykseen SSP3-RCP4.5(vasen) ja SSP1-RCP2.6 (oikea) skenaarioissa Parjanne ym. 2018 pohjaisen websovelluksen mukaan (<https://www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit>)



Edellä on selitetty tulvariskien odotusarvojen kehitys, joka antaa kuvan keskimääräisestä vuosittaisesta tulvariskin trendistä. Trendi havainnollistaa esimerkiksi tulvavaikutusten markkinakehitystä. Kuten luvussa 4.4.1 on selitetty, trenditiedot ennustavat merkittävän tulvan talousvaikutuksen melko huonosti, koska yksittäisen suuren tulvan aiheuttama shokki voi olla monta kertaa suurempi kuin trendiluku. Siksi työssä määriteltiin etelärannikon tulvariskiklusteri sekä Lapin tulvariskiklusteri. Jokaisen tulvariskialueen tulvakustannuksien kehittymistä tarkasteltiin kummassakin klusterissa Parjanne ym. 2018 menetelmän mukaisesti sekä SSP1-RCP2.6-skenaariossa että SSP3-RCP4.5-skenaariossa. Tulvakustannukset laskettiin kahdelle tulvaskenaariorille: yhdelle, jonka vuosittainen todennäköisyys on 1 %, ja toiselle, jonka vuosittainen todennäköisyys on 0,25 %.

Kuten edellä on kerrottu, sekä väestön ja talouskasvun näkymät että tulvavaara eivät välttämättä muutu yhtä paljon (prosentuaalisesti) eri tulvariskialueilla edes samassa SSP-RCP-skenaariossa. Siksi kustannuksen kehitys voi vaikuttaa jonkin verran yllättävältä, kun verrataan eri alueet (Kuva 5.3). Maksimivahingot voivat kasvaa SSP1-RCP2.6-skenaariossa sekä etelärannikon tulvariskiklusterissa että Lapin tulvariskiklusterissa talous- ja väestönkasvun takia. Toisaalta SSP3-RCP4.5-skenaariossa väisä talouskasvu ja supistuva väestö vähentävät maksimivahinkoja merkittävästi Lapin tulvariskiklusterissa. Tärkeä viesti on ainakin, että talous- (ja väestön) kasvu usein dominoivat tulvariskin kokonaiskehitystä. Toisaalta tämä tulos voidaan tulkita niin, että korkeampi talouskasvu usein edellyttää suuremman sopeutumisen ponnistuksen esimerkiksi tulvasuojelutason korottamisella.

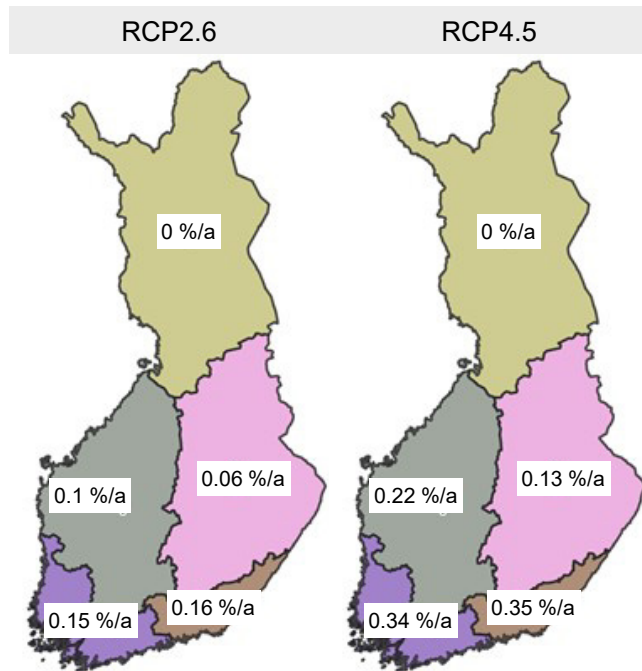
**Kuva 5.3** Eri tulva-alueiden vahinkokustannukset (miljoona euroa) toistuvuustason ja SSP-RCP-skenaarion mukaan, jos tulva tapahtuu esteettömästi



## 5.2 Sähköjako

Ilmastonmuutos vaikuttaa sähköjaketuloimialaan muun muassa myrskyjen vaikutusten lisääntymisen myötä. Vaikutukset syntyvät pääosin tuulen, lumituhojen ja ukkosien aiheuttamana. Yhtenä tuhojen voimakkuutta lisäävänä tekijänä on maaperän routaolosuhteiden muuttuminen ilmaston lämpenemisen myötä. Lopputuloksena on, että analyysien perusteella ilmajohtojen vikaantumistaajuus kasvaa joka puolella Suomea. Kuva 5.4 esittää myrskyn ja tuulen aiheuttamien vikamäärien kasvun Suomessa.

**Kuva 5.4** Tuulen ja myrskyn aiheuttamien ilmajohtojen vikaantumisen lisäys RCP2.-6 ja RCP4.5- skenaarioissa vuoteen 2070 asti. Kuvan pohjakartta muokattu Láng-Ritter ym., (2022), artikkelin pohjalta.

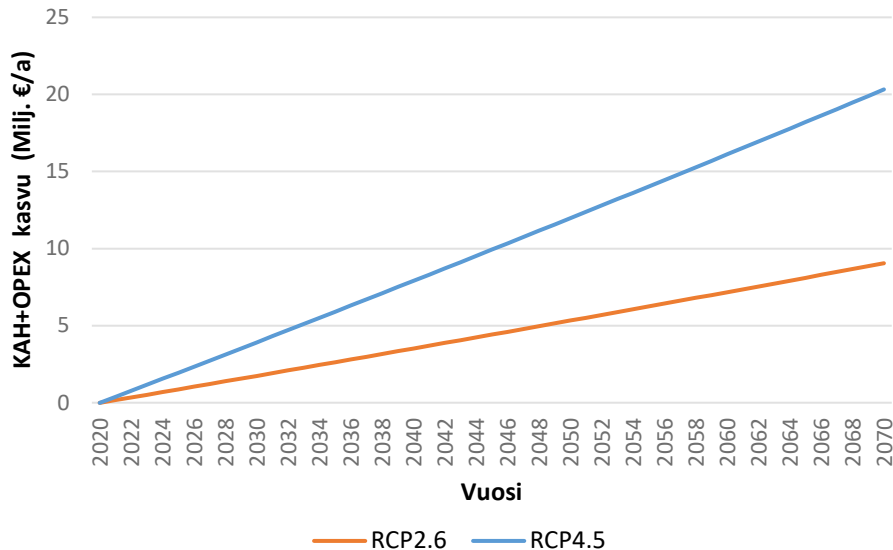


Vuosien 2005–2018 sähkönjakelun vika-aineistosta analysoituna yhdessä roudan vähenemisen myötä ilmajohtoverkoissa myrskyn ja tuulen osalta lisäystä sähkönjakelun vikamäärissä on RCP2.6-skenaariossa 0–0,16 % vuodessa ja ja RCP4.5-skenaariossa 0–0,35 % vuodessa. Lumikuormien osalta arvioidaan, että sekä RCP2.6- että RCP4.5-skenaarioissa vikamäärät kasvavat Itä-Suomessa 0,16 % vuodessa ja Lapissa 0,6 % vuodessa. Muualla Suomessa lumituhojen aiheuttama ilmajohtojen vikaantumisen ei arvioida muuttuvan nykyisestä.

Sähkönjakelun tilastoista määritetään häiriönhoitokustannukset, viankorjaus-kustannukset sekä sähkönjakelun asiakkaiden keskeytyshaittakustannukset. Häiriönhoito- ja viankorjauskustannukset määritetään tilastoitujen sähkönjakelun operatiivisten kustannusten vaihtelusta. Esimerkiksi haja-asutusalueilla toimivien sähkönjakeluyhtiöiden yhteenlasketut operatiiviset kustannukset vuoden 2005 rahanarvossa ovat olleet 280–375 miljoonaa euroa eli keskimäärin 325 miljoonaa euroa vuodessa. Vastaavasti samojen yhtiöiden keskeytyshaittakustannukset vuoden 2005 rahan arvossa ovat vaihdelleet 75–370 miljoonan euron välillä, jolloin keskiarvo on noin 145 miljoonaa euroa vuodessa.

Vikamäärien kasvun perusteella määritetään operatiivisten kustannusten (OPEX) ja keskeytyskustannusten (KAH) vuotuinen lisäys, joka on esitetty kuvassa 5.5.

**Kuva 5.5** Ilmastonmuutoksen lisäkustannusvaikutusarvio RCP2.6- ja RCP4.5-skenaarioissa 50 vuoden ajalta. Kustannukset on esitetty vuoden 2005 rahanarvossa.



Tarkastelluissa RCP2.6- ja RCP4.5-skenaarioissa sähköjakelun kustannukset lisääntyvät nykyisestä. Vuotuinen kustannusten kasvu RCP2.6-skenaariossa on noin 170 000 euroa vuodessa ja RCP4.5-skenaariossa noin 390 000 euroa vuodessa.

Huomioitaessa sähköjakelutoiminnan sopeutumistoimet on lopputuloksena, etteivät operatiiviset kustannukset nouse kasvavan häiriönhoidon ja viankorjauksen myötä tai etteivät keskeytyskustannukset kasva ennustetusti. Sähköjakeluverkkoihin investoidaan vuosittain satoja miljoonia euroja, joista merkittävä osa sähköjakelun toimitusvarmuuden kohentamiseksi. Tällä ehkäistään myös ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia. Osa toimitusvarmuuden kehittämisinvestoinneista ja niiden rahoituskustannuksista voidaan nähdä myös ilmastonmuutokseen sopeutumisena. Sähköverkkotoiminnassa pyritään yhtälön 4.1 mukaisesti kokonaiskustannusten minimiin, jolloin kasvavat investointi- ja rahoituskustannukset pyritään kompensoimaan pienenevillä operatiivisilla ja keskeytyskustannuksilla. Tällöin voidaankin olettaa, että ilmastonmuutoksen myötä kuvan 5.5 mukainen kustannusten kasvu on nähtävissä sähköjakelutoimialalla sopeutumistoimista huolimatta. Tässä on huomattava, että vain pieni osa vuotuisista toimitusvarmuusinvestoinneista on ilmastonmuutoksesta johtuvia.

## 5.3 Metsäsektori

Metsäsektorilaskelmissa metsiin kohdistuu metsikkötasolla kahdenlaisia tuhoja: ei-katastrofaalisia ja katastrofaalisia. Ei-katastrofaaliset tuhot heikentävät kaikkien puulajien kasvua. Katastrofaaliset tuhot kohdistuvat kuusiin, ja ne johtavat puuston välittömään uudistamistarpeeseen. Katastrofaalisten tuhojen voidaan ajatella seuraavan riskiketjua, jossa tuulituho ja kuivuus aiheuttavat yhdessä laajan, maisematasolla voimakkaasti leviävän kaarnakuoriaisepisodin.

Metsäsektorin skenaariokuvauksessa (luku 4.4.3) esitetyistä syistä laskelma on erittäin karkea kuvaus mahdollisista olosuhteista. Laskelma ei siis ole ennuste tulevalle kehitykselle, eikä siitä voida vetää johtopäätöksiä siitä, kuinka suuret taloudelliset vahingot metsätuhoista olisi tulevaisuudessa odotettavissa. Koska myös erilaisten käsittelyjen vaikutus tuhoriskeihin ja esimerkiksi kaarakuoriaisten leviämiseen tunnetaan huonosti, myös sopeutumiskeinojen analyysi on luonteeltaan lähinnä karkea havainnollistus.

Metsäsektorilaskelma tarjoaa kuitenkin joitain näkökulmia metsätuhoihin ja niihin sopeutumiseen. Tulokset kuvaavat kahta lähtökohdiltaan erilaista metsäsektoria, joista ensimmäisessä metsäteollisuustuotteiden kehitys on korkealla tasolla, mutta samalla metsävaroihin kohdistuu hiilikorvaus, mistä johtuen puun kysyntä on suhteellisen korkea tarjontaan nähden. Toisessa kysyntä kehittyy huonommin ja metsävarat ovat vapaasti käytössä. Markkinatilanne on jälkimmäisessä tapauksessa siis vähemmän kiireä. Tuloksista saadaan arvio sille, kuinka markkinatilanne vaikuttaa metsätuhoriskien sektorivaikutuksiin.

Laskelmassa pyritään myös havainnollistamaan reaktiivisen ja proaktiivisen sopeutumisen eroa. Lähtökohtana on oletus, että reaktiivinen sopeutuminen ei ole yhtä hyödyllistä kuin proaktiivinen, joten tuhot koskevat laajempaa pinta-alaa reaktiivisen sopeutumisen tapauksessa. Lisäksi oletetaan, että metsätuhojen ollessa heikommin hallinnassa, metsänomistajat tekevät tappiot minimoidakseen enemmän ennakoivaa hakkuutta tuhoalueilla: Nämä hakkuut kohdistuvat myös nuorempiin ikäluokkiin, joita ei ilman tuhoriskiä hakattaisi. Katastrofaalisen tuhon kohteissa puolet ainespuusta muuttuu sellaiseksi, ettei se ole metsäteollisuuden hyödynnettävissä.

**Kuva 5.6** Massa- ja paperiteollisuuden ja puutuoteteollisuuden tuotoksen kehitys tarkastelluissa skenaarioissa. Ylärivillä SSP1-RCP2.6-skenaariot ja alarivillä SSP3-RCP4.5-skenaariot.



Metsätuhojen aiheuttamat kustannusvaikutukset metsäsektorille kiteytyvät toimialojen tuotoksen kehitykseen (Kuva 5.6). Tuotoksen kehityksen päälinjan määrittää SSP-kehityspolkujen mukaisesti asetettu tuotteiden kysyntäkehitys. Kuvan 5.4 paneeleissa (a) ja (b) nähdään SSP1-kehityspolun voimakkaan kysyntäkehityksen aiheuttama positiivinen tuotoksen kehitys ja paneeleissa (c) ja (d) SSP3-kehityspolun suhteessa vaatimattomampi kehitys. Vaikka tuotteiden kehitys SSP-kehityspoluissa on tasaista yli tarkastelujakson, havaitaan tuotoksen kasvun hidastuvan tarkastelujakson lopulla. Tähän syynä on erityisesti puun hinnan nousu ja korkean päästöoikeuden hinnan vaikutukset metsä- ja energiasektoreilla.

Metsätuhojen vaikutus tuotoskehitykseen nähdään verrattaessa perusuran eroa reaktiiviseen ja proaktiiviseen uraan (Kuva 5.6). Odotusten mukaisesti metsätuhot aiheuttavat tuotoksen alenemista perusuraan nähden ja metsätuhojen vaikutukset ovat hie- man suuremmat reaktiivisen sopeutumisen kuin proaktiivisen sopeutumisen tapauk- sessa. Tuloksista havaitaan kaksi pääpiirrettä. Ensinnäkin RCP2.6-kehityskulussa metsätuhoriskien vaikutus on vähäisempää kuin voimakkaamman ilmastonmuutoksen

kehityskulussa RCP4.5. Tämä tulos on odotusten mukainen, sillä RCP2.6:ssa ilmastomuutos on suhteellisen maltillista ja vaikutukset metsätuhoihin ovat siten vähäisiä. Toiseksi päätulokseksi voidaan nostaa paperi- ja massateollisuuden voimakkaampi reaktio kohonneeseen metsätuhojen tasoon. Tämä on osin yllättävää, sillä puutuoteteollisuudessa puuraaka-aineen osuus panoksista on suhteessa merkittävämpi kuin paperi- ja massateollisuudessa. Tulosta selittää kuitenkin se, että ilmastomuutos lisää puun läpimittakasvua, joten tukkipuun tarjonta kehittyy perusuralla hyvin. Siten tukkipuun tarjontapotentiaali on korkea ja kuitupuun vastaavasti hieman heikompi. Lisäksi paperi- ja massateollisuus on kokonaisuutena suurempi puunkäyttäjä kuin puutuoteteollisuus, joten puuhuolto-ongelmat koskevat myös sitä merkittäväällä tavalla.

Kaiken kaikkiaan metsätuhojen huomioimisen vaikutukset ovat laskelmissa suhteellisen vähäiset. Erityisesti puutuoteteollisuus ei näytä juuri kärsivän metsätuhoista. Suhteellinen tuotoksen lasku on suurimmillaankin vain hieman alle 3 %. Paperi- ja massateollisuudessa vaikutukset ovat suuremmat, erityisesti tarkastelujakson loppupäässä, jolloin RCP4.5:ssä ilmastomuutoksen vaikutukset ovat jo merkittävämpiä. Tuotoksen suhteelliset muutokset ovat RCP2.6:ssa korkeimmillaan 2 % ja RCP4.5:ssä 6 %. FinFEP-mallissa metsänomistajat sopeuttavat hakkuitaan markkinakysynnän perusteella. Vaikka tuhojen myötä markkinoille tulee säännöllisesti puuta, täydennetään puun tarjontaa tarpeen mukaan metsänhoidollisilla hakkuilla ja päätehakuilla. Niin kauan kuin puuston määrä pysyy riittävällä tasolla, puun tarjonta pystyy vastaamaan kysyntään, myös tuhojen vallitessa. Laskelmissa katastrofaaliset tuhot kohdistuvat skenaarioissa kuusiin. Tämän vuoksi mallissa pyritään mahdollisuuksien mukaan paikkaamaan kuusen puutetta männyllä.

Eri sopeutumistapojen välisiä eroja on tehtyjen laskelmien perusteella vaikea arvioida. On selvää, että proaktiivisella sopeutumisella voidaan metsätuhojen vaikutuksia pienentää. Koska laskelmissa metsätuhojen vaikutus jää reaktiivisenkin sopeutumisen tapauksessa melko maltillisiksi, ei myöskään proaktiivisesta metsänhoidosta saada sektoritasolla merkittävää lisähyötyä. On kuitenkin huomioitava, että tarkastelu kohdistuu kansantaloudellisten vaikutusten kannalta keskeiseen metsäteollisuustuotantoon. Yksittäisen metsänomistajan kannalta metsätuhoilla on suurempi merkitys, kun puustopääoma menettää tuhon sattuessa arvoaan. Lisäksi riskien kasvu alentaa metsästä saatavien puunmyyntitulojen odotusarvoa. Laskelmissa ei pystytty tätä arvioimaan, koska se olisi vaatinut merkittävästi pidemmän tarkastelujakson sekä tarkemman metsikkötason mallinnuksen tuhoihin liittyvistä raivaus- ja korjuukustannuksista. Koska proaktiivisesta metsänhoidosta ei välttämättä koidu yksittäiselle metsänomistajalle suuria kustannuksia, proaktiivinen sopeutuminen on järkevää yksittäisen metsänomistajan kannalta, erityisesti jos hän haluaa välttää tuhoriskejä.

Sopetumistapojen välinen ero jää pieneksi myös siksi, että FinFEP-mallissa metsänhoito on lähtökohtaisesti hyvin hoidettua ja noudattaa kansallisia suosituksia. Siksikin metsätuhojen vaikutukset jäävät suhteellisen maltillisiksi. Jos mallissa olisi mukana metsähoidon riskejä lisääviä trendejä, kuten kuusen kasvatusalan kasvattaminen, olisi metsätuhojen vaikutus laajempaa erityisesti tarkasteluhorisontin loppupuolella.

Metsäteollisuustoimialojen tuotoksen lisäksi metsätuhoilla on luonnollisesti muitakin vaikutuksia. Vaikutukset metsätalouteen ovat negatiivisia, mutta esimerkiksi puukauppatuloihin eivät kuitenkaan järin suuria. Suhteelliset muutokset jäivät muutamiin prosentteihin. Tässä on tärkeä huomata, että malli operoi viiden vuoden aikaperiodein, joten viiden vuoden välein tapahtuvat isot tuhoepisodit voisivat tuottaa vuositasolla merkittäviä markkinahinnan pudotuksia, jotka tasaantuvat mallissa pois viiden vuoden periodin sisälle. Tämä vähentää mallin havaitsemia metsätalouden kustannuksia. Toinen tärkeä metsätuhojen vaikutus kohdistuu puuston kehitykseen. RCP4.5-ilmastokehityksessä tuhojen laajuus on niin merkittävää, että ne vaikuttavat puuston tilavuuskehitykseen koko maan tasolla. Tämän vuoksi vuoteen 2070 mennessä Suomen puuston tilavuus on perusuraa yli 15 prosenttia matalammalla tasolla. Jos tarkasteluhorisontti olisi tätä pidempi, voisi tällä kehityksellä on merkittäviä vaikutuksia puun tarjontaan.

Kuten edellä todettiin, laskelman tulokset tulisi nähdä karkeina kuvauksina eri vaikutuskanavien mahdollisista keskinäisistä suuruusluokista. Yhtäältä FinFEP:in metsänhoito on lähtökohtaisesti hyvin sopeutunutta metsätuhoihin, koska metsänhoito noudattaa kansallisia suosituksia. Toisaalta mallinnuksessa ei huomioitu sopeutumista metsänhoitoa muuttamalla, kuten harvennusten ajoitusta ja toteutustapaa sääntämällä, eikä kiertoajan pituuden lyhentämistä. Tarkastelussa ei myöskään huomioitu sekapuuston suosimista sopeutumiskeinona. Tarkemman laskelman tekeminen vaatisi erillisen, monitieteellisen projektin, jossa koottaisiin paras ymmärrys metsätuhojen kehityksestä sekä metsanhoidon ja metsätuhojen välisistä vuorovaikutuskanavista. Tätä tietopohjaa tuottavat muun muassa käynnissä olevat Metkoka-, Foster- ja Sprucerisk-hankkeet.



## 5.4 Maatalous

### 5.4.1 Maataloustuotannon muutokset SSP1-RCP2.6-skenaariossa

Arvioitaessa maatalouden tuotannon, kokonaistuoton ja viljelijöiden tulojen kehitystä käytettiin tutkimusmenetelmänä DREMFA-sektorimallia, joka on kehitetty (Lehtonen 2001) ja viime vuosiin asti käytetty (Lehtonen & Niemi 2018, Lehtonen & Rankinen 2015) erityisesti markkina- ja maatalouspolitiikkamuutosten arviointiin. Sittemmin mallia on käytetty ja kehitetty myös pitkän aikavälin tuottavuuskehityksen arviointiin erilaisissa ilmasto- ja sosioekonomisissa skenaarioissa (Lehtonen 2015).

SSP1-skenaariossa muutokset ruokavalioissa oletetaan tapahtuvan jo vuoteen 2045 mennessä. Tämä tarkoittaa sitä, että maataloustuotanto vähenee kotieläintalouden ja rehukasvien tuotannon osalta ja lisääntyy niiden kasvituotteiden osalta, joiden kulutus kasvaa. Kokonaisuutena tämä tarkoittaa sitä, että viljelijöiden saama arvo tuottamista tuotteista vähenee ja arvonlisä siirtyy keskimäärin teollisuuteen ja mahdollisesti kauppaan päin. Viljelijät tuottavat elintarvikevalmistusta varten entistä enemmän melko vähän käsiteltyä raaka-ainetta, jota jalostava teollisuus puolestaan käsittelee merkittävästi enemmän kuin esimerkiksi lihaa tai maitoa, ennen kuin tuotteet ovat valmiita elintarvikkeita kuluttajalle. Esimerkiksi palkoviljojen, kuten herneen ja härkäpavun, prosessointi voi olla monivaiheista, ennen kuin elintarviketuote on valmiina kuluttajalle.

Kotieläintalous vähenee keskimäärin likimain 30 % vuosina 2020–2045, kuten myös liha- ja maitotuotteiden kulutus. Maidontuotanto ja siihen liittyvä naudanlihantuotanto oli tuotannon arvoltaan noin puolet Suomen maatalouden tuottajahintaisesta arvosta vuonna 2020. Tulosten mukaan etenkin maidontuotannolle on suuri merkitys sillä, onko sopeutuminen proaktiivista vai reaktiivista. Proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa maidontuotanto jää tasolle, joka on noin 75 % vuoden 2020 tuotannosta, vaikka kuluttajien ruokavaliossa maitotuotteiden kulutus vähenee 30 %. Sen sijaan reaktiivisen sopeutumisen skenaariossa maidontuotanto vähenee jopa 45 % vuoteen 2050 mennessä, koska rehuntuotannon tuottavuus ja samalla maidontuotannon kannattavuus heikkenevät.

Naudanlihantuotanto vähenee proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa 37 %, koska lypsylehmien keskituotos kasvaa ja lehmien lukumäärä vähenee nopeammin kuin maitotuotteiden kulutus. Jos sopeutuminen on SSP1-skenaariossa reaktiivista, nau-

danlihan tuotanto vähenee jopa 51 % vuoteen 2050 mennessä. Emolehmien lukumäärä vähenee likimain samalla tavalla (noin 70 000 eläimestä 45 000 eläimeen vuosina 2020–2050) sekä reaktiivisen että proaktiivisen sopeutumisen skenaarioissa, koska emolehmä tuotanto on lähtötilanteessa eli 2020 varsin tukiriippuvaista ja koska kotieläintuotannon tukia vähennetään SSP1-skenaariossa ja siirretään osin kasvintuotannon ja maatalouden luonnonhoidon tuiksi.

Sianlihan tuotanto vähenee proaktiivisen sopeutumisen SSP1-skenaariossa noin 48 % huolimatta viljojen satoisuuden kasvusta, minkä pitäisi alentaa tuotantokustannuksia. Reaktiivisen sopeutumisen tapauksessa sianlihan tuotanto vähenee kuitenkin jopa yli 50 %. Viljan satotason heikommalla kehityksellä ei näyttäisi olevan suurta merkitystä sianlihan tuotantoon, koska peltoalaa on runsaasti käytettävissä ja sitä on saatavissa sianlihan tuotannon käyttöön, jos sianlihan tuotanto muuten kattaa rehukustannukset, jotka riippuvat paljolti EU:n hintatasosta. 30 %:n vähennys sianlihan kulutuksessa johtaa siis tulosten mukaan selvästi suurempaan tuotannon vähenemiseen. Yksi selitys tälle on myös se, että osin samasta peltoalasta kilpaileva siipikarjanlihan tuotanto vähenee molemmissa SSP1-skenaarioissa vain noin 20 %, vaikka kulutus henkilöä kohden vähenee 30 %. Tämä tarkoittaa sitä, että siipikarjanlihan vienti lievästi kasvaa ja tuonti lievästi vähenee. Samalla siipikarjanlihan tuotanto pärjää hyvin kilpailussa peltoalasta sianlihan tuotannon kanssa päätuotantoalueillaan Lounais-Suomessa, osissa Pirkanmaata, ja Pohjanmaalla. Proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa siipikarjanlihan tuotanto on vain vähän, muutamia prosentteja, suurempi kuin reaktiivisen sopeutumisen skenaariossa. Näin ollen myöskään siipikarjanlihan tuotanto ei ole merkittävästi riippuvainen siitä, tapahtuuko satotasoissa pientä nousua vai pientä laskua, koska pääosa tuottavuuskasvusta ja arvonalisästä syntyy kotieläinrakennuksen sisällä tehokkaana työn ja pääoman käyttönä.

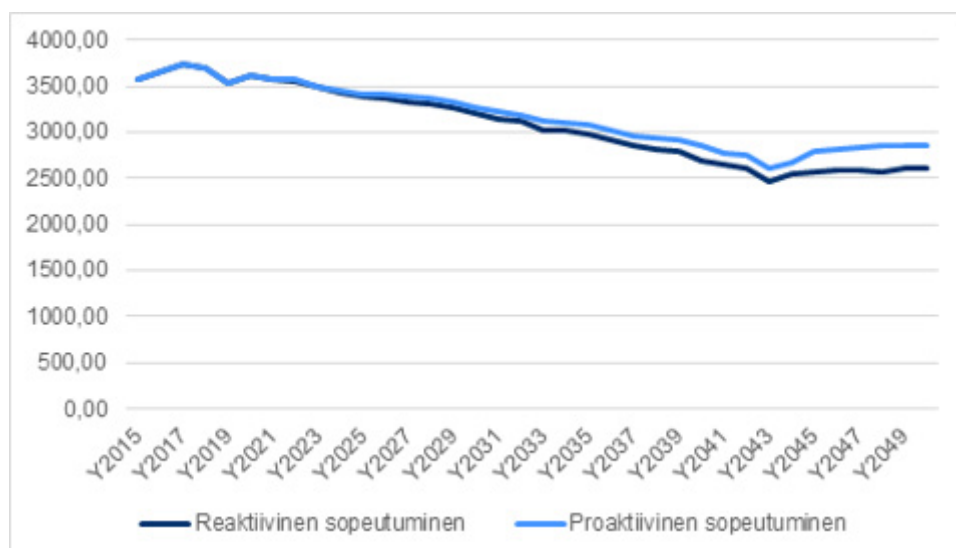
Maatalouden pinta-alatukia vähennetään SSP1-skenaariossa, koska maataloustuotantoon tarvitaan entistä vähemmän peltoalaa ja jäljelle jäävä pelto on keskimääräistä satoisampaa, erityisesti proaktiivisen sopeutumisen skenaariossa. Viljelty peltoala vähenee merkittävästi SSP1-skenaariossa, jos sopeutuminen on proaktiivista: vilja-ala vähenee 1,1 miljoonasta hehtaarista (2020) 0,83 miljoonaan hehtaariin (-28 %) ja nurmi-rehun tuotantoala 0,55 miljoonasta 0,34 miljoonaan hehtaariin. Yhteensä siis vähennystä on noin 0,5 miljoonaa hehtaaria. Osa tästä alasta käytetään palkoviljojen ja leipäviljan ja muiden elintarvikkeiksi menevien viljojen lisääntyvään tuotantoon. Tähän tarvittava lisäpinta-ala jää kuitenkin runsaan 0,1 miljoonan hehtaarin tasolle, jolloin kokonaisuutena pellon tarve vähenee noin 0,4 miljoonaa hehtaaria. Tämä ala voidaan käyttää erilaiseen ympäristökesannointiin ja luonnonhoitoon ja osa pelloista metsitetään.

Jos kuitenkin sopeutuminen on reaktiivista ja satotason alenevat 5 % vuosina 2020–2045, peltoa tarvitaan tuotantoon muutama prosentti enemmän kuin proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa, vaikka tuotantomäärät ovat pienemmät kuin proaktiivisen sopeutumisen skenaariossa.

Pinta-alalle maksettavat tuet vähenevät noin 20 % hehtaaria kohden, ja maidon kansalliset tuet noin 10 % SSP1-skenaariossa. Koska maatalouden markkinatuotot ja tuki- ja tukutuotot molemmat vähenevät, perusmaatalouden kokonaistuotto vähenee 26 % reaktiivisen sopeutumisen tapauksessa ja 19 % proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa SSP1-skenaariossa 2020–2050 (Kuva 5.7). Menetyksiä korvaavat vain osin elintarvikkeiksi käytettävien viljojen ja palkoviljojen lisääntynyt tuotanto.

Viljelijöiden saama maataloustulo vähenee SSP1-skenaariossa noin 37 %, jos sopeutuminen on reaktiivista, ja noin 11 % vuosina 2020–2050 jos sopeutuminen on proaktiivista. Erilaisten sopeutumisten välinen ero, joka kasvaa vähitellen vuosien yli, muodostuu vuositasolla noin 180 miljoonan euron suuruiseksi vuoteen 2050 mennessä. Eron muodostaa satoisuuseron aiheuttama tuottavuusero ja myös suurempi tuotantomäärä proaktiivisen sopeutumisen skenaariossa, etenkin maidontuotannon osalta.

**Kuva 5.7** Perusmaatalouden kokonaistuotto SSP1-RCP2.6-skenaariossa

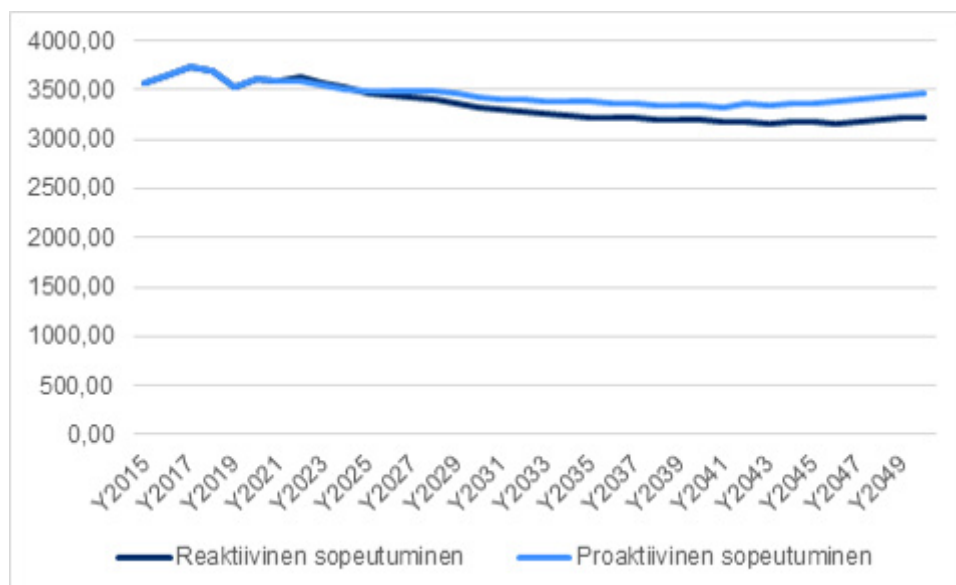


## 5.4.2 Maataloustuotannon muutokset SSP3-RCP4.5-skenaariossa

SSP3-skenaariossa, jossa ei tapahdu muutoksia ruokavalioiden ja vain pienin osin maataloustuotannossa, maatalouden kokonaistuotto vähenee vain muutaman prosentin, jos sopeutuminen on proaktiivista, ja noin 10 %, jos sopeutuminen on reaktiivista (Kuva 5.8). Kokonaistuottoa vähentää naudanlihan tuotannon väheneminen yli 20 prosentilla reaktiivisen sopeutumisen tapauksessa ja noin 12 prosentilla proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa.

Kuten SSP1-skenaariossa, merkittävä ero satokehityksen ajamana syntyy myös SSP3-skenaariossa maidontuotannossa: proaktiivisessa SSP3-skenaariossa maidontuotanto kasvaa 14 % mutta vähenee reaktiivisessa SSP3-skenaariossa lähes 14 % vuosina 2020–2050. Jos siis kotimainen kysyntä maitotuotteille pysyisi ennallaan, onnistunut sopeutuminen ilmastonmuutokseen voisi lisätä maidontuotantoa jopa merkittävästi, koska maidontuotannossa maatilalla tuotettujen rehujen, erityisesti nurmirehujen, tuotantokustannuksilla ja tuottavuudella on maatalouden taloudelle ja investointien kannattavuudelle suuri merkitys. Tämä merkitys ei näyttäisi olevan yhtä suuri sian- ja siipikarjanlihan tuotannossa.

**Kuva 5.8** Perusmaatalouden kokonaistuotto SSP3-RCP4.5-skenaariossa



Proaktiivisen sopeutumisen SSP3-skenaariossa sekä sian- että siipikarjanlihan tuotanto ovat vain muutamia prosentteja korkeammat kuin reaktiivisen sopeutumisen

skenaarioissa. Tämä selittyy sillä, että Suomen peltoala riittää hyvin jo lähtötilanteessa vuoden 2020 tasoisen kotimaisen kysynnän suuruisen tuotannon tuottamiseen. Tällöin edes 5 %:n satotason väheneminen ei vähennä sian- ja siipikarjanlihan tuotantoa kuin muutaman prosentin, koska pellolle on vähän kilpailevaa käyttöä SSP3-skenaariossa. Viljelty peltoala kuitenkin lievästi vähenee SSP3-skenaariossa, etenkin jos satotasot nousevat proaktiivisen ja onnistuneen sopeutumisen ansiosta. Koska maataloustuet muuttuvat vain vähän SSP3-skenaariossa, peltoala pysyy maatalouskäytössä, ellei tuotantokäytössä niin kesannolla. SSP3-skenaariossa palkoviljojen ja öljykasvien tuotanto kasvaa vähän, koska niiden hintojen oletettiin nousevan 30 % ja 20 % vuoteen 2045 mennessä. Tämä johtuu kansainvälisen maatalouskaupan vähenemisestä SSP3-skenaariossa.

Maataloustulolle on suuri merkitys sopeutumisen onnistumisella SSP3-skenaariossa, jossa energiakustannukset ja muut kustannukset nousevat ja vähentävät maataloustuloa molemmissa skenaarioissa. Proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa maataloustulo vähenee vain noin 4 % vuoteen 2050 mennessä, mutta reaktiivisen sopeutumisen tapauksessa viljelijöiden saama maataloustulo vähenee 43 % vuosina 2020–2050. Vuotta kohden ero maataloustulossa skenaarioiden välillä kasvaa vähitellen 280 miljoonan euron tasolle vuoteen 2050 mennessä.

## 5.5 Yhteenveto sektorien skenaarionpohjaisista kustannusvaikutuksista

Taulukko 5.1 esittää valittujen sektoreiden keskimääräiset kustannusvaikutukset tiivistettynä alalukujen 5.1–5.4 tietojen pohjalta. Nämä tiedot toimivat syöttönä kansantaloudellisen mallin (RegFinDyn) laskelmissa. Tulvien ja sähkökatkosten osalta reaktiivisen sopeutumisen alla raportoidut luvut edustavat kustannusvaikutuksia tilanteessa, jossa tähänastisten investointien jälkeen sopeutumisponnistukset päättyvät. Käytännössä on odotettavissa, että valtaosa laskelmissa toteuttamatta jääneistä toimenpiteistä toteutetaan. Seurauksena ilmiöiden aiheuttamat kustannukset pienenevät, mahdollisesti nykyistä tasoa matalammalle tasolle. Yleisesti sähkön tuottajien tulokselle nettovaikutus lienee pieni, koska kuluttajat rahoittavat lopulta kaikki investoinnit. Häiriöalttiiden alueiden sähkökuluttajat saavat mahdollisesti nettohyötyä.

Koska ennakoiva sopeutuminen parantaa tuottavuutta ja tuotantoa maataloudessa, kustannusmuutokset eivät ole samansuuntaisia kuin metsätaloudessa. Ennakoiva sopeutuminen voi aluksi nostaa sopeutumiseen liittyviä kustannuksia ja vähentää ilmas-

tonmuutoksen haittoja ja kustannuksia maataloudessa, ja näiden kustannusten keskinäinen suhde on epävarma. Pitemmän päälle ennakoiva sopeutuminen johtaa tuotannon kasvuun suhteessa reaktiiviseen sopeutumiseen, jolloin kokonaiskustannukset ovat tulosten mukaan suurempia kuin reaktiivisessa sopeutumisessa 2040 jälkeen suuremmasta tuotannon tasosta johtuen. Eli tulot nousevat 2040 jälkeen enemmän kuin kustannukset. Reaktiivisen sopeutumisen tapauksessa maataloustulo jää SSP1-RCP2.6 skenaariossa tulosten mukaan noin 180 milj.€ ja SSP3-RCP4.5 skenaariossa noin 290 milj. € pienemmäksi kuin proaktiivisen sopeutumisen tapauksessa. Tuloksien epävarmuudet ovat isoja.

**Taulukko 5.1** Ilmastonmuutoksen skenaariopohjaiset kustannusvaikutukset valituille sektoreille sopeutumistavan mukaan (miljoonaa €, jaksojen vuosittaiset keskiarvot) + tarkoittaa lisää kustannusta, - taas vähemmän kustannusta. Metsäsektorin luvut kuvaavat metsäteollisuustoimialojen tuotoksen arvon muutosta.

	SSP1-RCP2.6				SSP3-RCP4.5			
	2020-2040		2041-2070		2020-2040		2041-2070	
	E	R	E	R	E	R	E	R
<i>rakennettu ympäristö - tulvat</i>	↓	+1	↓	+6	↓	-1	↓	+16
<i>sähkö katkokset</i>		+3		+9		+5		+20
<i>metsäsektori</i>	100	150	450	600	100	150	550	800
<i>maatalous*</i>	0	kasvaa	+45	kasvaa	-20	kasvaa	+30	kasvaa

E: ennakoiva sopeutuminen; R: reaktiivinen sopeutuminen

\*) Maatalouden tuotanto muuttuu myös muista syistä, usein hillintäpolitiikasta johtuen. Eri sopeutumistavat vaikuttavat myös eri tavalle tuloihin. Taulukossa näytetään vain kustannusten muutokset.

## 6 Suomen makrotaloudelliset vaikutukset

Ilmastonmuutoksen kokonaistaloudellisten vaikutusten arviointi toteutettiin kahdelle eri talous- ja ilmastoskenaariolle (SSP1-RCP2.6 ja SSP3-RCP4.5) kahdella eri sopeutusvaihtoehdolla (reaktiivinen ja proaktiivinen) sekä kahdelle eri ajanjaksolle (2020–2040 ja 2041–2070) huomioiden myös kerrannaisvaikutukset. Sekä kansallisen että maakuntatason tulokset kuvaavat ennen kaikkea vaikutusten suuruusluokkia, ei niinkään tarkkoja vaikuttavuuksia. Ilmastonmuutoksen taloudellisten vaikutusten arvioimiseen liittyy selviä epävarmuuksia johtuen muun muassa saatavilla olevien lähtötietojen vähyydestä sekä vaikeasti ennakoitavan pitkän aikavälin talouskehityksen oletuksista. Lisäksi kaikkia ilmastonmuutoksen aiheuttamia vaikutuksia ei tässä tarkastelussa ollut mahdollista huomioida (ks. luku 6.3), mutta keskeisimmät osa-alueet ovat mukana laskelmissa.

### 6.1 Vaikutukset kansallisella tasolla

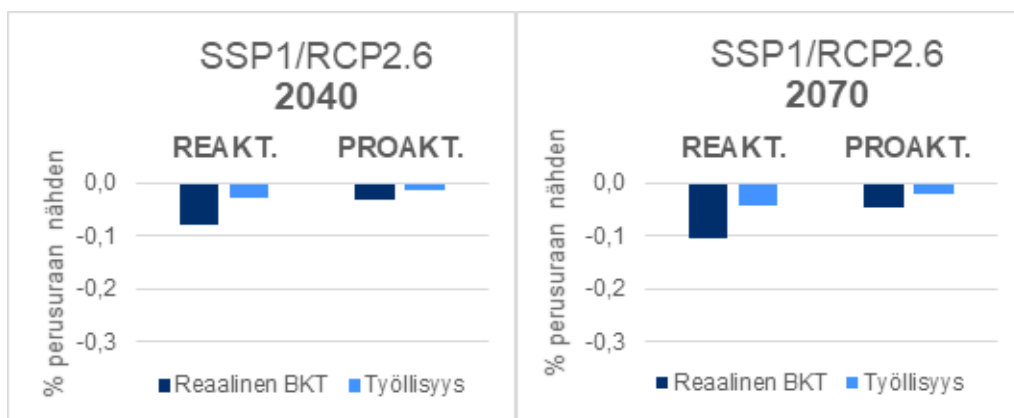
Kokonaistaloudellisen tarkastelun tulosten perusteella ilmastonmuutoksella on negatiivinen vaikutus Suomen talouteen ja työllisyyteen, kun huomioidaan suorien vaikutusten lisäksi myös kerrannaisvaikutukset. Ilmastonmuutos vaikuttaa muun muassa tuotantomahdollisuuksiin, tuottavuuteen ja investointitarpeisiin, joiden kautta esimerkiksi kansallinen BKT, työllisyys, yksityinen kulutus ja vienti heikkenevät perusuraan nähden. Edellisessä luvussa esitetyistä toimialoittaisista vaikutuksista esimerkiksi maatalouden ja metsäsektorin tuotantomahdollisuuksien heikkenemisen myötä maamme taloudellinen toiminta supistuu kyseisten toimialojen lisäksi myös niiden arvoketjuissa, mikä vaikuttaa edelleen muun muassa työllisyyteen sekä vientimahdollisuuksiin. Työtulojen muutokset puolestaan vaikuttavat kulutukseen, minkä kautta vaikutukset heijastuvat laajasti useille eri toimialoille.

Suurimmat toimialoittaiset menetykset kohdistuisivat muun muassa metsäsektoriin ja reaktiivisen sopeutumisen tilanteissa myös maatalouteen, mutta moni muukin toimiala (kuten rakentaminen ja kaupan ala) kärsisi joko suoraan tai välillisesti ilmastonmuutoksesta. Toisaalta etenkin pidemmällä aikavälillä esimerkiksi osalla teollisuuden aloista sekä palvelualoista kehitys olisi kasvusuuntaista talouden sopeutuessa vähitän tapahtuviin muutoksiin. Tämä on yksi syy siihen, miksi ilmastonmuutoksen vaikutukset eivät ole merkittävästi suuremmat vuonna 2070 kuin 2040, etenkin SSP1-RCP2.6-skenaariossa (ks. kuva 6.1), vaikka ilmastonmuutoksen vaikutusten olettaankin voimistuvan tarkasteluajanjakson loppua kohden.

Tarkasteluvuosien välisten vaikutuserojen lisäksi ilmastonmuutoksen aiheuttamat kokonaistaloudelliset vaikutukset olisivat erilaisia reaktiivisen ja proaktiivisen sopeutumisen tilanteissa. Proaktiivisen sopeutumisen tilanteissa ilmastonmuutoksen negatiiviset talous- ja työllisyysvaikutukset olisivat reaktiivisiin sopeutumisiin nähden vähintään puolta pienemmät etukäteen tehtyjen varautumistoimien vuoksi. Näin ollen proaktiivinen sopeutuminen tarkoittaisi kumulatiivisesti koko 50 vuoden tarkastelujakson aikana yhteensä noin 5–8 miljardia euroa (nykyarvo 2 %:n diskonttokorolla) pienempiä menetyksiä kansantalouteen reaktiivisiin sopeutumisiin verrattuna.

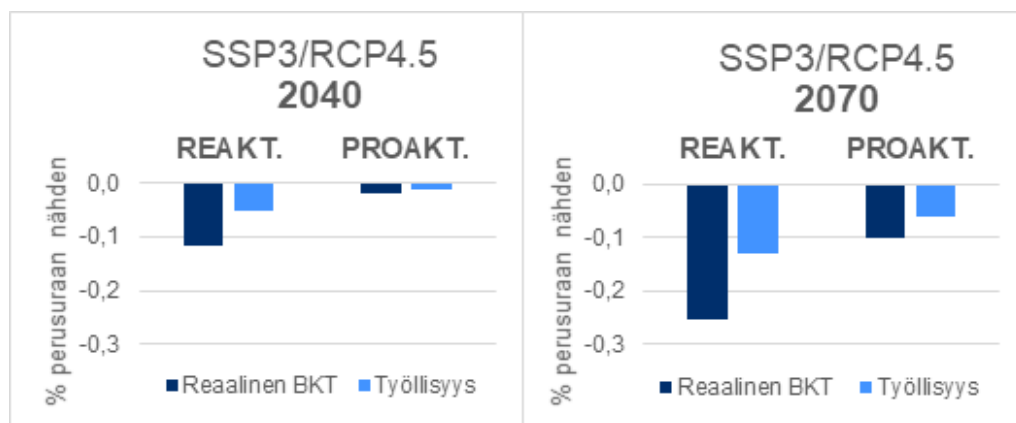
Lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutukset vuosien 2040 ja 2070 tilanteissa olisivat arvion mukaan erilaisia eri talous- ja ilmastoskenaarioissa (vrt. kuvat 6.1 ja 6.2). Tulosten perusteella ilmastonmuutoksen negatiiviset vaikutukset olisivat pienemmät SSP1-RCP2.6-skenaariossa kuin SSP3-RCP4.5-skenaariossa, erityisesti reaktiivisen sopeutumisen tilanteessa. Tämä korostuu etenkin pidemmällä aikavälillä, sillä vuonna 2070 talous- ja työllisyysmenetykset suhteessa perusuraan olisivat jo selkeästi suuremmat SSP3-RCP4.5-skenaariossa kuin SSP1-RCP2.6-skenaariossa. Tämä johtuu muun muassa siitä, että arvioidut suorat vaikutukset eroavat skenaarioiden välillä (ks. luku 5), mikä heijastuu myös laajemmin talouteen. SSP3-RCP4.5-skenaariossa ilmastonmuutoksen suorien vaikutusten arvioidaan olevan suurempia kuin SSP1-RCP2.6-skenaariossa, mutta SSP1-RCP2.6-skenaariossa voimakkaampi talouskasvu vaikuttaa myös arvioituihin taloudellisiin menetyksiin. Suoriin vaikutuksiin vaikuttaa myös oletetut toimialojen rakennemuutokset, etenkin maataloudessa.

**Kuva 6.1** Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen talouteen ja työllisyyteen SSP1-RCP2.6-skenaariossa vuosien 2040 ja 2070 tilanteissa. Tiedot: RegFinDyn-laskelmat.





**Kuva 6.2** Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen talouteen ja työllisyyteen SSP3-RCP4.5-skenaariossa vuosien 2040 ja 2070 tilanteissa. Tiedot: RegFinDyn-laskelmat.



Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että ilmastonmuutoksesta johtuvilla hitaasti tapahtuvilla muutoksilla muun muassa tuotantomahdollisuuksien osalta on suurempi merkitys kansantalouteen kuin äkillisillä, harvoin tapahtuvilla muutoksilla. Esimerkiksi kerran sadassa vuodessa tapahtuvat ääri-ilmiöt, kuten suuremmat vesistö- ja merirannikotulvat, vaikuttavat talouteen ja työllisyyteen etenkin tapahtumavuosina, mutta vaikutus ei näy kovin vahvasti enää seuraavina vuosina. Tulvat nostavat erityisesti tapahtumavuosina kotitalouksien ja jonkin verran myös yritysten kustannuksia mutta samalla lisäävät korjausrakentamista eli ovat eduksi rakentamisen toimialalle. Kansallisella tasolla tarkasteltuna tällaisten tulvien vaikutus jää melko pieneksi ja lyhytaikaiseksi. Lisäksi tarkastelu viittaa siihen, että suurin osa ilmastonmuutoksen suorista vaikutuksista kohdistuisi yksityiseen sektoriin mutta vaikuttaisi myös julkiseen sektoriin. Esimerkiksi tuotannon ja työllisyyden alenemisen kautta myös verotulot vähenevät. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia julkiseen sektoriin tutkitaan tarkemmin VN TEAS -hankkeessa ”Ilmastonmuutoksen kokonaistaloudelliset vaikutukset julkiseen talouteen”.

## 6.2 Vaikutukset maakuntatasolla

Ilmastonmuutos vaikuttaa joka puolelle Suomea mutta hieman eri tavoin, jolloin myös taloudelliset vaikutukset eroavat alueiden välillä. Maakunnittainen tarkastelu antaa suuntaa alueiden välisistä eroista, mutta esimerkiksi valitut tarkasteluvuodet vaikuttavat hieman vaikutusten suuruusluokkiin. Suurempi merkitys vaikutusten suuruusluokkaan on kuitenkin esimerkiksi alueiden toimialarakenteilla. Muun muassa vahvat metsäsektorialueet voivat kärsiä ilmastonmuutoksesta muita voimakkaammin. Toisaalta monipuolinen toimialarakenne auttaa aluetta sopeutumaan ilmastonmuutoksesta aiheutuneisiin menetyksiin. Äkilliset ääri-ilmiöt, kuten tulvat, vaikuttavat tulva-alueiden

talouteen ja työllisyyteen erityisesti tapahtumavuosina, mutta vaikutus jää melko pieneksi pidemmällä aikavälillä.

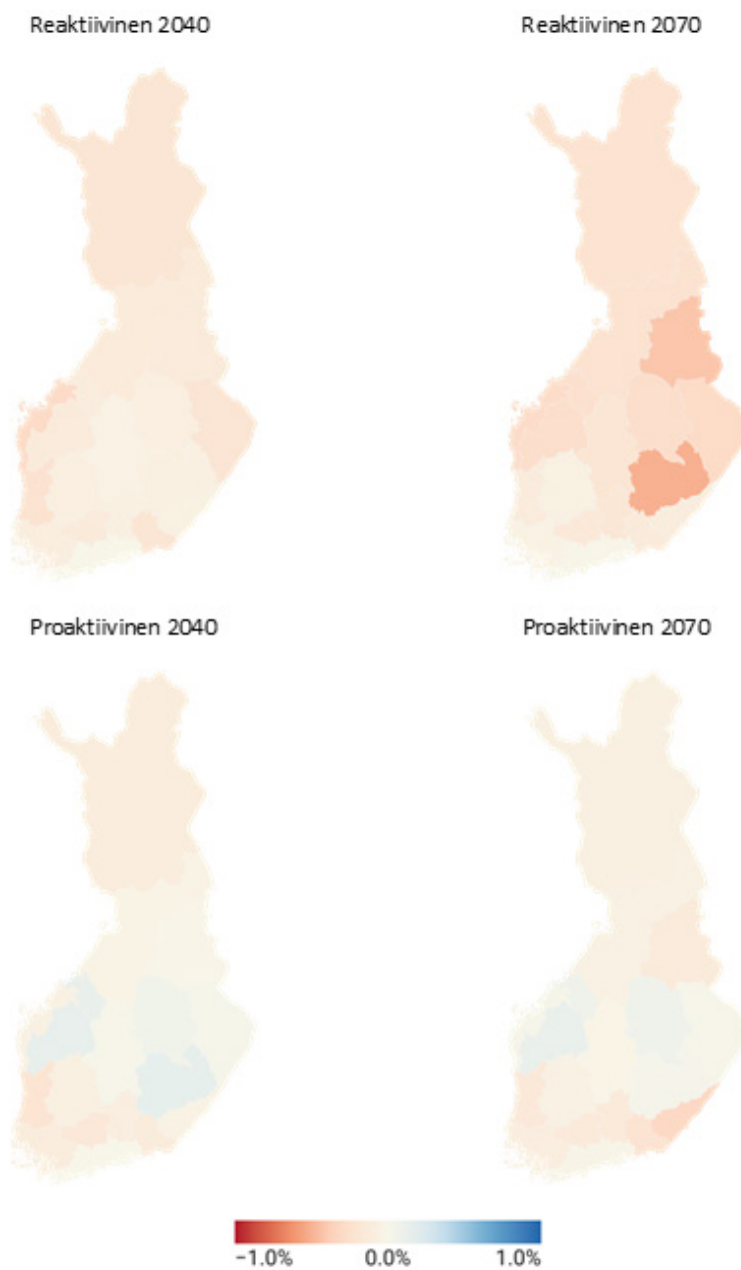
Kansallisen tason tavoin myös maakuntatasolla vaikutukset vaihtelevat hieman vuosien 2040 ja 2070 välillä mutta myös reaktiivisen ja proaktiivisen tilanteen välillä sekä SSP1-RCP2.6 ja SSP3-RCP4.5-skenaarioiden välillä (ks. kuvat 6.3 ja 6.4). Yleisesti ottaen reaktiivisista skenaarioista aiheutuisi pääsääntöisesti proaktiivisia skenaarioita suurempia menetyksiä alueiden talouteen. Ajallisesti tarkasteltuna vaikutukset olisivat pääosin negatiivisempia vuoden 2070 tilanteessa kuin 2040.

SSP1-RCP2.6-skenaariossa maakuntien välillä on eroja siinä, kuinka ilmastonmuutos vaikuttaisi alueen talouteen, mutta erot eivät olisi kovin suuria. Reaktiivisessa skenaariossa ilmastonmuutoksen vaikutus olisi negatiivinen kaikkien maakuntien talouteen, mutta proaktiivisen sopeutumisen tilanteessa osa maakunnista voisi hieman myös hyötyä ilmastonmuutoksesta. Esimerkiksi Etelä-Pohjanmaa, missä metsäsektorin (etenkin paperi- ja puuteollisuuden) rooli aluetaloudessa on melko pieni ja maatalouden suuri, proaktiivisessa skenaariossa pohjanmaan alueen maatalouteen oletettu positiivinen vaikutus muun muassa satoisuuskehityksen kautta (ks. luvut 4.4.4 ja 5.4) johtaa vaikutuksissa hieman positiiviseen kokonaistaloudelliseen vaikutukseen suhteessa perusuraan.

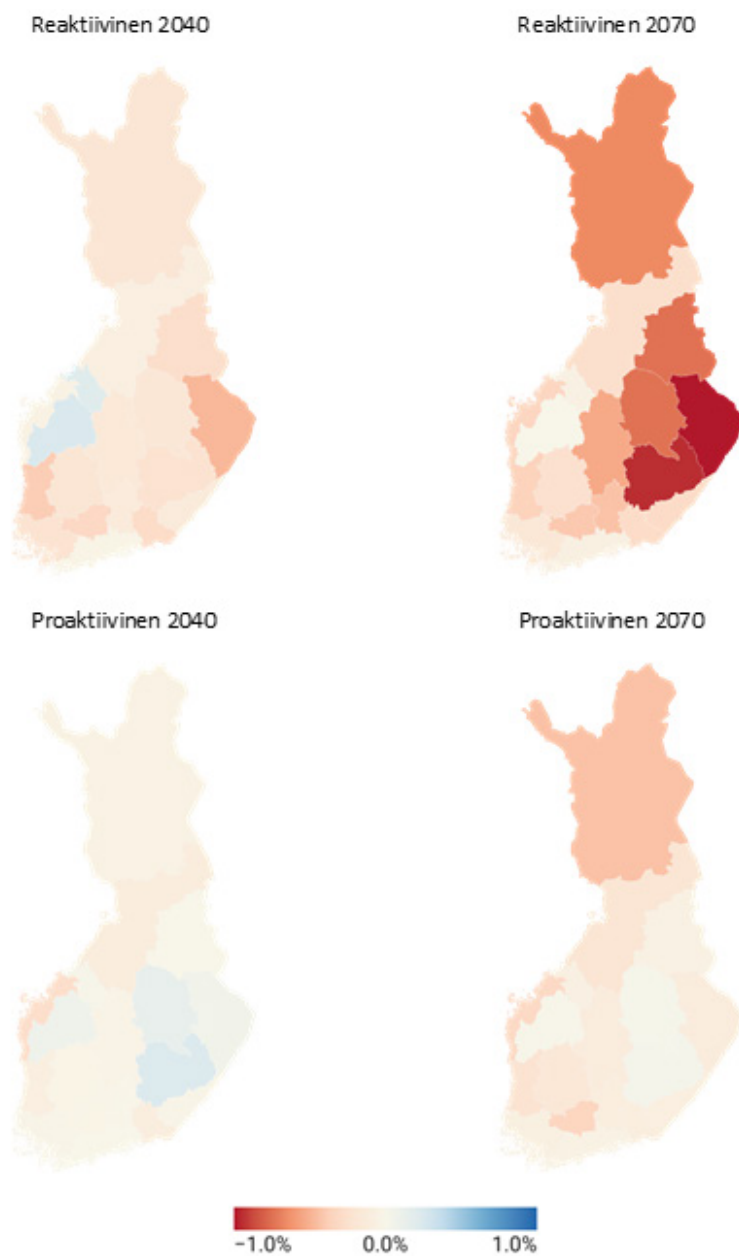
SSP3-RCP4.5-skenaariossa maakuntien väliset erot olisivat selvästi suurempia SSP1-RCP2.6-skenaariota verrattuna. Vuonna 2040 ilmastonmuutos vaikuttaisi suurimpaan osaan maakunnista negatiivisesti, mutta osa myös hyötyisi, etenkin proaktiivisen sopeutumisen tilanteessa. Vuonna 2070 reaktiivisessa skenaariossa yksittäisiin maakuntiin kohdistuisi suurimmat taloudelliset menetykset, jolloin puhutaan noin prosentin menetyksestä alueen BKT:ssä.

Maakuntakohtaisten tulosten osalta on syytä huomioida arvioihin liittyvät useat epävarmuustekijät. Näiden maakuntakohtaisten tulosten tarkoituksena on ennen kaikkea tuoda esiin sen, että ilmastonmuutoksen talousvaikutukset kohdistuvat eri puolille maata eri tavalla. Lisäksi osa ilmiöistä, kuten vesistö- ja meritulvat kohdistuvat vain joillekin alueille. Kaiken kaikkiaan tulokset antavat suuntaa sille, minne päin maamme vaikutukset kohdistuisivat selkeimmin eri skenaarioissa. Tarkempien alueellisten vaikutusten arvioiminen edellyttää laajempaa lisätutkimusta niin suorista kuin kokonaistaloudellisista vaikutuksista.

**Kuva 6.3** Alueelliset BKT-vaikutukset SSP-RCP2.6-skenaarioissa. Tiedot: RegFinDyn-laskelmat.



**Kuva 6.4** Alueelliset BKT-vaikutukset SSP3-RCP4.5-skenaarioissa. Tiedot: RegFinDyn-laskelmat.



## 6.3 Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Kokonaisuudessaan luvussa 6.1 esitetyt SSP1-RCP2.6-skenaarion kansalliset tulokset ovat samansuuntaisia aikaisempien ilmastomuutoksen vaikutustutkimusten tulosten kanssa (ks. taulukko 6.1), vaikka tarkastelut ovat jonkin verran poikenneet tässä raportissa esitetyistä muun muassa huomioitujen osa-alueiden suhteen. Esimerkiksi myös Bosellon ym. (2020) tulosten mukaan ilmastomuutoksen kokonaisvaikutus Suomeen jää SSP1-RCP2.6-skenaariossa lähelle nollaa prosenttia BKT:sta vuoden 2070 tilanteessa (medium impact case), kun tarkastellaan eri osa-alueiden yhteisvaikutusta. Vaikka Bosellon ym. (2020) tarkastelun yhteisvaikutuksissa on huomioitu laajemmin eri osa-alueet (maatalous, metsätalous, kalatalous, merenpinnan nousu, jokitulvat, liikenne, energiasektori sekä työn tuottavuus), ovat tässä raportissa esiin tuodut vaikutusarviot hyvin samaa suuruusluokkaa.

Vastaavasti SSP3-RCP4.5-skenaarion vaikuttavuusarviot vastaavat esimerkiksi Aaheimin ym. (2015) arvioita siitä, että ilmastomuutoksen vaikutus pohjoismaiden BKT:hen RCP4.5-skenaariossa on pääsääntöisesti nollan ja miinus yhden prosentin välillä vuoden 2050 jälkeen. Toisaalta täytyy huomioida, että Aaheimin ym. (2015) tarkasteluissa RCP4.5-skenaarion taustalle valittiin eri SSP kuin tämän raportin tarkasteluissa.

**Taulukko 6.1** Kansanvälisten skenaariotarkastelujen bruttokansantuotteen muutosarvioinnit Suomelle tai Pohjoismaille.

Lähde/Tutkimus	Tarkastelukohteet	BKT: erotus perusurasta
Aaheim ym. 2015 (FP7 ToPDaD)  alue: Pohjoismaat	maa-, metsä- ja kalatalous, energiasektori, merenpinnan ko- hoaminen, matkailu, terveys, ääri-ilmiöt	vuoden 2050 jälkeen:  SSP4-RCP4.5: 0 .. -1 %  SSP5-RCP8.5: -3 .. -5 %
Ciscar ym. 2018 (PESETA III)  alue: Pohjoismaat	maatalous, energiasektori, työn tuottavuus, terveys, tulvat	vuosina 2025–2055: GWL 2 °C: ~ 0 %  vuosina 2071–2100: GWL >3 °C (RCP8.5): ~ -0.5 %

Lähde/Tutkimus	Tarkastelukohteet	BKT: erotus perusurasta
Bosello ym. 2020 (H2020 COACCH)  alue: Suomi	maa-, metsä- ja kalatalous, merenpinnan kohoaminen, tulvat, liikenne, energiasektori, työn tuottavuus	vuonna 2050 (medium impact case): SSP1-RCP2.6: ~ -1..-2 % SSP5-RCP8.5: ~ -1..-2 %  vuonna 2070 (medium impact case): SSP1-RCP2.6: ~ 0 % SSP5-RCP8.5: ~ -4 %

Lisäksi tulokset ovat samansuuntaiset Gregowin ym. (2021) tulosten kanssa siitä, että ilmastonmuutoksesta aiheutuvat trendinomaiset muutokset aiheuttavat suuremmat taloudelliset kustannukset kuin äkilliset luonnon ääri-ilmiöt, kuten kerran sadassa vuodessa tapahtuvat tulvat. Esimerkiksi juuri maatalous ja metsäsektori ovat toimialoja, joihin ilmastonmuutoksen trendinomaisen kehityksen vaikutukset kohdistuvat. Äkillisistä luonnon ääri-ilmiöistä muun muassa harvoin tapahtuvien tulvien taloudellinen vaikutus voi olla huomattava tulva-alueella tapahtumavuotena, mutta pidemmällä aikavälillä vaikutukset jäänevät melko vähäisiksi, kuten Virran ym. (2011) tuloksissa tuli myös esiin.

Maakuntatasolla puolestaan ei ole aikaisemmin juuri tehty vastaavia ilmastonmuutoksen kokonaistaloudellisten vaikutusten arvioita, joihin tuloksia voisi verrata. Yksi syy tähän on alueellisten tietojen vähäisyys. Tässä raportissa esitetyt ilmastonmuutoksen alueelliset kokonaistaloudelliset vaikutusarviot ovat siis ensimmäisiä laatuaan saatavilla olevien tietojen puitteissa toteutettuna.

## 6.4 Tarkastelun ulkopuolelle jääneet vaikutukset

Luvuissa 6.1 ja 6.2 kuvatut kokonaistaloudellisen mallinnuksen tulokset kattavat useita ilmastonmuutoksen Suomessa käynnistämiä vaikutusketjuja, jotka heijastuvat laajemminkin talouteen (ks. luku 4.5). Tarkastelun ulkopuolelle jäi kuitenkin muutoksia, joiden välitöntä vaikutusta ei ole voitu määrittää riittävän tarkasti, eikä mallinnukseen ollut siten tarjolla tarvittavia taustatietoja. Tällaiset muutokset voivat olla merkittäviä, erityisesti alueellisesti.

**Matkailusektorin** kohtaamat taloudelliset vaikutukset kohdistuvat etenkin talvimatkailuun, joka voi kärsiä muun muassa lumirajan siirtymisestä pohjoisemmaksi ja lumisen ajan lyhentymisestä. Muutkin muutokset voivat heikentää matkailutarjonnan mahdollisuuksia tai kasvattaa toiminnan kustannuksia. Muutoksissa on alueellista vaihtelua, ja etenkin Etelä-Suomeen ja (viiveellä) Keski-Suomeen odotetaan kohdistuvan matkailua supistavia muutoksia. Toisaalta on mahdollista, että näiltä alueilta poistuva matkailukysyntä siirtyy muille Suomen alueille. Falck ja Vieru (2019) ovat löytäneet indikaattorit viitteitä sellaisesta spatiaalisesta substituutiosta. Tällöin kansallisella tasolla muutos ei välttämättä ole merkittävä, mutta paikallisesti tai alueellisesti sillä voi olla huomattava vaikutus. Vastaavasti muutokset voivat olla haitallisia matkakohteen yksittäisille yrityksille haitta, mutta toisille myyntiä kasvattava tekijä. Matkailusektorin talousvaikutukset voidaankin nähdä matkailukysynnän uudelleenkohdistumisena alueiden ja sektorin kattamien toimijoiden kesken.

Perrels ym. (2015) ja Damm ym. (2017) ovat arvioineet, miten talvimatkailutulot voivat kehittyä kahdessatoista EU-maassa. Perusrassassa talvilomakauden yöpyömisvolyymi kasvaa kaikissa maissa. Jos huomioidaan ilmastonmuutoksen vaikutukset rinteiden kestoon, kysyntä yleensä laskee, mutta toisella alueella enemmän kuin toisella ilmastoherkkyserojen, ostovoiman kasvun erojen ja kansainvälisten kävijöiden loma-kohteenvaihdon takia. Kuluttaja voi pitää kiinni alkuperäisestä matkailutyypistä ja sopeutua ajallisesti tai spatiaalisesti. Toisaalta kuluttaja voi sopeutua etsimällä toisenlaisia ulkoilumahdollisuuksia. Kaiken kaikkiaan tämä tarkoittaa Suomen laskettelukeskuksille, että palvelutarjonnan monipuolistaminen on tärkeää keskuksen pärjäämiselle muuttuvassa ilmastossa.

Yleensä matkailun näkökulmasta Pohjoismaiden kilpailuasema on parantumassa, koska matkailun kannalta näillä alueilla ilmasto paranee tai ainakin huononee vähemmän kuin Etelä-Euroopassa (Hamilton ym. 2005; Aaheim ym. 2015) Yhä usemmat kansalaiset siis pitävät lomansa kotimaassa, ja toisaalta Suomeen ja muihin Pohjoismaihin tulee enemmän matkailijoita muista maista. Nämä Suomelle myönteiset muutokset ovat Aaheim ym. mukaan hyvin maltillisia. Kun matkailun osuus BKT:sta on melko pieni (2,7 % vuonna 2018) ja todennäköisesti muutokset Suomessa jäävät kaiken kaikkiaan hyvin maltillisiksi, on odottavissa, että vaikutukset kansantaloudelle jäävät aika pieniksi. Myös ilmastonmuutoksen hillintäpolitiikka vaikuttaa matkailun kilpailuasemaan.

**Vesihuolto** on infrastruktuurikohde, johon on tehtävä lisäinvestointeja ilmastonmuutoksen myötä. Esimerkiksi lisääntyvä sateisuus ja tulvat kasvattavat puhdistus-, desinfiointi- ja hulevesijärjestelmien kustannuksia, ja kuivuus voi edellyttää uusien raakavesilähteiden käyttöönottoa (ks. esimerkiksi Meriläinen ym., 2019). Korjaus- ja uudistusvelka, kaupunkien kasvu, EU:n jäte- ja juomavesidirektiivien toimeenpano ohjaavat

vesihuollon investointitarvetta. Nämä investoinnit yleensä ratkaisevat myös ilmastonmuutoksen aiheuttamat huolet vesihuollossa. Tämän synergian takia ei ole saatavissa täsmällistä tietoa erityisesti ilmastonmuutoksesta aiheutuvista (lisä)kustannuksista. Lisäinvestointitarpeen on arvioitu olevan vuosittain 10–20 miljoonan euron tasolla, kun taas koko vuosittaisen investointitarpeen on arvioitu olevan 777 miljoonaa vuodessa vuoteen 2040 asti (Vesilaitosyhdistys 2020; Kuulas 2020). Näyttää siltä, että valtaosa näistä investoinnista toteutetaan joka tapauksessa eli nämä investoinnit kuuluvat mahdollisesti osittain tai kokonaan perusuraan. Investointitaso on myös ihan täysin sama ilmastoskenaariosta riippumatta, ja tietoa sen alueellisesta jakaumasta ei ole saatavillassa. Näistä syistä näitä (lisä)lisäinvestointeja eivät ole otettu huomioon Reg-FinDyn-mallinnoissa.

**Tieliikenneinfrastruktuuri ja tieliikenne** altistuvat erilaisille ilmastonmuutoksen myötä voimistuville riskeille, joiden kohteina ovat pääasiassa:

- perustienpito
  - operatiivinen hoito (mm. talvihoidon aeraus ja suolaus, pienet pintakorjaukset)
  - muu perustienpito (mm. päällystykset, siltakorjaukset)
- kolarit
- liikenteen häiriöt (keskinopeus laskee)

Luvussa 3.2.1 selitettiin, että valtion tiestön aeraus- ja suolauskustannukset vaihtelevat hyvin vähän vuodesta toiseen. Toisaalta vuosittaiset kunnossapitokustannukset vaihtelevat merkittävästi (kuva 3.2), mutta vaihtelu johtuu muista syistä. Ilmastonmuutos voi aiheuttaa lisää kustannuksia tiestön kunnossapitoon, mutta toistaiseksi näyttää siltä, että kyseessä oleva summa lienee suhteellinen pieni ja sitä on vaikea identifioida.

Sekä Traficom (Traficom websivusto) että Onnettomuustietoinstituutti (OTI; Liikennevahinkotilasto 2020) mukaan kolarit, joiden seurauksena ihmiset haavoittuivat tai kuolevat, ovat vähentyneet jo monta vuotta. Perrels ym.(2015) on tutkinut tieonnettomuuksien herkkyyttä sääolosuhteisiin. RCP2.6- ja RCP4.5-skenaarioiden mukaan sadanta kasvaa jonkin verran Suomessa (Ruosteenoja ym. 2021; luku 4.1), osittain rankkasateena tai lumipyrynä. Syöttämällä huonommat keliolosuhteet Perrels ym. 2016 estimoituihin malleihin saadaan karkea arvio ilmastonmuutoksen tieonnettomuusriskistä. Yhden päivän aikana, jona on huono keli, tapahtuu keskimääräisesti noin 40 ~ 70 onnettomuutta olettaen, että turvallisuustekniikka jää vuoden 2022 tasoon. Ilmastonmuutoksen seurauksena tulevaisuudessa voi olla 1–2 päivää lisää, jona on huono keli eli tämä tarkoittaisi enintään 150 onnettomuutta lisää vuodessa. Vuosittainen kokonaisuonnettomuusmäärä on noin 33 000 (OTI Liikennevahinkotilasto



2020). Jos sovelletaan samaa jakaumaa kuolleiden, vakavasti haavoittuneiden ja lievästi haavoittuneiden välillä 150 onnettomuutta edustaa noin 8 miljoonan euron lisäkustannuksia (osittain varsinaiset menot ja osittain hyvinvointikustannukset).

Väyläviraston eri tietyyppien keskinopeustilastojen mukaan ankarat talvet vaikuttavat hyvin vähän (liikennevirtojen painotettuun) keskinopeuteen. Kun ilmastonmuutoksen kelivaikutukset ovat aika maltillisia, on oletettava, että liikennesujuvuus ei oikeastaan kärsi ilmastonmuutoksesta merkityksellisesti. Ilmastonmuutos voi aiheuttaa merkittävän ja pitkäkestoisen häiriön maailman logistiikassa, esimerkiksi jos Euroopan tai Kiinan pääsatamat kärsivät pahasti tulvista.

Kaiken kaikkiaan syntyy kuva, joka antaa ymmärtää, että sopeutumisen näkökulmasta ilmastonmuutoksen kansantaloudelliset vaikutukset tieliikenteeseen ja tiestöön jäävät todennäköisesti sangen pieniksi. Nokkala ym. (2012) tulivat samansuuntaiseen tulokseen EU MOWE-IT -hankkeen perusteella. Varmempi vastaus kustannuksista edellyttää lisää tutkimusta ja tietoa.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista muihin liikennemuotoihin (meriliikenne, lentoliikenne, raideliikenne) on saatavissa melko vähän Suomelle relevanttia kvantitatiivisia tietoja. Siksi nämä muodot eivät ole otettu huomioon tässä tutkimuksessa. Meriliikenteestä löytyy erityisesti tutkimusta arktisen alueen jäätilanteeseen liittyen. Tuoreimmat tutkimukset Arktisesta merenkulusta, erityisesti ns. Pohjoisreitistä Euroopan ja Aasian välillä, ennakoivat varsin vaatimatonta kaupallista merenkulkua näille reiteille (Kiski 2017). Palin ym (2021) teki ajantasaisen katsauksen raideliikenteen herkkyydestä ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Artikkelisi sisältää muutamia kustannusarviointeja, mutta ne eivät kelpaa Suomen toimintaympäristöön sovellettaviksi.

### **Terveys- ja hyvinvointivaikutukset**

Vesihuollon, lämpötilan nousun ja tulvariskien yhteydessä syntyvät terveysriskit (Meriläinen ym., 2019), muun muassa kuntien juomavesihuollossa. Osittain näihin riskeihin vastataan tulvariskien hallinnan ja osittain vesihuollon investointien avulla. Kun lämpimät vesistöt houkuttelevat yhä useampia ihmisiä veteen, kampylobakterioosia voi esiintyä aiempaa enemmän. Korkeamman lämpötilan takia kampylobakterioosia odotetaan esiintyvän entistä enemmän myös elintarvikkeissa. Suolisto-oireita aiheuttaneita tapauksia on nykyään noin 3 000–4 000 vuodessa. Kampylobakteerin aiheuttamia ruokamyrkytys epidemioita on vuosittain 1–2 (Ruokaviraston websivusto).

Suomen osalta ei ole (vielä) saatavilla helleaaltojen kuolleisuusriskien kehityslaskelmia eri ilmastoskenaarioissa. IPCC:n uusi arviointiraportti (AR6-WGII) antaa indikaatioita lämpötilan nousun kehitymisestä Euroopassa eri RCP-skenaarioissa. Suomelle

odotetaan suhteellisen vähän lisää lämpörasitusta RCP1.9- ja RCP2.6-skenaarioissa. Toisaalta RCP4.5-skenaariossa ennustetaan selkeästi lämpörasituksen voimistumista Etelä-Suomessa, mutta lämpörasituksen riskit kasvavat selvästi enemmän Keski- ja Etelä-Euroopassa. URCLIM-hankkeessa (Perrels ym. 2022) todistettiin, että kaupungin rakennustiheyden nostaminen hillintäpolitiikan seurauksena kasvattaa lämpörasitusriskiä, ellei toteuteta kompensoivia sopeutumistoimenpiteitä.

Kyseinen IPCC-raportti indikoi myös, että puutiaisten levittämän borrelioosin ja aivotulehduksen ennustetaan kohtuullisella varmuudella lisääntyvän Pohjois-Euroopassa ilmastonmuutoksen myötä, mutta tarkkaa ennustetta ei anneta.

Yleisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamista terveysriskeistä on vielä paljon epävarmuutta ja tutkimatta jääneitä kysymyksiä. Ylipäätään ilmastonmuutoksen aiheuttamat tai voimistamat bioottiset riskit, myös metsä- ja maataloudelle, muodostanevat suurimman riskikokonaisuuden. Vaikka kokonaisuus sisältää myös jonkin verran mahdollisuuksia, ennen kaikkea se muodostaa merkittävän ekologisen, sosiaalisen ja taloudellien tuhopotentiaalin.

Hellejaksojen yleistyminen ja pidentyminen vaikuttaa työn tuottavuuteen, vaikka helteen vaikutuksia on mahdollista vaimentaa tekniikan avulla. Aikaisempien tutkimusten perusteella ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen tai Pohjoismaiden työn tuottavuuteen on kuitenkin melko pieni (muun muassa Bosello ym., 2020; Ciscar ym., 2018) ja toisaalta, kun otetaan huomioon voimakkaammat hellejaksojen vaikutukset Keski- ja Etelä-Euroopassa (Bosello ym. 2020), Suomen suhteellinen kilpailukyky voi parantua jonkin verran. Tätä teemaa käsitellään luvussa 7 GTAP-mallin avulla.

**Gloaalitalouden kautta** kohdistuu myös vaikutuksia Suomeen, mutta tässä tarkastelussa keskityttiin ainoastaan Suomessa syntyneisiin riskeihin. Muissa maissa syntyneisiin riskeihin ja vaikutuksiin Suomelle keskitytään seuraavassa luvussa.

## 7 Maailmanlaajuiset vaikutukset ja niiden heijastuminen Suomeen

Tässä luvussa tarkastellaan ilmastonmuutoksen maailmanlaajuisia vaikutuksia ja niiden heijastumista Suomen talouteen. Tehollisen työpanoksen osalta vaikutuksia arviointiin 1,5 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka suunnilleen kuvaa SSP1-RCP2.6-skenaarion tilannetta vuosina 2040 ja 2070 sekä 3 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka suunnilleen kuvaa SSP3-RCP4.5-skenaarion vuoden 2070 tilannetta. Maatalouden osalta taloudellisia vaikutuksia kuvaavat tulokset perustuvat RCP6.0-skenaarion mukaisiin satoisuusarvioihin vuosien 2040 ja 2070 vaikutuksia kuvaten. Tulokset kuvaavat vaikutuskanavia ja vaikutusten suuruusluokkia, eivätkä tarkkoja vaikuttavuuksia.

### 7.1 Tehollinen työpanos

#### 7.1.1 Globaalit talousvaikutukset

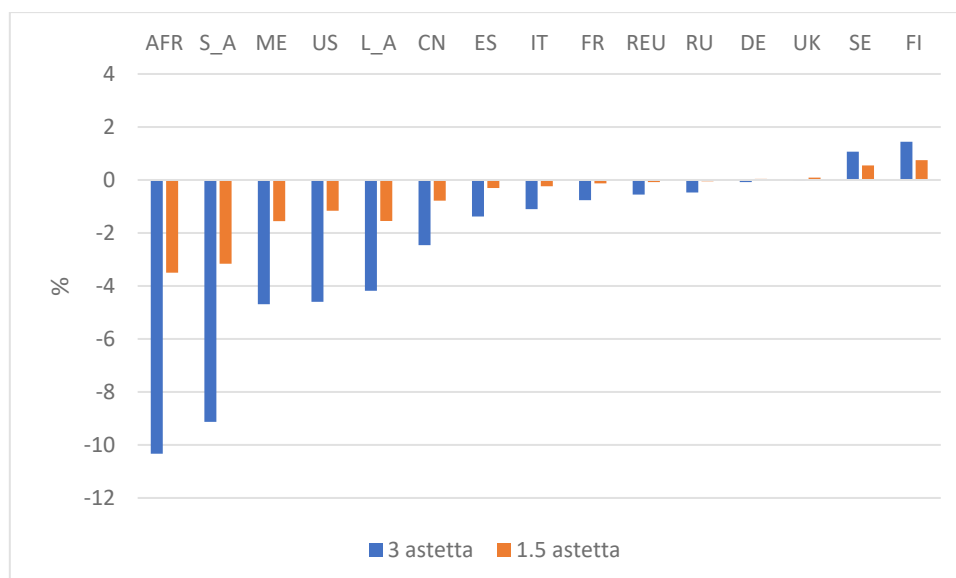
Aluksi esitetään tehollisen työpanoksen muutoksista aiheutuvat vaikutukset eri maiden tai maaryhmien bruttokansantuotteeseen (BKT). Talusmallilaskelmien lähtötietoina käytetyt arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista teholliseen työpanokseen on esitetty kuvissa 4.8–4.10 luvussa 4.5.3, ja ne perustuvat Dasguptan ym.(2021) globaaleihin arvioihin. Dasgupan arviot ottavat huomioon paitsi vaikutuksen työn tuottavuuteen työtuntia kohden myös vaikutuksen tehtyjen työtuntien määrään. Kuvassa 7.1 esitetään BKT-vaikutukset 3 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka suunnilleen kuvaa SSP3-RCP4.5-skenaarion vuoden 2070 tilannetta sekä 1,5 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka suunnilleen kuvaa SSP1-RCP2.6-skenaarion tilannetta vuosina 2040 ja 2070.

GTAP-laskelmien mukaan monilla alueilla aiheutuisi huomattavia taloudellisia menetyksiä, kun tehollinen työpanos pääsääntöisesti alenee ilmaston lämpenemisen seurauksena. Bruttokansantuote alenisi eniten Afrikassa ja eteläisen Aasian maissa. BKT vähenisi näillä alueilla jopa 10 %, jos ilmasto lämpenisi 3 astetta, ja noin 3–3,5 %, jos lämpeneminen jäisi 1,5 asteeseen. Suomen kauppa Afrikan maiden kanssa on vähäistä, eikä näillä mailla ole merkittävää asemaa myöskään maailman markkinoilla, kun taas eteläisessä Aasiassa merkittävä tuottaja on muun muassa Intia. Sen sijaan Kiinassa vaikutus jäisi selvästi vähäisemmäksi. Yhdysvaltojen ja Latinalaisen Amerikan bruttokansantuotteet alenisivat jopa 4 prosenttia, jos ilmasto lämpenisi 3 astetta ja reilun prosentin, jos lämpeneminen jäisi 1,5 asteeseen.

EU-maista BKT alenisi eniten yksittäin tarkastelluista maista Espanjassa, Italiassa ja Ranskassa, joissa tehollinen työpanos alenee selvästi Keski-Eurooppaa enemmän. Vaikutukset ovat noin prosentin luokkaa 3 asteen lämpenemisen ja 0,1–0,3 % 1,5 asteen lämpenemisen tapauksessa. Saksan talouteen vaikutukset olisivat selvästi vähäisemmät: vaikutus olisi lievästi negatiivinen 3 asteen ja hyvin lievästi positiivinen 1,5 asteen tapauksessa. Suomessa ja Ruotsissa BKT puolestaan kasvaisi tehollisen työpanoksen noustessa. Suomessa vaikutukset ovat Ruotsia suuremmat alemman keskilämpötilan seurauksena. BKT:n kasvu perustuu siihen, että Dasgupta ym. (2021) arvioi työn tuottavuuden kasvavan ilmastonmuutoksen seurauksena paitsi ulkotoissa, myös sisätoissa.

BKT-muutokset seuraavat pitkälti muutoksia tehollisessa työpanoksessa, mutta niihin vaikuttavat myös tuotannon työvoimaintensiteetit eri maissa sekä heijastevaikutukset eri maiden välillä. BKT-vaikutukset ovatkin suurimmat lähellä päiväntasaajaa olevissa kehitys- ja kehittyvissä maissa, joissa lämpeneminen voimakkaimmin alentaa tehollista työpanosta ja joissa tuotanto on tyypillisesti työvoimavaltaisempaa kuin teollisuusmaissa.

**Kuva 7.1** BKT-vaikutus eri maissa/alueilla, prosenttimuutoksena, kun teholliset työpanokset muuttuvat ilmastonmuutoksen seurauksena. AFR: Afrikka, S\_A: eteläinen Aasia, ME: Lähi-itä, US: Yhdysvallat, L\_A: Latinalainen Amerikka, CN: Kiina, ES: Espanja, IT: Italia, FR: Ranska, REU: muu EU-alue, RU: Venäjä, DE: Saksa, UK: Iso-Britannia, SE: Ruotsi, FI: Suomi.

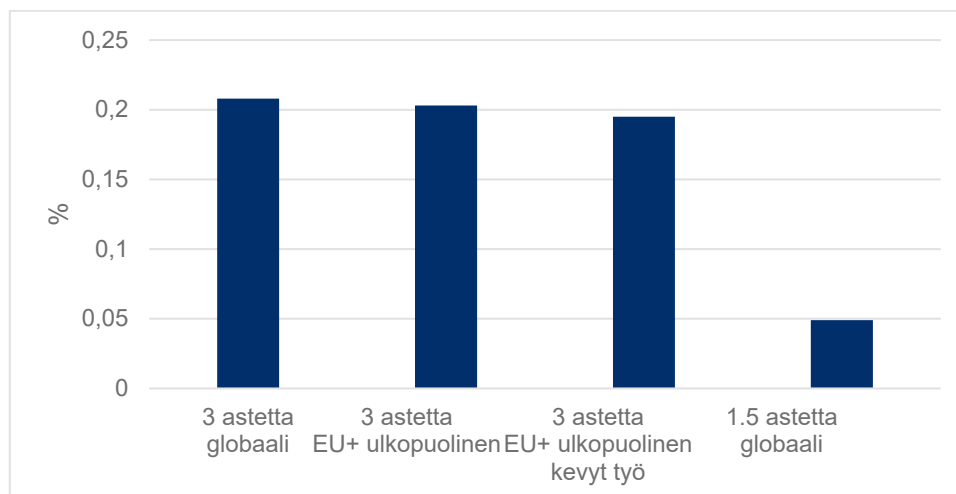


## 7.1.2 Heijaste- ja kauppavaikutukset

Tässä osiossa kuvataan ilmastonmuutoksen teholliseen työpanokseen globaalisti kohdistuvan vaikutuksen heijastumista Suomen talouteen. Heijastevaikutus Suomen bruttokansantuotteeseen saadaan joko vähentämällä yllä esitetyn globaalin shokin tuottamasta Suomen BKT-vaikutuksesta vain Suomeen kohdistuvan shokin vaikutus tai suoraan laskelmasta, jossa tehollinen työpanos muuttuu kaikkialla muualla paitsi Suomessa. Heijastevaikutuksen suuruus ei siten riipu siitä, miten ilmastonmuutoksen oletetaan vaikuttavan Suomen teholliseen työpanokseen.

Heijastevaikutukset Suomeen olisivat lievästi positiiviset GTAP-mallitarkastelun mukaan. Suomen kilpailuaseman paraneminen johtaa positiiviseen kokonaisvaikutukseen Suomen taloudelle, vaikka maailmantalous onkin selvästi alemmalla tasolla Kuvan 7.1. mukaisesti, kun kansainvälisiä investointeja siirtyy alueille, joissa ilmastonmuutos ei juurikaan alenna työn tuottavuutta tai vaikutus on jopa positiivinen. Verrattuna tilanteeseen, jossa teholliset työpanokset olisivat nykytasolla, heijastevaikutus nostaisi Suomen bruttokansantuotetta noin 0,2 prosentilla 3 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka kuvaa RCP4.5-SSP3-skenaarion vuoden 2070 tilannetta, ja 0,05 prosentilla 1,5 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka kuvaa SSP1-RCP2.6-skenaarion tilannetta vuosina 2040 ja 2070. Heijastevaikutukset aiheutuvat lähes kokonaan EU+-maiden ulkopuolella sisällä tai ulkona varjossa tapahtuvan työn tehollisen työpanoksen alentumasta. Ulkotyö auringossa koskee vain muutamia sektoreita (alkutuotanto, rakentaminen), joiden osuus kokonaistaloudesta on melko vähäinen.

**Kuva 7.2** Muiden maiden tehollisen työpanoksen muutosten heijastevaikutus Suomen bruttokansantuotteeseen prosenttimuutoksena eri laskentavaihtoehdoissa. EU+ ulkopuolinen viittaa EU-alueen, Ison-Britannian, Norjan, Islannin ja Sveitsin ulkopuolisiin maihin.



Suomeen vaikutukset heijastuvat ulkomaankaupan sekä kansainvälisten investointien kautta. Tehollisen työpanoksen heikentyminen alentaa kokonaistuotantoa, mikä puolestaan vähentää tuontikysyntää. Tämä mekanismi alentaa osaltaan Suomen vientiä näihin maihin. Toisaalta Suomen viennin hintakilpailukyky paranee kun tehollisen työpanoksen alentuminen nostaa tuotantokustannuksia muualla maailmassa erityisesti työvoimaintensiivisillä sektoreilla. Vaikutusta vaimentaa se, että myös Suomen tuotantokustannukset nousevat kasvavan kysynnän myötä kun kansainvälisiä investointeja siirtyy Suomeen ja muille alueille, joiden työn tuottavuutta ilmastonmuutos ei (juurikaan) heikennä. Tehollisen työpanoksen aleneminen maailmalla vaikuttaa myös koko maailmanmarkkinoiden hintamuutosten kautta, vaikka Suomeen ei suoraan tuotaisikaan tuotteita pahiten kärsiviltä alueilta.

Tarkasteltaessa Suomen kauppaa niiden maiden kanssa, joissa tehollinen työpanos aleni voimakkaimmin, huomataan, että hinnat nousevat esimerkiksi Aasian maissa pääsääntöisesti enemmän kuin Suomessa, joten Suomen kilpailukyky paranee. Erot eivät kuitenkaan ole suuria, ja muun muassa kemian teollisuudessa vaikutus on päinvastainen. Kaikkien tuotteiden vientimäärät alenevat, eli kysynnän alenemisen kautta tuleva vaikutus on hintakilpailukyyn paranemista voimakkaampi. Myös tuonti eteläisestä Aasiasta vähenee, kun se menettää kilpailukykyään muihin maihin verrattuna.

Tarkasteltaessa kauppaa kokonaisuutena Suomen vientimäärät vähenevät sekä EU-maiden ulkopuolelle että EU-maihin. Kokonaistuonti puolestaan kasvaa EU-maiden ulkopuolelta, vaikka työvoimaintensiivisten tuotteiden, kuten tekstiilien, tuonti EU:n ulkopuolelta väheneekin. Kokonaistuonti kasvaa myös muista EU-maista. Maailmanmarkkinoiden sopeutuminen ja kilpailuasema eri maiden välillä vaikuttavat kauppavirtaikutusten suuntaan. Esimerkiksi Suomen tuonti Kiinasta kasvaa hieman globaalissa shokissa, mutta vaikutus olisi negatiivinen, jos tehollinen työpanos alenisi ainoastaan Kiinassa. Vaikutukset ovat samantapaiset 3 ja 1,5 asteen lämpenemisen tapauksissa, mutta itseisarvoltaan pienemmät, jos ilmaston lämpeneminen jää 1,5 asteeseen.

### 7.1.3 Tulosten arviointia

Osiassa 7.1 esitetyt tulokset bruttokansantuotteen muutoksista EU-maille ovat samansuuntaiset kuin Bosellon ym. (2020) tutkimuksessa työn tuottavuuden muuttuessa ilmastonmuutoksen seurauksena. Myös sen mukaan Suomen ja Ruotsin BKT kasvaisi, joskin vähemmän kuin tässä saadut arviot. Suurimmat vaikutukset kohdistuisivat joihinkin Italian maakuntiin, joiden BKT alenisi vajaat 2 % SSP3-RCP4.5-skenaariossa. Knittel ym. (2020) on arvioinut vaikutuksia Saksan talouteen ilmastonmuutoksen vai-

kuttaessa työn tuottavuuteen globaalisti. BKT-vaikutus Saksalle on Knittelin ym. arvioon mukaan sama kuin tässä tutkimuksesta saatu. Knittelin ym. tutkimuksessa ei tarkastella erikseen Pohjoismaita. Globaalilla tasolla BKT alenee myös Knittelin ym. mukaan eniten eteläisessä Aasiassa BKT:n alentuessa 4 prosentilla. BKT-vaikutukset perustuvat Knittelin ym. tutkimuksessa selvästi pienempiin alenemiin työn tuottavuudessa kuin tässä tutkimuksessa käytetyt Dasguptan ym. (2021) arviot tehollisen työpanoksen muutoksista erityisesti Euroopan ulkopuolella. Orlovin ym. (2020) tutkimuksessa globaali BKT aleni 0,5 % RCP2.6-skenaariossa ilmastonmuutoksen heikentäessä työn tuottavuutta. Toisenlaista lämpöstressifunktiota käyttämällä vaikutus oli lähes kaksinkertainen eli samaa suuruusluokkaa kuin tämän hankkeen arvio. Garcia-Leon ym. (2021) ovat arvioineet jo tapahtuneiden ja tulevien voimakkaiden lämpöaallojen talousvaikutuksia. 2000-luvulla tapahtuneiden lämpöaallot alensivat EU-alueen bruttokansantuotetta 0,3–0,5 %. Ilmaston lämmitessä yli 2,5 asteen taloudelliset menetykset viisinkertaistuisivat suurimpien BKT-tappioiden ollessa 2–3,5 % Etelä-Euroopassa.

Heijastevaikutuksia Saksan taloudelle maailmanlaajuisten työn tuottavuusvaikutusten seurauksena on arvioitu Knittelin ym. (2020) tutkimuksessa Tutkimuksen mukaan Saksan BKT alenisi noin 0,1 %, mikä aiheutuu pääosin ulkomailta tulevasta heijastevaikutuksesta. Myös Knittelin ym. mukaan pääosa heijastevaikutuksesta aiheutuu EU:n ulkopuolelta. Heijastevaikutusten suunnan havaitaan molemmissa tutkimuksissa olevan herkkä mallin oletuksille. Jos investointivaikutusta ei yllä esitetyissä GTAP-laskelmissa otettaisi huomioon, heijastevaikutuksen suunta olisi negatiivinen. Knittelin ym. (2020) esittämät kauppavaikutukset poikkeavat jossain määrin tämän hankkeen tuloksista, sillä Knittelin ym. mukaan tuonti EU:n ulkopuolelta vähenisi ja toisaalta vienti EU-maihin kasvaisi. Eroa tuloksissa selittää osin kauppa Yhdysvaltoihin. Tässä esitettyjen GTAP-laskelmien mukaan Yhdysvaltain kilpailukyky paranisi selvästi, mikä lisää tuontia Yhdysvalloista sekä Suomeen että muihin EU-maihin

Dasguptan ym. (2021) mallisimuloinnin tulokset ilmastonmuutoksen vaikutuksista työpanokseen eivät ota huomioon minkäänlaista sopeutumista (siis myöskään automaattista sopeutumista, ks. luku 4.3), joskin jo tehtyjen teknisten toimien vaikutukset sisältyvät arvioihin vaimentaen lämpenemisen vaikutusta. Esimerkiksi ilmaston lämmittäminen vähentää taloudellisia menetyksiä, joskaan esimerkiksi Leon-Garcian ym. (2021) mukaan sillä ei olisi ratkaisevaa vaikutusta. Myös ihmiskehon fysiologinen sopeutumiskyky (akklimatisointi) voi vaimentaa negatiivista vaikutusta jonkin verran. Orlovin ym. (2020) mukaan automaattinen adaptaatio alentaisi globaalia BKT-tappiota 0,4 prosenttiyksikköä.

Tässä esitetyt GTAP-mallilaskelmat kuvaavat pitkän aikavälin vaikutusta talouden jo sopeuduttua muun muassa tuotanto- ja kulutusrakennetta muuttamalla. Lyhyen aikavälin vaikutukset voivatkin olla selvästi voimakkaammat.

## 7.2 Maatalous

Laskelmassa tarkastellaan, miten pitkän aikavälin keskimääräiset muutokset viljelykasvien satoisuudessa eri puolilla maailmaa heijastuvat Suomen talouteen. Vaikutusarviot satoisuuteen otettiin ISIMIP-tietokannasta käyttäen RCP6.0-skenaarioiden arvioita. Satoisuusarvioihin liittyy huomattavaa epävarmuutta. Tästä syystä vaikutusarviot perustuvat kahteen satomalliin, joista LPJml-mallissa ilmaston lämpeneminen parantaa valtaosin satoisuuksia kun taas GEPIC-mallissa vaikutukset ovat valtaosin negatiiviset. Viljelykasvien osalta tarkastellaan neljää lajikketta, eli vehnää riisiä, maissia ja soijaa, joille on saatavissa kattavimmat arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja jotka muodostavat suurimman osan viljelykasvien tuotannosta maailmassa. Skenaarioita kuvataan tarkemmin luvussa 4.5.3.

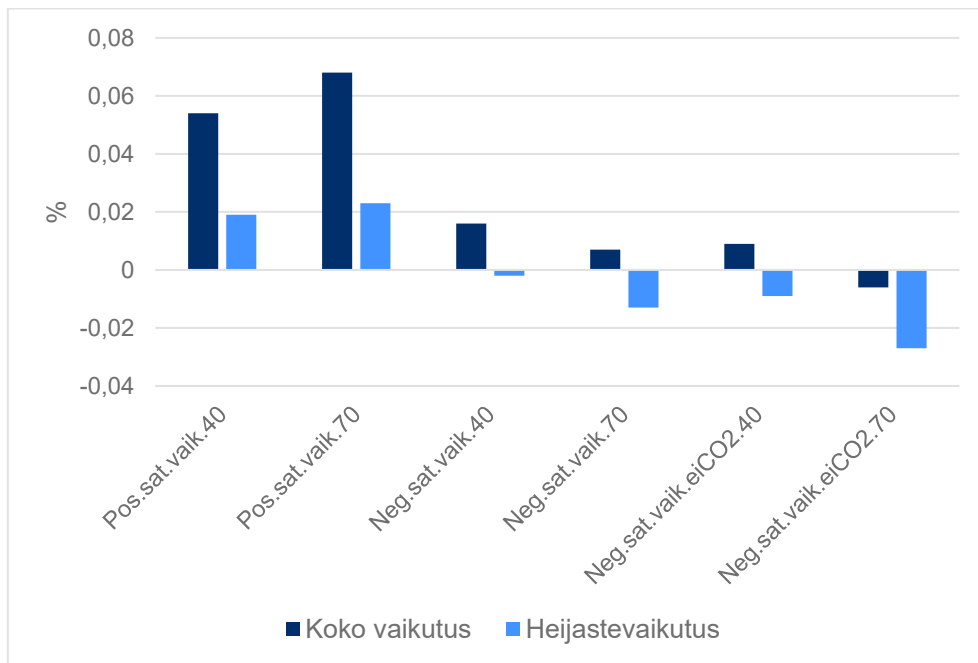
Talousvaikutukset arvioidaan maailmanlaajuisella GTAP-kokonaistasapainomallilla (Corong ym., 2017). GTAP-mallissa maatalous on kuvattu karkeasti samoin kuin muutkin tuotantosektorit. Tuottajat minimoivat mallissa kustannuksiaan annetulla tuotantoteknologialla ja maa jaetaan kustannustehokkaasti eri maatalouden tuotteiden kesken. Maatalous on jaettu seitsemään tuotantomuotoon. Vaikutukset Suomen bruttokansantuotteeseen esitetään kahdelle laskelmavaihtoehdolle; (1) laskelma sisältää vaikutukset Suomen maatalouden tuottavuuteen ('koko vaikutus') ja (2) laskelma sisältää vain heijastevaikutukset muun maailman satoisuuden muutoksista ("heijastevaikutus").

Laskelmien mukaan satoisuuden muutokset Suomessa ja muualla maailmassa eivät juurikaan vaikuttaisi Suomen bruttokansantuotteeseen (Kuva 7.3). Kokonaisvaikutus olisi lievästi positiivinen lähes kaikissa tapauksissa. Tämä tulos perustuu globaalista kasvumallista otettuun satoisuusarvioon eikä se ota huomioon kaikkia sopeutumishaasteita ja niiden kustannuksia, jotka sisältyvät luvuissa 5.4 ja 6 esitettyihin tuloksiin.

Heijastevaikutus on lievästi negatiivinen laskelmissa, joissa satoisuudet pääsääntöisesti alenevat maailmalla, ja positiivinen laskelmissa, joissa satoisuudet pääsääntöisesti kasvavat maailman laajuisesti. Vaikutukset ovat hieman voimakkaammat vuonna 2070 vuoteen 2040 verrattuna. Heijastevaikutuksen suuruuteen ei juurikaan vaikuta se millainen satoisuusvaikutus Suomelle oletetaan, koska Suomen osuus maailmanmarkkinoista on pieni. Maailmanlaajuisesti voimakkaimmat vaikutukset kohdistuvat Etelä- ja Kaakkois-Aasiaan, jossa BKT alenee vajaan 0,5 prosenttia.



**Kuva 7.3** Maailman maatalouden satoisuusmuutosten vaikutukset Suomen bruttokansantuotteeseen, prosenttiosuuden muutoksina eri mallilaskelmien mukaan vuonna 2040 ja 2070. Pos..sat.vaik..perustuu LPJml-mallin satoisuusarvioihin, Neg-sat.vaik. GEPIC-mallin arvioihin ja Neg.sat.vaik.eiCO2.GEPIC-mallin arvioihin kun hiilidioksidin lannoittava vaikutus on vuoden 2005 tasolla. Laskelmat eivät ota huomioon kaikkia sopeutumishaasteita ja niiden kustannuksia, joten BKT-arvioita ja niiden pohjalla olevia satoisuusarvioita voidaan pitää optimistisinä.



Maatalouden tuotanto Suomessa kasvaa tarkastelluissa skenaarioissa. Viljelykasvilajikkeiden omien satoisuusvaikutusten lisäksi tuotannon muutokseen vaikuttaa suhteellisen aseman muutos maailmanmarkkinoilla. Esimerkiksi vehnän satoisuus paranee Suomessa mutta vähemmän kuin usealla muulla alueella. Toisaalta useilla lajikkeilla satoisuudet alenevat selvästi keskeisissä tuottajamaissa. Tästä syystä Suomessa vehnän tuotanto ei kasva satoisuusmuutosta vastaavasti vaan tuotantoa siirtyy jossain määrin niihin lajikkeisiin, joiden satoisuudessa Suomessa on käytetyn aineiston mukaan suhteellinen etu. Lisäksi kysyntäpuolella lajikkeita korvataan toisillaan ja tuonnilla. Lajike- ja maakohtaisissa vaikutuksissa esiintyy suurta vaihtelua kaikissa skenaarioissa ja huomattavia tuotannon alentumia on myös skenaarioissa, joissa satoisuudet kasvavat. Maailmanlaajuisesti eri viljelykasvien tuotantomuutokset vaihtelevat noin -50 prosentista +50 prosenttiin. Koko maatalouden ja elintarviketeollisuuden tasolla vaikutukset vaimenevat.

Tarkasteltujen maataloustuotteiden osuus Suomen elintarviketeollisuuden kustannuksista on varsin pieni. Vaikutus elintarvikkeiden hintaan jääkin tarkastelluissa skenaarioissa vähäiseksi. Jos satoisuudet pääsääntöisesti alenevat, elintarvikkeiden hinta nousee Suomessa enimmillään puoli prosenttia. Jos taas satoisuudet pääsääntöisesti paranevat, elintarvikkeiden hinta alenee. Aasiassa vaikutukset elintarvikkeiden hintaan ovat laskelmien mukaan selvästi voimakkaammat ruoan hinnan noustessa jopa 5 prosentilla.

Maataloustuotteisiin kohdistuvat ilmastomuutoksen vaikutukset heijastuvat muuhun talouteen sektorien välisten kytkentöjen ja markkinoiden sopeutumisen kautta. Voimakkaimmat vaikutukset Suomessa kohdistuvat elektroniikan tuotantoon, jonka vienti Aasiaan vähenee skenaarioissa, joissa satoisuudet alenevat.

Viljelykasvien satoisuusvaikutusten heijastumista yli rajojen on arvioitu myös PESETA IV hankkeessa (Szewcsyk et al. 2020). Satoisuusarviot on otettu ICIMIP tietokannasta kuten tässäkin tutkimuksessa. Tarkastelun mukaan muualla maailmassa tapahtuvat satoisuusvaikutukset alentaisivat EU:n bruttokansantuotetta 0.02-0.06 % 1.5 ja 3 asteen lämpenemisen tapauksissa. Heijastevaikutus vastaa siten yllä esitettyä arviota Suomelle.

Edellä esitetyt laskelmat antavat suuntaa-antavan mutta vaillinaisen kuvan siitä, miten maailmanlaajuiset maatalouteen kohdistuvat ilmastomuutoksen vaikutukset heijastuisivat Suomen kansantalouteen. Kokonaistalousmallissa maatalouden kuvaus on yksinkertainen eikä ota huomioon paikallisia erityispiirteitä. Malli ei sisällä sopeutumisinvestointeja ja niiden kustannuksia. Maailmanlaajuisia arvioita ilmastomuutoksen vaikutuksista maatalouteen on saatavissa vain viljelykasvien osalta, jolloin suhteelliset kannattavuudet vääristyvät maatalouden sisällä. Lisäksi GTAP-aineistossa osa viljelykasveista ei ole omina sektoreinaan, mikä aiheuttaa epätarkkuutta malliin syötettäviin satoisuusarvioihin. Jatkotutkimuksessa Suomen maataloutta yksityiskohtaisesti kuvaava Dremfia-malli voitaisiin kytkeä globaaliin talousmalliin.

Arvioihin ilmastomuutoksen fysikaalisista vaikutuksista viljelykasvien satoisuuteen maailman laajuisesti liittyy huomattavaa epävarmuutta, kuten jo tässä käytetyn kahden satomallin toisistaan poikkeavat tulokset osoittivat. Muita satomalleja käyttämällä erot ilmastomuutoksen vaikutuksissa satoisuuteen olisivat olleet vieläkin suurempia. Yksi epävarmuuden aiheuttaja on ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun aiheuttaman lannoitusvaikutuksen käsittely satomalleissa. Satotasojen alarajan mukaan saamiseksi on tässä käytetty myös satoisuusarvioita, joissa hiilidioksidipitoisuus on pidetty vuoden 2005 tasolla. Satomallit vastaavat hyvin siihen, miten keskimääräinen lämpötilan, kasvukauden pituuden ja sadannan muutokset vaikuttavat kasvien kasvuun ja satoihin. Sen sijaan niistä puuttuu kasvitautipaineen nousu ja korjuukauden

epäedullisten sääolojen vaikutus. Epävarmuus satoisuusvaikutuksista aiheuttaa sen, että heijastevaikutuksen suunta bruttokansantuotteeseen jää epäselväksi.

Tarkastelu koski pitkän aikavälin keskimääräisiä vaikutuksia. Yksittäiset ääri-ilmiöt voivat aiheuttaa huomattavasti voimakkaampia negatiivisia vaikutuksia viljelykasvien tuotantoon, jotka näkyisivät myös Suomessa näiden tuotteiden puutteena ja korkeina hintoina. Tällaiset vaikutukset ovat tyypillisesti suhteellisen lyhytkestoisia.

### 7.3 Muita vaikutuskanavia

Edellä tarkastellut ilmastonmuutoksen maailmanlaajuiset vaikutukset työvoimaan ja viljelykasvien satoisuuteen ovat esimerkkejä siitä, kuinka globaalit vaikutukset heijastuvat Suomen talouteen. On kuitenkin monia muitakin merkityksellisiä kanavia (katso luku 3.3), joten esitetyt BKT-vaikutukset eivät kuvaa heijastevaikutusta kokonaisuutena. Edellä tarkastellut esimerkit liittyvät työvoimavaltaiseen toimintaan. Merenpinnan nousu ja ääri-ilmiöt, kuten tulvat ja myrskyt, puolestaan vaikuttavat usein pääomavaltaiseen taloudelliseen toimintaan, muun muassa tuhoten teollisuustuotannon tai kuljetusten kannalta tärkeää infrastruktuuria. Tästä esimerkkinä on Thaimaan teollisuuspuistojen vuoden 2011 tulvavahingot, jotka vaikuttivat toimitusketjuihin maailmanlaajuisesti (Carter ym. 2021). Bailey ja Wellesley (2017) tunnistivat puolestaan 14 pullonkaulaa, jotka ovat erityisen tärkeitä maailmanlaajuiselle elintarvikekaupalle, mukaan lukien merenkulkuinfrastruktuuri, kuten Panaman kanava ja Suezin kanava, sekä rannikkoalueiden satamainfrastruktuurit, kuten Brasilian eteläiset satamat ja Yhdysvaltain Persianlahden rannikon satamat. Nämä pullonkaulat ovat myös ilmastonmuutokselle herkkiä. Myös globaalit ilmastoon liittyvät metsien tuottavuuden menetykset voivat olla tärkeitä Suomen taloudelle, ja tämä voisi olla tärkeä jatkotutkimuksen aihe (vrt. Aaheim & Wei 2020, Aaheim ym. 2022). Laajamittainen ilmastopakolaisuus aiheuttaisi todennäköisesti merkittäviä talousvaikutuksia, mutta niiden arvioiminen vaatisi oman laajan tutkimushankkeensa.

## 8 Innovaatiot joilla on merkittävä talouspotentiaali

Lukujen 5, 6 ja 7 laskelmat viittaavat siihen, että proaktiivinen sopeutuminen tuo enemmän hyötyä kuin reaktiivinen sopeutuminen. Proaktiivinen sopeutuminen tarkoittaa yleensä, että toimeenpano alkaa selvästi aiemmin kuin reaktiivisessa strategiassa. Näin ollen proaktiivisessa sopeutumisessa ei pystytä hyötymään niin paljon muiden toimijoiden esimerkeistä, vaan joudutaan useammin testaamaan ja myös kehittämään ratkaisut itse. Innovaatiot ovat usein riskialttiita organisaation tasolla, mutta laskelmien tulokset indikoivat sitä, että ne kannattavat makrotasolla. Innovaatioiden kannattavuus paranee, jos myös vientimarkkina kehittyy kotimaan markkinan ohella. Tässä luvussa esitämme tutkimuksessa mallinnettujen sektorien innovaationäkymät sekä poikkileikkavat innovaatiot, kuten sopeutumista tukevat tietopalvelut. Jos on relevanttia, mainitsemme myös vientimahdollisuudet. Tässä tapauksessa vienti voi tarkoittaa sekä kaupallista vientiä että 'vientiä' kehitysyhteistyön puitteissa. Jälkimmäinen voi olla välillisesti aika kannattavaa, jos se alentaa kohdemaan riskiä, joka voi heijastua Suomeen

Ennen keskustelua sektorikohtaisista innovaationäkymistä esitämme kyselyn tulokset. Tässä hankkeessa suoritettiin yrityksille suunnattu kysely. Kysely käsittelee Suomen yritysten tähänastisia sopeutumiskokemuksia ja sopeutumiseen liittyvää investointi- ja innovaatioponnistuksia.

### 8.1 Kyselyn tulokset

Saadaksemme alustavan ymmärryksen, kuinka laajasti ja syvästi Suomen elinkeinoelämä on jo varautumassa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja sopeutumiseen, suoritimme kyselyn, johon kutsuimme mukaan 80 eri organisaatiota. Jakelun valtaosa koostuu yrityksistä, minkälisäksi jakelussa ovat olleet mukana muutamat kunnat sekä toimialakohtaiset sateenvarjo-organisaatiot. Mahdollisuuksien mukaan kohdistimme kyselyn henkilölle, jolla on tietynlaista vastuuta tästä teemasta.

Kyselyyn on vastannut 31 organisaatiota, joista 26 on yrityksiä ja 5 julkisen sektorin organisaatiota. Kyselyn kysymykset löytyvät liitteestä 7. Vastausprosentti (39 %) ei ole kovin korkea, mutta se on riittävä, jotta saamme kohtullisen ymmärryksen, miten aktiivisia yritykset ja kunnat ovat sopeutumisen suunnittelussa ja toimeenpanossa.

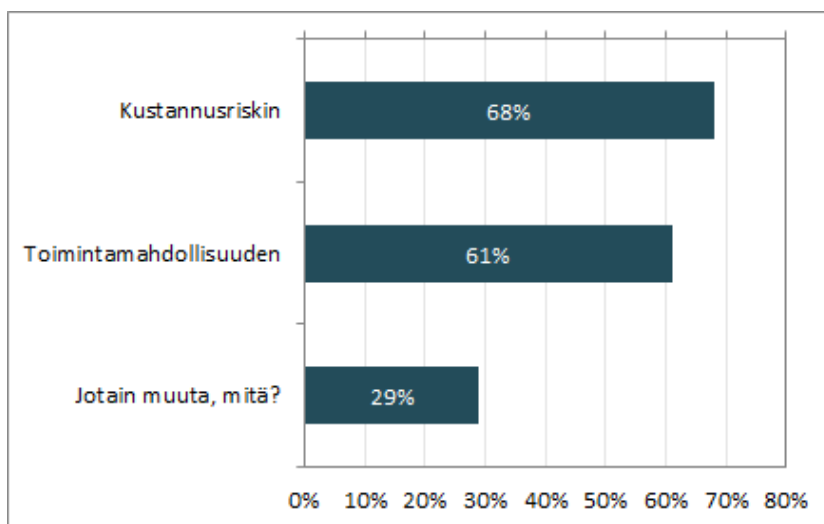
Vastauskato johtunee osittain kiireisyydestä, jonkin verran ehkä poissaloloista (muistutuksista huolimatta) ja tietenkin myös tähänastisesta alhaisesta kiinnostuksesta. Viimeksi mainittu seikka kannattaa muistaa tuloksien tulkinnassa.

Tässä luvussa raportoimme keskeiset tulokset. Vastajien asema on ollut joko johtaja (48 %) tai asiantuntija (52 %). Lähes kaikki vastajat vahvistavat, että ilmastomuutoksen (aineelliset) seuraukset vaikuttavat heidän organisaationsa toimintaan jo nyt (81 %), tai odottavat, että seuraukset alkavat vaikuttaa (10 %).

Organisaatiot, jotka ovat jo kokeneet vaikutuksia, täsmensivät seuraavaksi, minkälaisista vaikutuksista on kyse. Etukäteen annetut vaihtoehdot olivat kustannukset ja toimintamahdollisuudet (kuva 8.1). Lisäksi vastaajat saivat lisätä muita vaikutuksia, ja he lisäsivät useita:

- Kiristyvän regulaation tuomat riskit
- Henkilöressin lisäämistarpeen esimerkiksi kotihoidossa olevien potilaiden neuvontaan, kunnossapitoon, suunnitteluun jne.
- Uuden kriteeristön investointipäätöksiin, rahoitusmallit
- Muuttavat välillisten vaikutusten kautta kuntien toimintaympäristöä ja vaikuttavat maakunnan liiton työkenttään aluekehittäjänä.
- Sopeutumistarve huomioitu myös aluesuunnittelussa.
- Näemme mahdollisuuksia, että tulevaisuuden ilmastotehokkaammat tuotteet ja palvelut saavat enemmän markkinatilaa.
- Energiainfrastruktuurille kohdistuu uusia vaatimuksia ja paineita, kun samanaikaisesti ilmastomuutos kasvattaa sään ääri-ilmiöiden todennäköisyyttä ja yhteiskunta on jatkuvasti entistä riippuvaisempi häiriöttömästä sähkönjakelusta.
- Puuraaka-aineen arvostaminen rakentamisessa kasvaa.

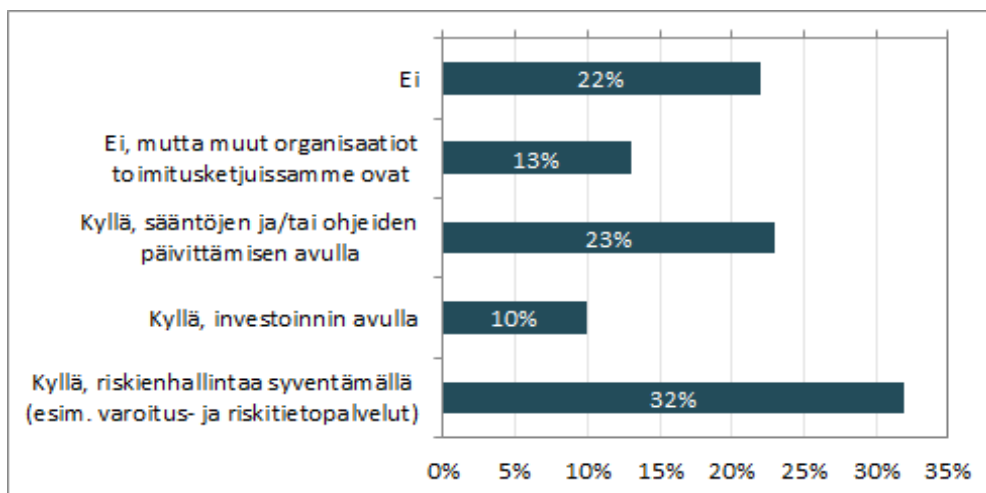
**Kuva 8.1** Vastaneiden organisaatioiden kokeneet ilmastonmuutokseen liittyvät taloudelliset vaikutukset



Vastaajien omien lisävastauksien pääviesti on, että myös lainsäädännön muutokset, toimialan sisäiset normit tai proseduurit sekä varauden arvonmuutokset ovat jo relevantteja aineellisia seurauksia ilmastonmuutoksesta. Tässä kysymyksessä vastajat saivat valita enemmän kuin yhden vaihtoehdon.

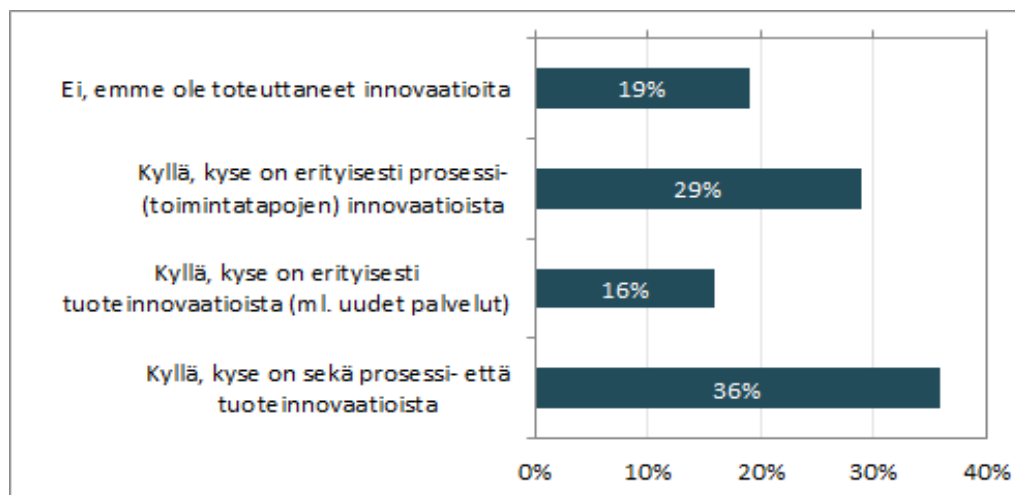
Tällaisessa kyselyssä ei ole mahdollista tarkistaa, onko organisaatioiden kokemien vaikutusten attribuutio ilmastonmuutokseen riittävästi todistettu. Vastaukset ainakin vahvistavat, että vastajien organisaatioissa tietoisuus ilmastonmuutoksesta on jo sellainen, että se vaikuttaa toimintaan ja päätöksentekoon.

Merkittävä osa organisaatioista (65 %) on parantanut toimintavarmuutta viime vuosiin Suomen sään ääri-ilmiöiden suhteessa ja/tai ulkomaiden sään ääri-ilmiöiden suhteessa. Lisäksi vielä 13 % mainitsee, että oman yrityksen sijaan toinen samassa arvoketjussa toimiva organisaatio on tehnyt sellaista (koko arvoketjun hyväksi). Tois-taiseksi vain muutamat (10 %) ovat investoineet ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautumiseksi. Lisäksi tulee selvästi esiin, että riskinhallintaan liittyvät tietopalvelut, konsultointi, jne. ovat aika tärkeitä varautumistapoja.

**Kuva 8.2** Vastanneiden organisaatioiden toimenpiteet toimintavarmuuden parantamiseksi

Kysyimme erikseen aloitteista ja investointikiinnostuksesta uusiin palveluihin ja tuotteisiin ilmastonmuutoksen luoman mahdollisuuksien yhteydessä. Merkittävä osa (77 %) organisaatioista on (jo) investoinut uuteen tuotteeseen tai toimintaan ilmastonmuutoksen aiheuttamien muutoksien/mahdollisuuksien takia. Lisäksi vielä hiukan suuremmalla osalla (81 %) on suunnitelmat investoida uuteen tuotteeseen tai toimintaan ilmastonmuutoksen aiheuttamien mahdollisuuksien takia.

Vastaajien mukaan 81 % toteutuneista investoinnista ja toimenpiteistä on tavalla tai toisella innovaatio, joko prosessi-innovaatio (29 %) tai tuote-innovaatio (16 %), tai sekä samanaikaisesti prosessi- ja tuote-innovaatio (36 %). Nämä prosentiosuudet ovat yllättävän korkeita. Selityksenä siihen lienevät ilmastonmuutoksen ja sopeutumisen uudenlaiset haasteet.

**Kuva 8.3** Vastanneiden organisaatioiden investointien ja toimenpiteiden innovaation luonne

Viimeiseksi kysyttiin innovaatioiden toimivuudesta. 36 % vastasi, että innovaatiot ovat tuottaneet suunnilleen odotettuja hyötyjä, ja 6 % vastasi, että edut ovat olleet ennustettua selvästi suurempia. Toisaalta suurin osa (58 %) ei osaa sanoa, miten paljon innovaatio on kannattanut. Tämäkin taas korostaa tietopalvelujen tärkeyttä sopeutumisessa, joten ratkaisun toimivuuden ennustettavuus on hyvä.

## 8.2 Toimialojen innovaatiot

### 8.2.1 Maatalouden innovaatiot

Maataloudessa ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi tarvitaan uusia innovaatioita varsinkin peltokasvien viljelyyn. Kasvihuoneissa ja kotieläinsuojissa teknologisilla toimenpiteillä (lämmitys, viilennys, valotus jne.) voidaan hallita kasvu- ja kasvatusolosuhteita, mikä ei ole mahdollista avotaivaan alla tapahtuvassa tuotannossa.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset avomaalla tapahtuvan peltokasvien kasvatuksen kasvuolosuhteisiin ovat osin myönteisiä ja osin kielteisiä. Kasvukausi pitenee, lämpösumma lisääntyy. Toisaalta taas kuivuus- ja sateisuuskaudet lisääntyvät ja ajoittuvat nykyisestä poikkeavalla tavalla. Myös taudit ja tuholaiset lisääntyvät. Näihin kaikkiin tekijöihin voidaan vaikuttaa ja varautua kasvinjalostuksella. Pitempään kasvukauteen voidaan jalostaa satoisampia lajikkeita, jotka kestävät pitkiä kuivuuskausia. Kasvinjalostuksella voidaan vaikuttaa myös kasvien tauti- ja tuholaiskestävyyteen. Pitemmän



kasvukauden eteläisempiä lajikkeita ei voida suoraan kopioida Suomen pohjoisiin olosuhteisiin, koska valon määrä ei muutu ilmastonmuutoksen myötä ja tietyille leveysasteelle soveltuvat lajikkeet ovat sopeutuneet siellä vallitseviin valo-olosuhteisiin.

Sateisuuden lisääntymiseen voidaan varautua tehostamalla peltojen kuivatusta ja parantamalla salaojituksia. Säätsalaojitusta voidaan käyttää myös kuivuuden haittojen ehkäisyssä, jolloin samalla vähennetään peltomaasta ilmaan karkaavan hiilen määrää.

Todennäköisesti taloudelliset riskit kasvavat maataloudessa ilmastonmuutoksen myötä. Suomessa oli maataloudessa aikaisemmin käytössä valtion rahoittama satovahinkokorvausjärjestelmä. Vuonna 2015 siirryttiin yksityisten vakuutusyhtiöiden hoitamaan satovakuutusjärjestelmään. Satovakuutusjärjestelmä ei ole saanut kovin suurta suosiota viljelijöiden keskuudessa osittain EU:n pinta-alapohjaisen maataloustukipolitiikkajärjestelmän takia, jonka kautta tulee iso osa kasvinviljelytilojen tuloista. Todennäköisesti satovakuutusjärjestelmän merkitys ilmastonmuutoksen myötä lisääntyy, kun viljelyyn käytettävien tuotantopanosten hinnat nousevat enemmän kuin odotettavissa olevan sadon arvo.

Maatalouden tutkimuspanostusta tarvitaan kasvinjalostukseen, kylvö- ja korjuuteknologian kehittämiseen, mekaanisen kasvinsuojelun kehittämiseen pyrittäessä kemiallisen kasvinsuojelun vähentämiseen sekä maaperän kosteusolojen säätämiseen joko säätsalaojituksen tai keinokastelun avulla.

## 8.2.2 Metsätalouden innovaatiot

Ilmastonmuutos aiheuttaa Suomen metsille kasvavan luonnontuhojen riskin. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen on siis näihin riskeihin sopeutumista. Lähtökohtaisesti Suomessa metsien hoidon ohjeistus (Äijälä ym. 2019) ottaa huomioon kehittyvän tuhoriskin, ja siten ohjeistusta noudattava metsänhoito sopeutuu ilmastonmuutokseen proaktiivisesti. Sopeutumista tukevia innovaatioita kuitenkin tarvitaan, jotta metsänhoito-ohjeistus olisi tuhojen vaikutuksia ennaltaehkäisevää ja jotta tuhojen toteutuessa niiden aiheuttamat vauriot saadaan minimoitua.

Eräs keskeinen innovaatioiden kohde on kehittää tuhonaiheuttajien ja tuhojen kartoitusta ja seurantaa. Esimerkiksi sieni- ja hyönteistuhoihin on mahdollista puuttua, jos ne havaitaan tarpeeksi aikaisin ja niiden leviämisdynamiikka ymmärretään riittävän hyvin. Myös metsäpalojen hallinnassa hyödytään kyvystä reagoida nopeasti. Innovaatiot voisivat kohdistua automatisoituihin järjestelmiin, ennustemalleihin ja esimerkiksi miehittämättömillä ilma-aluksilla (dronit) tuotettaviin kaukokartoitusaineistoihin. Inno-

vaatioita tarvitaan myös siihen, kuinka seurantatieto ja toimintaohjeistus saadaan välitettyä metsänomistajille. Tätä varten tarvitaan innovaatioita riskiennusteiden viestintään ja neuvontapalveluihin. Tällaiset palvelut voisivat perustua digitaalisiin ratkaisuihin kuten netti- tai puhelinsovelluksiin.

Ilmastonmuutos vaikuttanee myös Suomen metsävakuutusmarkkinoihin. Yksityisen ja julkisen sektorin yhteisprojektein voisi olla mahdollista kehittää uusia laskentamalleja riskianalyyseiksi ja metsävakuutusmarkkinoiden kehittämiseksi.

Innovaatioita voidaan kehittää myös metsien riskialttiuden vähentämiseksi ja resilienssin lisäämiseksi. Jo nyt metsänhoitosuosituksissa korostetaan kuusivaltaisuuheen liittyvien riskien huomioimista ja sekametsien roolia varautumiskeinona ilmastonmuutoksen riskeihin. Eri puulajien ja esimerkiksi niiden kokorakenteen optimaalinen hyödyntäminen ilmastonmuutokseen sopeutumisessa vaatii kuitenkin tutkimustyötä ja metsänhoidon innovaatioita. On myös mahdollista, että sekametsiin liittyvien positiivisten ulkoisvaikutusten täysimääräiseksi hyödyntämiseksi tarvitaan myös uudentyyppisiä ohjauskeinoja ja taloudellisia kannustimia.

### 8.2.3 Sähköjärjestelmäinnovaatiot

Sähköjärjestelmän haavoittuvuus ilmastollisia häiriöitä vastaan sekä sen operointi käsiällä olevan energiamurroksen myötä luo tarpeita uudentyyppisille sähköjärjestelmäratkaisuille (TEM 2018). Tämä käsittää uusia teknologisia sähköverkkoratkaisuja sisältäen verkon rakennustekniikoita ja uusia älykkäitä sähköverkkokomponentteja, kehittyneitä sähköntuotantolaitteistoja sekä tietojärjestelmien kehitystä (Lassila et. al 2019). Perinteisen yksisuuntaisen sähkönsiirtojärjestelmän sisälle on tulevaisuudessa mahdollista rakentaa paikalliseen saareketoimintaan kykeneviä itsenäisiä verkon osia, joissa jatkuva sähkötehotasapaino kulutuksen ja tuotannon välillä pidetään yllä paikallisen tuotannon, energiavarastojen sekä sähkönkulutusjoustop avulla (Haakana et. al 2021). Suomessa on nykyisellään toimialalla korkealaatuista tutkimusta ja yritykset ovat eturintamassa kehittämässä uusia ratkaisuja sekä suomalaisen infrastruktuuriin että myös kansainvälisesti. Asia koskettaa muun muassa energiateollisuutta, sähkölaiteteollisuutta, akkuteollisuutta, konepajateollisuutta sekä tietojärjestelmä- ja ohjelmistoyrityksiä.

### 8.2.4 Tulvariskien hallinnan innovaatiot

Maa- ja metsätalousministeriö hyväksyi vuoden 2021 lopussa tulvariskien hallintasuunnitelmat vuosille 2022–2027. Tulvariskien hallinnan suunnittelussa suositaan

mahdollisuuksien mukaan monihyötyisiä toimenpiteitä, jotka tukevat niin vesien hyvän tilan saavuttamista kuin tulva- ja kuivuusriskien hallitsemista. Toimenpiteet voivat lisätä samalla myös luonnon monimuotoisuutta ja hillitä ilmastonmuutosta. Esimerkiksi valumavesiä valuma-alueella laajasti viivyttämällä voidaan pienentää tulvahuippua, nostaa alivirtaamia, pidättää ravinteita, ennallistaa uhanalaisia tulvametsiä ja lisätä hiihlen sidontaa. Antamalla tulvan levitä alueelle, jossa siitä ei ole haittaa vaan päinvastoin hyötyjä, voidaan näin suojella joen alapuolista tulvariskialuetta, josta tulvasta aiheutuisi vahingollisia seurauksia.

## 8.3 Lämpileikkavat innovaatiot

Maailmassa on muodostumassa melko laaja yhteisymmärrys ilmastotietopalvelujen tärkeästä roolista sopeutumisessa (New ym 2022) sekä suunnitteluvaiheessa että toimeenpanossa ja seurannassa. Kasvaava määrä tutkimuksia osoittaa, että ilmastotietopalvelut muodostavat olleellisen rakennuspalikan kestävän ja ilmastoneutraalin yhteiskunnan kehittämisessä (Jacobs ja Street 2020). Periaatteessa ilmastotietopalvelujen kustannus-hyötysuhde voi olla aika korkea, mutta sen potentiaalinen toteuttaminen edellyttää usein vielä sekä tuotekehitystä että organisationaalaisia ja hallinnollisia (governance) innovaatioita (Perrels ym 2020; Halsnaes ym 2020). Tämä ympäristötietopalvelujen kehitys on laajempi kuin pelkästään ilmasto(tieto)palvelut ja liittyy esimerkiksi älykkääseen kaupunkikehitykseen jonka yhteydessä kehitetään 'Integrated Urban Services' (IUS) -palveluja (Baklanov ym. 2020; Mills ja Futcher 2020).

Pelkästään Euroopassa ilmastotietopalvelujen markkina-arvo nousee mahdollisesti yli 10 miljardia euroa (Perrels 2020) vuoteen 2030 mennessä. Suomessa uusi Ilmasto-opas.fi-sivusto on esimerkki tästä, mutta ilmastotietopalvelujen menestys tarkoittaa juuri, että alustavat tai peruspalvelut generoivat paljon uusia innovatiivisia kaupallisia ja julkisia/yhteisiä tietopalveluja monille erilaisille käyttäjille ja ryhmille. Kun Suomessa sekä teknillinen osaaminen että uusien yhteistyömallien kehittäminen ovat korkeatasoisia, syntyy myös vientimahdollisuuksia.

## 9 Johtopäätökset ja suositukset

### Luonnonilmiöiden havaitut taloudelliset vaikutukset lähihistoriassa

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen talouteen johtuvat sekä Suomessa että muissa maissa tapahtuvista ilmiöistä ja niiden seurauksista. Toistaiseksi on vielä paljon ilmastonmuutoksen aiheuttamia vaikutuksia, joiden seurauksia Suomelle ei ole riittävästi tutkittu. Erityisesti ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia ei ole tunnettu hyvin. Tiedon puutteellisuuden syyt ovat: (1) vähän tutkitut tai tutkimattomat aiheet, (2) vaikutusmekanismien kompleksisuus ja (3) tietojen saatavuuden rajoitukset.

Kustannustietojen puutteellisesta saavutettavuudesta huolimatta pystymme antamaan kuvan luonnonilmiöiden kustannusten suuruusluokasta ja kansantaloudellisesta merkityksestä. Vaikka tietyistä kustannusvaikutuksista, kuten tuholaisien ja tautien aiheuttamista vahingoista metsäsektorissa, on vaikea arvioida (ääri)sään osuutta, kokonaisvaikutelma on, että sään ääri-ilmiöistä johtuvat vuosittaiset rahalliset kustannukset Suomessa ovat keskimäärin aika maltillisia kansantalouteen ja myös muihin maihin verrattuna. Lähihistorian taso on noin 90 miljoonaa euroa, mutta vuosittainen vaihtelu on helposti 30 miljoonaa euroa.

Edellä mainitut luvut edustavat pelkästään rahallisia eli transaktiopohjaisia kustannuksia. Kun kyse on myös sosiaalisista ja ympäristöllisistä vahingoista, ihmiset voivat kokea myös haittoja, joihin ei liity suoraviivaista rahallista korvausta. Näitä voidaan arvioida muun muassa niin sanotun maksuvalmiuden (willingness to pay WTP) pohjalta. Maksuvalmiuspohjaiset arvioinnit voivat sisältää myös varsinaiset (rahalliset) kustannukset, mutta usein ei-rahallinen osa on suurempi. Luonnonilmiöiden kustannukset, joista tiedämme maksuvalmiuspohjaiset arviot, ovat yhteensä keskimääräisesti vuosittain noin 350 miljoonaa euroa.

Nämä summat kattavat valtaosan rahallisista kustannuksista mutta eivät kaikkia. Eri terveysvaikutukset, esimerkiksi hellejaksoista johtuen, eivät ole mukana. Suomessa helleaallot lisäävät selvästi kuolemantapauksia, keskimääräisesti jopa 200–400 vuodessa, minkä lisäksi hellejaksojen aikana monet heikkokuntoiset tarvitsevat lisää hoitoa. Tässä hankkeessa ei ole erikseen tutkittu luonnolle aiheutuvia vahinkoja. Ne ovat kuitenkin osin edustettuina metsätalouden vahinkolaskelmissa.

Ilman hyvinvointikomponenttia lähihistoriassa havaittujen luonnon ääri-ilmiöiden aiheuttamien kokonaisvahinkojen arvo on vajaat 0,1 % Suomen bruttokansantuotteesta. Jos kustannusarvioinnissa otetaan huomioon hyvinvointikustannuksia niin paljon kuin mahdollista, kokonaissumma nousee noin 400 tai 500 miljoonaa euroon, joka edustaa

noin 0,2 % Suomen bruttokansantuotteesta. Nämä kustannusluvut perustuvat lähihistorian tapahtumiin, joissa ilmastonmuutos ei ole erikseen huomioitu eikä selvästi havaittavissa. Yleensä väestön- ja talouskasvu dominoivat mahdollisia trendimaisia muutoksia kustannuksissa.

Tutkimuksessa tuli esiin, että puutteellisista tiedoista huolimatta bioottiset riskit sekä metsä- ja maataloudelle että ihmisille muodostavat todennäköisesti merkittäviä taloudellisia riskejä, myös ilmastonmuutoksen yhteydessä. Bioottiset riskit viittavat tuholaisiin, vieraslajeihin ja tauteihin. Vaikka bioottisia riskejä aiheuttavat monet syyt, ilmastonmuutos ja ääri-ilmiöt voivat edistää näitä riskejä. Esimerkiksi keski- ja minimilämpötilojen nousu voi edistää tuholaiden lisääntymistä tehokkaasti.

## Ilmastonmuutoksen aiheuttamat taloudelliset riskit Suomelle

Näyttää siltä, että Suomessa luonnon ääri-ilmiöt eivät aiheuta merkittävästi kustannuksia ja ilmastonmuutos ei todennäköisesti muuta tätä paljon. Tutkimus on toisaalta osoittanut, että hitaasti muuttuvat toimintaolosuhteet, lämpötilan nousun ja sadannan muutosten takia, voivat lopulta aiheuttaa selvästi suuremmat taloudelliset vahingot kun ääri-ilmiöt, jos sopeutuminen jää vähäiseksi.

Ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset maatalouden ja metsätalouden toimintaolosuhteissa voivat aiheuttaa satojen miljoonien menetyksiä näille toimialoille vuoden 2030 jälkeen. Vaikka erotus perusuran ja ilmastonmuutokseen liittyvien sopeutumistapakoh- taisten kustannuskehitysten välillä vaihtelee vuosien 2020-2070 ajanjakson aikana, kustannusten kasvu on pysyvä seuraus. RCP4.5-skenaarion mukainen melko voimakkaasti muuttuva ilmasto aiheuttaa metsätaloudessa selvästi vielä lisää kustannuksia vuoden 2040 järkeen. Toisaalta molemmilla toimialoilla proaktiivinen eli ennakoiva sopeutuminen vähentää kustannuksia systemaattisesti. Siksi on melko todennäköistä, että ennakoiva sopeutumisstrategia kannattaa, ainakin näillä tarkastelluilla toimialoilla. Ennakoiva sopeutumisstrategia tarkoittaa, että tietojen ja tutkimuksen perusteella toteutetaan ajoissa (ennakoituvasti) sopeutumiskeinot ja toimintatavat kustannuksien välttämiseksi ja etujen kasvattamiseksi. Ennakoiva sopeutuminen ei välttämättä aina tarkoita, että isot investoinnit toteutetaan yhdellä kertaa. On tehokasta, jos ennakoiva sopeutuminen sisältää myös oppimismahdollisuuksia ja sen yhteydessä investoidaan joskus asteittain.

Tutkimuksessa tarkasteltiin karkealla tasolla ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia myös matkailuun, terveysalaan, vesihuoltoon ja tieliikenteeseen. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat välittömät kustannukset matkailulle, vesihuollolle ja tieliikenteelle jäävät todennäköisesti pieniksi, minkä vuoksi niiden kansantaloudelliset vaikutuksetkin ovat marginaalisia. Tietyissä (maa)kunnissa matkailun ja vesihuollon toimialoille

voi mahdollisesti syntyä merkittäviä kustannuksia (maa)kunnan talouden kokoon verrattuna. Ilmastonmuutoksen taloudellisista kustannuksista terveysalaan ei ole tarpeeksi tietoa, jotta niistä pysyttäisiin antamaan kokonaiskuvaa.

## Kansantaloudelliset vaikutukset

Vaikka Suomessa tapahtuisi suuri ja kallis vesistö- tai rannikotulva, mallilaskelmien mukaan kansantalous toipuu siitä aika nopeasti. Muissa vauraissa maissa tehdyt tutkimukset ovat tuoneet samankaltaisia tuloksia. Vauraissa maissa, joissa pelastustoiminta, vakuutusala ja julkinen sektori ovat riittävän tehokkaita, resilienssi on yleensä korkealla tasolla. Resilienssi tarkoittaa tietoista ja ennakoivaa kykyä toimia joustavasti häiriötilanteissa tai muutoksissa, sopeutua niihin sekä toipua ja kehittyä niiden jälkeen. Paikallistasolla toipumisen onnistuminen voi vaihdella.

Toisaalta ilmastonmuutoksen aiheuttamat metsä- ja maatalouden pysyvät menetykset vaikuttavat selvästi kansantalouteen. Vaikutuksia on tutkittu RegFinDyn-mallilaskelmilla kahdessa eri skenaariossa:

- SSP1-RCP2.6-skenaario edustaa kestävästä kehitystä ja maltillista ilmastonmuutosta. Siinä bruttokansantuotteen menetys jää noin -0,1 prosenttiin vuosina 2040 ja 2070, jos sopeutuminen on reaktiivista. Proaktiivinen eli ennakoiva sopeutumistapa vähentää tässä skenaariossa negatiivista vaikutusta tehokkaasti, noin 65 %.
- SSP3-RCP4.5-skenaario taas edustaa vähemmän yhteistyökykyistä ja epätäydellisempää maailmaa sekä keskitien ilmastonmuutosta. Tämä skenaario aiheuttaa suuremman bruttokansantuotteen menetyksen, joka on kuitenkin edelleen hyvin maltillinen moniin muihin maihin verrattuna. Reaktiivinen sopeutumisstrategia johtaa -0,25 %:n menetykseen bruttokansantuoteessa noin vuonna 2070. Proaktiivinen sopeutumisstrategia vähentää vaikutuksia noin 60 %:lla.
- Proaktiivinen sopeutuminen tarkoittaisi koko 50 vuoden tarkastelujakson aikana kumulatiivisesti skenaariosta riippuen yhteensä noin 5–8 miljardia euroa (nykyarvo 2 %:n diskonttokorolla) pienemmät menetykset kansantalouteen reaktiiviseen sopeutumiseen verrattuna. Nämä kansantaloudelliset vaikutukset eivät sisällä ilmastonmuutoksen aiheuttamia kansainvälisiä kilpailukyyn muutoksia.

## Kansainväliset vaikutukset ja niiden heijastuminen Suomeen

KUITTI-hankkeessa tarkasteltiin GTAP-mallin avulla, miten lämpötilan nousu ja korkeiden lämpötilojen yleistyminen vaikuttavat teholliseen työpanokseen ja kansantalouteen maailmanlaajuisesti sekä mitkä ovat heijastevaikutukset Suomen talouteen.

Hellejaksot voivat Suomessakin aiheuttaa hyvinvointimenetyksiä. Suomen ja Pohjoismaiden suhteellinen kilpailukyky muihin maihin verrattuna kuitenkin paranee, kun vuositasolla keskimääräinen tehollinen työpanos alenee ilmaston lämpenemisen seurauksena vain vähän tai jopa paranee ilmastoskenaariosta riippuen. Muualla maailmassa ja erityisesti päiväntasaajan lähetyvillä lämpeneminen puolestaan alentaa selvästi keskimääräistä tehollista työpanosta. Tämän heijastevaikutus Suomen kansantaloudelle olisi GTAP-mallilaskelman mukaan lievästi positiivinen. Kirjallisuuden ja KUITTI-hankkeen tarkastelujen perusteella vaikuttaa kuitenkin siltä, että heijastevaikutuksen suunta on riippuvainen työn tuottavuusmuutoksista tai tehollisen työpanoksen muutoksista eri alueilla sekä talouslaskentamallin oletuksista ja aineistosta.

Toinen kansainvälinen tarkasteluaihe on ollut ilmastonmuutoksen vaikutukset eri maiden maatalouteen. Sinänsä ilmastonmuutoksen vaikutukset suomalaiseen viljelyyn ovat sopeutumisen onnistuessa osittain jopa myönteisiä, kun esimerkiksi sato hehtaarilla kohden voi kasvaa, mutta samanaikaisesti joissakin muissa maissa, muun muassa Länsi- ja Pohjois-Euroopassa, syntyy myös myönteisiä vaikutuksia (negatiivisten vaikutusten ohella). GTAP-mallilaskelmien mukaan pitkän aikavälin heijastevaikutus Suomen talouteen on hyvin pieni ja sen suunta riippuu käytetyistä satoisuusarvioista, joihin liittyy huomattavaa epävarmuutta. Jos viljelykasvien satoisuudet maailmalla pääosin paranisivat, heijastevaikutus Suomen talouteen olisi lievästi positiivinen. Jos taas satoisuudet maailmalla heikkenisivät ilmastonmuutoksen ja epäonnistuneen sopeutumisen seurauksena, heijastevaikutus Suomen talouteen olisi negatiivinen vaikka maatalouden kilpailukyky paranisikin.

Hankkeen laskelmat kuvaavat ilmastonmuutoksen kansainvälisiä heijastevaikutuksia Suomen talouteen sopeutumisen jälkeen. Lyhyen aikavälin vaikutukset voivat olla selvästi vahingolliset myös Suomelle. Hankkeessa tarkasteltujen ilmiöiden lisäksi merkittäviä, joskaan ei yleensä pysyviä, haittoja erityisesti lyhyellä aikavälillä voi aiheutua muun muassa ulkomaankaupan kuljetusten katkoksista tai häiriöistä. Jos ilmastonmuutoksen pysähtyminen viivästyy pahasti ja esimerkiksi trooppisten alueiden elinot heikkenevät, suurimittainen muuttoliike ja siirtolaisuus voivat aiheuttaa maailmanlaajuisesti merkittäviä haasteita talouteen myös pidemmällä aikavälillä.

## Innovaatioiden mahdollisuudet

Hankkeessa toteutetun kyselyn tulokset osoittavat, että yritysten ja kuntien tietoisuus ilmastonmuutoksen aiheuttamista aineellista riskeistä on kasvanut ja niillä on kiinnostusta investoida sopeutumiseen. Lähes kaikki vastaajat vahvistavat, että ilmastonmuutoksen aineelliset seuraukset vaikuttavat heidän organisaatioidensa toimintaan jo nyt (81 %), tai odottavat, että seuraukset alkavat vaikuttaa (10 %). Monet yritykset ja kunnat tunnistavat myös, että ilmastonmuutos tuo sekä kustannusriskejä että toimin-

tamahdollisuuksia (positiivisia riskejä). Valtaosa organisaatioista on parantanut toimintavarmuuttaan Suomen tai ulkomaiden luonnon ääri-ilmiöiden suhteen viime vuosina tai suunnittelee sellaisia investointeja ja toimenpiteitä. Yritykset ja kunnat katsovat, että valtaosa näistä investoinneista ja toimenpiteistä sisältävät innovaatioita. Kyse on sekä prosessi- että tuoteinnovaatioista. Ilmeisesti innovaatioiden kannattavuutta on vaikea arvioida (58 %), mutta jos kannattavuudesta on tietoa, se on ilmeisesti riittävä tai jopa parempaa kuin ennustettu.

Tärkeitä innovaatioteemoja maataloudessa ovat muun muassa kasvilajien jalostus pidemmän kasvukauden hyödyntämiseksi, kasvinsuojelun kehittäminen, maaperän vesitalous ja kasvukunto kasvavan sateisuuden takia ja hiilen sidonnan edistämiseksi sekä satovakuutusjärjestelmän kehittäminen. Innovaatiotarve koskee myös uusia vakuutus tuotteita ja sitä varten tarvittavaa taustatutkimusta.

Metsänhoidossa otetaan lähtökohtaisesti huomioon erilaiset tuhoriskit. Sopeutumista tukevia innovaatioita kuitenkin tarvitaan, jotta metsänhoito-ohjeistus ennaltaehkäisisi tuhojen vaikutuksia ja jotta tuhojen toteutuessa niiden aiheuttamat vauriot saataisiin minimoitua. Eräs keskeinen innovaatioiden kohde on kehittää tuhonaiheuttajien ja tuhojen kartoitusta ja seurantaa esimerkiksi dronien avulla, myös paikallisten sää- ja ilmastolosuhteiden yhteydessä.

Innovaatiot voivat samanaikaisesti palvella sähköjärjestelmän puhtaan energian murrosta ja ilmastomuutokseen varautumista paikallisten älyratkaisujen avulla. Tätä varten Suomesta löytyy korkealaatuista tutkimus- ja tuotekehityskapasiteettia. Tulvariskien hallintaan liittyvät ratkaisut voivat olla paikallisesti innovatiivisia Suomessa, mutta tällaiset räätälöidyt ratkaisut usein eivät sovi helposti toiseen paikkaan tai maahan. Mahdollisesti taloudellisesti mielenkiintoinen ratkaisu olisi hyödyntää monikäyttöisiä ylivuotoalueita varausmaksuineen. Tällaiset hallinnolliset innovaatiot voivat olla myös vientituote osana vesihuollon konsultointipalveluja.

Sopeutumistoiminnassa ilmastotietopalveluilla ja rakennetun ympäristön tietopalveluilla on tärkeä rooli. Tämä tietopalveluala tarvitsee vielä kaikenlaista kehitystä, tieteellistä teknillistä ja hallinnollista. Hallinnollista aspektia on tärkeä kehittää, sillä tietopalveluiden kehittäminen edellyttää tietojen avoimuutta ja jakamista. Kokonaisuudessaan kyse voi olla merkittävästä markkinasta, jonka palvelut tehostavat yleisesti kansantaloutta ja yhteiskuntaa.



## Liite 1 – Sanasto ja käsitteet

Käsite	Selostus
Aineelliset vahingot	Vahingot luonnossa ja rakennetussa ympäristössä mitattuna volyymin, painon tai lukumäärän mukaan
Abiootiset riskit	Äärimmäisten sääolosuhteiden potentiaali vahingoittaa maataloutta, metsäsektoria, luonnon ekosysteemejä, rakennuksia, infrastruktuuria ja ihmisiä välittömästi tai viiveellä (esim. kumuloivan kuormituksen takia)
Biootiset riskit	Riskit ovat erityisesti relevantteja maataloudelle, metsäsektorille, ihmisille ja luonnon ekosysteemien tasapanoille; keskilämpötilan nousun ja sadannan kasvu luovat suotuisia olosuhteita vieras- ja tulokaslajeille, (vektorivälitteisille) tauteille, hyönteisvitsauksille ja sienille; abioottiset ilmiöt, kuten sään ääri-olosuhteet, voivat kasvattaa bioottisia riskiä aineellisten vahinkojen takia.
Haavoittuvuus	Haavoittuvuus viittaa ihmisten, teknisten rakenteiden ja yhteiskuntien herkkyyteen ja sopeutumiskykyyn sään ja ilmaston vaikutuksille. Monet erityisryhmät, kuten vanhukset ja pitkäaikaissairaat, ovat haavoittuvia sään ääri-ilmiöille, esimerkiksi helteille.
Keikahduspiste	Ilmastojärjestelmän keikahduspisteen (tipping point) ylitymisen jälkeen muutos ei palaudu pitkään aikaan (esimerkiksi Grönlannin mannerjäätikön sulaminen) tai ruokkii itseään (esimerkiksi ikiroudan sulaessa vapautuva metaani). Ilmastonmuutoksessa tiettyjen keikahduspisteiden ylittyminen voi aiheuttaa yllättäviäkin muutoksia luonnonympäristössä, mikä voi johtaa vaihteleviin ja vaikeasti ennakoitaviin yhteiskunnallisiin vaikutuksiin.
Perusura	Perusura kuvaa talouden arvioitua kehitystä ilman tarkasteltavaa muutosta.
Sopeutuminen	Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tarkoittaa ihmisen ja luonnonjärjestelmien kykyä toimia nykyisessä ilmastossa ja kykyä varautua ilmastossa tapahtuviin muutoksiin. Toisaalta sopeutumisen avulla vähennetään altistumista ilmastonmuutoksen riskeihin ja toisaalta vähennetään ihmisten, alueiden ja toimialojen haavoittavuutta. Altistuminen tarkoittaa ihmisten, yhdyskuntien ja infrastruktuurin sekä ekosysteemien ja luonnonvarojen sijoittumista sellaiseen paikkaan, jossa niille aiheutuu mahdollisesti vahinkoa tai vaaraa. Sopeutumisen tavoite ei ole vain altistumisen ja haavoittuvuuden vähentäminen välittömien (aineellisten) vaikutusten suhteessa, vaan myös välillisten vaikutusten suhteessa (kuten taloudelliset seuraukset). Jos tämä kokonaisuus toimii hyvin, resilienssi paranee.

Käsite	Selostus
Tehollinen työpanos	Valtion varsinaisesti mahdollinen kokonaistyömäärä korjattuna ilmastomuutoksen vaikutuksista työkykyiselle työvoimalle sekä tuottavuudelle
Ääri-ilmiö	Sään tai luonnon ääri-ilmiöstä puhutaan, kun ilmiö on harvinainen tai sen vaikutus on merkittävä. Tarkkaa määritelmää ei ole. Usein tarkoitetaan säätilannetta, jossa yksi tai useampi suure saavuttaa harvinaisen arvon. Esimerkiksi ajankohtaan ja paikkaan nähden alhainen/korkea lämpötila, suuri tuulen nopeus/sademäärä, jne. Ääri-sääilmiö voi olla myös suureiden yhdistelmä, esim. sankan lumipyryn aikana lumisade on runsasta ja tuuli voimakas. Jos sää- tai luonnonilmiön vaikutus on merkittävä, saatetaan puhua ääri-ilmiöstä. Esimerkiksi satotappio on suuri, jos kasvusto on erityisen herkässä vaiheessa, vaikka kadon aiheuttanut sääilmiö ei olisi erityisen harvinainen tai voimakas.
Mareografi	Mareografi on meriveden korkeuden mittausasema. Mareografissa on vaimennusputkella mereen yhdistetty mittauskaivo, jossa kelluke osoittaa meriveden korkeuden. Syvällä pinnan alla sijaitseva vaimennusputki poistaa aallokon vaikutuksen mutta välittää meriveden pinnan vaihtelun mittauskaivoon.

## Liite 2 – Riskiketjujen kuvaukset

### L2.1 Tulvatapahtumien riskiketjut

Suomessa tulvariskit ovat moniin muihin maihin verrattuna vähäisiä. Tämä johtuu siitä, että järvet tasaavat virtaamia ja korkeuserot ovat pieniä. Suomi on myös harvaan asuttu, eikä rakennuspaineita ole kohdistunut laajemmin tulvavaara-alueille. Näin ollen tulville altistuminen on myös vähäisempää. Tulvien riskit on Suomessa myös hyvin tiedostettu ja tulvariskien hallintaa on tehty jo pitkään. Esimerkiksi Kyrönjoella tulvasuojelua on toteutettu jo 1800-luvulta lähtien. Kansallinen tulvariskilaki ja asetus ovat kuitenkin ohjanneet systemaattista työtä tulvariskien vähentämiseksi ja tulviin varautumiseksi jo yli kymmenen vuoden ajan.

Tulvariskit on arvioitu valtakunnallisesti. Arvioinnin perusteella on nimetty 22 merkittävää tulvariskialuetta. Niistä 17 on sisämaan vesistöjen varrella ja 5 rannikolla. Näillä ja yli 100 muulle alueella sekä koko rannikkoalueelle on laadittu tulvakarttoja. Kartat kertovat, mihin vesi leviää tulvatilanteessa ja mitä vahinkoja ne voivat aiheuttaa. Toimenpiteet tulvariskien pienentämiseksi kohdennetaan näille riskialueille ja niiden valuma-alueille, jotka kattavat yli puolet Manner-Suomen pinta-alasta, mutta toisaalta tulvariskien hallinnan suunnittelua tehdään myös muilla alueilla Suomessa<sup>1</sup>.

Tulvariskien hallinnan suunnittelu on hyvä esimerkki ilmastonmuutokseen sopeutumistyöstä. Sitä tehdään jatkuvasti muiden sopeutumistoimien rinnalla. Edellä kuvatut vaiheet toistuvat kuuden vuoden välein. Näin olleen käytössä on aina uusien tietopohjan tulvariskeistä, ilmastonmuutoksen vaikutuksista kuin toimenpiteiden vaikuttavuudesta. Tulvakartat tarjoavat paremman tietopohjan kuin monen muun ilmastonmuutokseen kytkeytyvän ilmiön osalta on käytettävissä. Ne mahdollistavat sopeutumistoimien kohdentamisen riskialueille. Suunnitelmat ja toimenpiteet laaditaan myös siten, että ne ovat mahdollisimman joustavia ilmaston ja ympäristön muutoksiin (Parjanne ym. 2021).

Tulvat aiheuttavat vahingollisia seurauksia terveydelle, turvallisuudelle, ympäristölle, yhteiskunnan infrastruktuurille, taloudelliselle toiminnalle ja kulttuuriperinnölle. Suomessa tulvariskin arvioidaan 2–3-kertaistuvan vuosisadan loppuun mennessä ilman lisätoimenpiteitä (Parjanne ym. 2018). Tehokkaalla tulvariskien hallinnalla tulvien vahingollisia vaikutuksia voidaan kuitenkin pienentää. Varautumisen tarvetta lisäävät il-

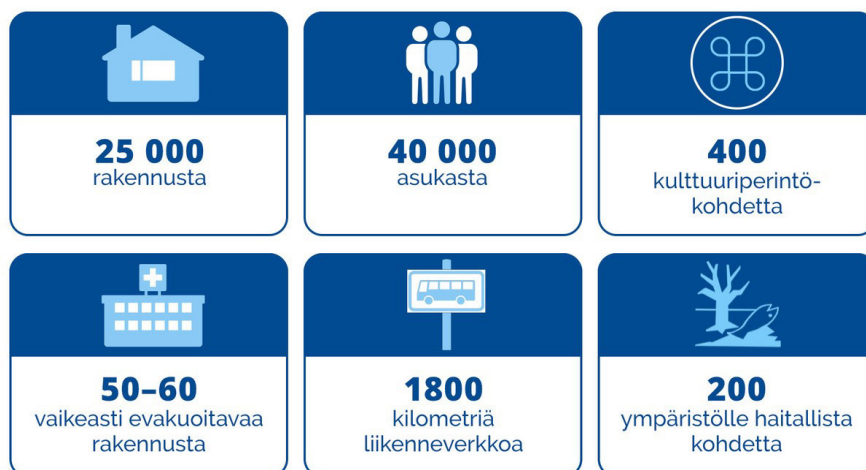
---

<sup>1</sup> <https://www.vesi.fi/vesitieto/miten-tulvariskeja-hallitaan>

mastonmuutos, rakentamisen lisääntyminen ja teknistyminen sekä muutokset väestörakenteessa, kuten asumisen keskittyminen tiheille taajama-alueille ja väestön ikääntyminen.

Tulvakarttojen sekä muiden paikkatietoaineistojen sekä aineistoille tehtyjen tarkistusten perusteella paikkatietoanalyysin tuloksena saadaan varsin hyvä kuva alueiden tulvariskeistä nykytilanteessa. Alla olevassa Kuva L.9.1 on esitetty merkittävien tulvariskialueiden keskeiset tulvariskit erittäin harvinaisella, nykyisessä ilmastossa tilastollisesti kerran tuhannessa vuodessa toistuvalla tulvalla. Tulvavaarassa olevien asukkaiden määrä merkittäville tulvariskialueilla on pysynyt suunnilleen samalla tasolla tulvakarttojen valmistumisesta (2013) lähtien.

**Kuva L.9.1** Suomen merkittävien tulvariskialueiden tunnuslukuja tulvavaarassa olevista kohteista nykyisessä ilmastossa keskimäärin kerran tuhannessa vuodessa toistuvalla tulvalla<sup>2</sup>.



Arvot ovat noin-lukuja.

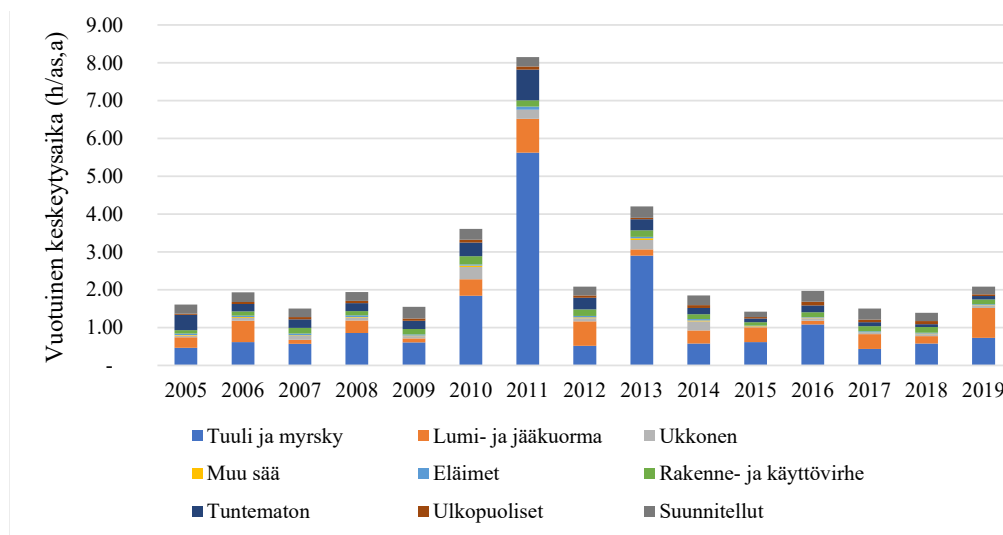
## L2.2 Sähkönjakelun riskiketjut

Sähkönjakelun luotettavuus on Suomessa hyvällä tasolla erityisesti kaupunki ja taajama-alueilla. Tätä on edesauttanut jatkuva sähkönjakeluinfrastruktuurin kehittäminen ja myös viimevuosien jakeluverkon maakaapelointi. Keskimäärin suomalainen sähkönjakelun asiakas on kokenut viimeisen kymmenen vuoden aikana keskeytyksiä 2,8

<sup>2</sup> <https://www.vesi.fi/vesitieto/tulvariskialueet/>

tuntia vuodessa ja vuotuisten keskeytysten vaihteluväli on ollut 1,5– 8,1 tuntia. Tilastoja lähemmin tarkasteltaessa voidaan huomata kuitenkin, että keskeytykset painottuvat hyvin vahvasti maaseudulla sijaitseville sähkökäyttäjille, sillä samalla ajanjaksolla asemakaava-alueilla vuotuinen keskimääräinen keskeytysaika on ollut alle tunnin vuodessa ja viimeisen viiden vuoden aikana joka vuosi alle puoli tuntia vuodessa (Energiateollisuus 2005–2019). Kuva L.2 kuvaesittää keskimääräisen suomalaisen sähköjakelun asiakkaan vuotuisen keskeytysajan sekä erilaiset keskeytysten aiheuttajat.

**Kuva L.2** kuva Sähkönjakelun keskeytykset jaoteltuna eri keskeytysten aiheuttajiin vuosina 2005–2019 (Energiateollisuus 2022).



Sähkönjakelun keskeytysten aiheuttajissa näyttäytyy kaksi muista merkittävämpää keskeytysten aiheuttajaa, jotka ovat Tuuli ja myrsky sekä Lumi- ja jääkuorma. Tuulen ja myrskyn osuus on yhteensä 49 % kaikista asiakkaiden kokemista keskeytysajasta ja vastaavasti Lumi- ja jääkuormien osuus 16 %. Sähkönjakelun häiriöihin johtavat riskiketjut pääosin muodostuvatkin edellä mainittujen luonnonilmiöiden myötä.

Tyypillisesti riskiketjujen myötä ilmenevät sähkönjakelun häiriöt johtavat lähinnä ai-neellisiin vahinkoihin ja korvauksiin, mutta erityisesti lämmityskaudella tapahtuvat häiriöt voivat johtaa myös asukkaiden evakuointiin talojen lämmityksen keskeytyessä. Sähkönjakelun riskiketjut realisoituvat tyypillisimmin maaseutuolosuhteissa, jossa sähkönjakeluverkot ovat monin paikoin alttiina ilmastollisille häiriöille ja täten myös il-mastonmuutoksen vaikutuksille. Erityisesti ilmajohtolinjat, jotka sijaitsevat metsän ja puuston lähellä, ovat häiriöalttiita (Lassila ym. 2019). Suurin pitkien sähkönjakelun keskeytysten riski sähkölinjojen vikaantumiselle aiheutuu puista, jotka kaatuessaan esimerkiksi myrskytuulen tai lumikuorman seurauksena yltävät sähkölinjalle ja pahim-massa tapauksessa vahingoittavat sähköjohdon rakenteita merkittävästi. Tällaisissa

tapauksissa sähköjen palautus voi viivästyä korjaustyön vuoksi useiden tuntien tai jopa päivien mittaiseksi, mikä voi johtaa myös evakuointitoimenpiteisiin. Sähkönjake-  
lun keskeytysriskiä maaseutuolosuhteissa lisää haastavien ympäristöolosuhteiden li-  
säksi verrattain pitkät sähköjohtojen pituudet.

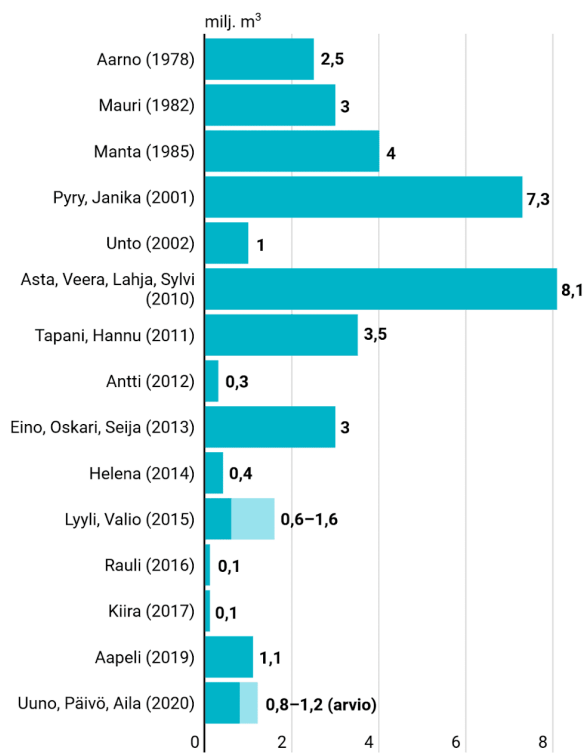
## Liite 3 – Numeriset tiedot ääri-ilmiöiden kustannuksista

**Taulukko L1** Vakuutuksista maksetut korvaukset myrskyjen aiheuttamien vahingoista metsälle ja kiinteistölle (miljoona €, maksuvuoden mukaan)

	Metsävakuutuksista maksetut myrskykorvaukset	Kiinteistövuakuutuksista maksetut luonnonilmiöiden korvaukset
2005	1,5	
2006	1,5	
2007	2,0	
2008	1,0	
2009	2,0	
2010	27,0	
2011	27,5	
2012	51,0	63,6
2013	9,7	42,3
2014	28,5	121,1
2015	10,3	68,3
2016	6,0	69,1
2017	4,0	66,6
2018	2,5	27,1
2019		8,5
2020		31,5

Lähde: Finanssiala Ry ja Tilastokeskus

**Kuva L3** Metsien myrksyvahingot, miljoona m<sup>3</sup>; Lähde: Metsätieteen aikakauskirja 2019, Suomen metsäkeskus





## Liite 4 – Luonnonilmiöiden riskitietojen saatavuus

Vaikka keskitetty sään ja muiden luonnonilmiöiden vaikutusten tilastoiva vahinkotietokanta puuttuu (Hildén ym. 2018), on Suomesta kuitenkin saatavilla erilaisia toimialakohtaisia ja teemoittaisia vahinkotilastoja.

Pelastuslaitosten PRONTO-tietokanta (<https://prontonet.fi/>) tilastoi pelastustoimen tehtävien lukumäärää sekä niiden ajallista ja alueellista jakautumista. Se antaa kattavan kuvan kaikista sään ääri-ilmiöiden aiheuttamista pelastustoimen tehtävistä ja resurssien käytöstä Suomessa, mutta se ei sisällä tarkkoja vahinkotietoja, saati kustannustietoja.

Pelastuslaitoksille tulee vuosittain useita satoja tulvista aiheutuvia tehtäviä. Tehtävät ovat suurimmaksi osaksi vahingontorjuntatehtäviä mutta sisältävät myös muita tehtävätyyppejä, kuten avunanto-, tarkastus- ja ihmisenpelastustehtäviä. SYKE on poiminut kyseiset tehtävät PRONTOsta interaktiiviseen karttapalveluun (<https://www.ymparisto.fi/tulvaindikaattorit>). Palvelun avulla voi selvittää, miten tulvatehtävien määrä on kehittynyt ja toisaalta tutkia jonkin yksittäisen tiedossa olevan tulvatapahtuman tehtävämääriä. Tietyn tulvan vähäinen tehtävämäärä saattaa kertoa onnistuneesta tulvariskien hallinnasta, esimerkiksi tulvasta on onnistuttu varoittamaan riittävän aikaisin ja asukkaat ovat ehtineet suojaamaan kiinteistönsä omatoimisesti tulvan varalta.

Tiedot merkittävistä esiintyneistä tulvista tallennetaan ympäristöhallinnon tulvatietojärjestelmään (<https://ckan.ymparisto.fi/dataset/tulvatietojarjestelma-tulvatj>) ja raportoidaan EU:n komissiolle tulvariskien alustavan arvioinnin raportoinnin yhteydessä kuuden vuoden välein. Tulvan tiedot tallennetaan ja raportoidaan kuitenkin vain valuma-alue/vesimuodostuma-tasolla.

Vakuutusyhtiöiltä saadaan nykyisin tulvavahinkotietoja vain valtakunnallisina vuosittaisina summina (ks. luku 3.2.1.1). Mahdollisimman tarkka paikkatieto esiintyneiden tulvien vahingoista, esimerkiksi vakuutusyhtiöiltä ja kunnilta, olisi ensiarvoisen tärkeää vahinkokohteiden ja monimutkaisten vaikutusketjujen tunnistamiseksi sekä toisaalta tulvariskien hallinnan onnistumisen ja sopeutumisen seurannassa. Tiedon avulla pystyttäisiin kehittämään edelleen tulvariskien arviointia ja kohdentamaan paremmin sopeutumistoimia.

Luonnonvarakeskus ylläpitää tilastot muun muassa metsävaroista ja tuotantopuuston tuhoista (valtakunnan metsien inventointi, VMI). Luonnonvarakeskus on tuottanut myös karttasovellukset lumikuormituksen riskeistä sekä tuulivahinkoriskeistä. Myös

Metsäkeskuksen keräämään metsänkäyttöilmoituksiin perustuvaa aineistoa voidaan hyödyntää metsätuhoen analysoinnissa. Nämä tiedot kuvaavat metsänomistajien tekemiä ilmoituksia metsänkäytöstä. Säähän liittyen metsänkäyttöilmoituksista voidaan erotella seuraavia tuhotyyppejä: hallatuho, lumituho, kuivuus, myrskytuho, metsäpalo, routatuho ja tulvavesituho. (VMI:ssä säähän liittyviä tuhonaiheuttajia ovat tuuli, lumi, pakkanen, kuivuus ja metsäpalo). Metsänkäyttöilmoituksiin voidaan yhdistää metsävaratieto, jolloin käyttöpaikan puustolajit ja määrät voidaan selvittää. Data on maantieteellisesti kattavaa ja antaa hyvän kokonaiskuvan metsäsektorille aiheutuneista vaikutuksista. Suurin heikkous lienee vaikeus yhdistää yksittäinen säätilanne ja tietty metsänkäyttöilmoitus, sillä raportointiviiveet voivat olla päivistä kuukausiin. Säätilanneen ja ilmoituksen yhdistäminen voi olla mahdotonta, jos useampia säätapauksia esiintyy samalla alueella lyhyen ajan sisällä. Aineiston käytettävyys on välttävää, raportointiviiveestä ja datajaksen lyhyydestä johtuen. Normalisointi vaatii manuaalista työtä. Nämä tiedot koskevat metsien aineellisia vahinkoja. Se vaatii vielä merkittävä jälkianalyysia saadakseen arviointia aineellisten vahinkojen taloudellisesta seurauksesta. Silloin on myös tärkeä ymmärtää kenelle kasaantuvat kustannukset ja edut. Laajamittainen puunkaatuminen myrskyn seurauksena on tappio metsäomistajalle, mutta saa tuoda etuja puun ostajille. <https://metsainfo.luke.fi/fi/metsatuhoriskikartta>; [https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_\\_04%20Metsa\\_\\_06%20Metsavarat/2.13\\_Eriasteiset\\_metsatuhot\\_puuntuotannon.px/](https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__06%20Metsavarat/2.13_Eriasteiset_metsatuhot_puuntuotannon.px/)

Silloinen Maaseutuvirasto hoiti satovahinkojen ilmoitukset ja korvausmaksut tietyillä ehdoilla vuoteen 2015 asti. Joka tapauksessa vuoden 2000 jälkeen vuosittaiset korvausmaksut jäivät merkittävää pienempää kuin maksettu aiemmin. Vuodesta 2016 lähtien maatilat voivat suojata satoriskeihin yksityisten vakuutusten avulla. Sen käyttöönotto jäi ilmeisesti vaisuksi eli vuodesta 2016 lähtien sään aiheuttamat satovahingot ovat vaikea arvioida.

Sähkökatkokkien tilastot ovat aika hyvässä kunnossa. Energiategollisuus Ry Tiedot on luokiteltu eri aiheuttajien mukaan, eli esimerkiksi tuuli ja myrsky, ukkonen ja tykkylumi-tapaukset on eritelty. Mukana on myös muita vikojen aiheuttajia, kuten eläimet. Tarkempaa aineistoa on mahdollisesti saatavilla erikseen pyytämällä yksittäisiltä sähköyhtiöiltä. Aineisto kattaa 12 vuoden ajanjakson historiatietoja, ja se on melko yhtenäistä ja laadukasta. Aineisto antaa kattavan kuvan sähkökatkoista ja puutuhousta, sillä valtaosa katkoista tapahtuu alueilla, missä puusto on runsasta. Aineiston käyttöä voi vaikeuttaa sen maantieteellinen jako viiteen alueeseen. Alueet on jaettu siten, että jokaisella alueella toimii vähintään kuusi sähköverkkoyhtiötä. Tämä johtuu sähköverkkoyhtiöiden kilpailuasetelman suojelemisesta. Reaaliaikaisena Enerity Solution Oy:ltä on mahdollista saada kuntatasolla olevaa vikatietoa. Datan käytettävyys on kohtalainen, historiatietojen tarkastelua varten melko hyvä, mutta paikkatarkkuutta vaativiin toimiin melko huono. Lisäksi viiden alueen historiallinen data loppuu vuoteen 2018 ja sitä ei ole enää saatavilla.

SYKEssä on vertailtu EU:n Copernicus-projektin tuottaman Basic European Assets Map:in (BEAM) eroja em. kansallisiin vahinkoarvioihin (Todorovic 2020). BEAM koostuu pääasiassa kahdesta komponentista: eri lähteistä koostetusta tilastotiedosta sekä maankäyttöaineistosta, jonka perusteella tilastotieto on hajautettu alueellisesti. Aineisto sisältää kumulatiiviset varat euroissa maankäyttöluokittain sisältäen kotitaloudet, teollisuuden ja palvelut, liikennevälineet, maatalouden, ym. sekä jokaisen tason erikseen. Aineistossa on yksi taso väestötiheydelle sekä 11 tasoa eri omaisuusvaroilta. Aineistossa yksikkönä on euroa/neliömetri.

BEAM:ia voidaan hyödyntää muun muassa viranomaisten riskienhallintatyössä ja aluesuunnittelussa. Aineisto sopii karkean luokan haavoittuvuuspotentiaalain mallintamiseen riippumatta riskityypistä, minkä vuoksi se soveltuu usean eri hasardityypin haavoittuvuuden arvioimiseen. Aineistossa yhdistyvät useat eri alueelliset ja paikalliset paikkatietoaineistot ja tilastot. BEAM:in antamat vahinkoarviot eroavat kansallisista arvioista, eikä eri alueiden tai toistuvuuksien välillä ole nähtävissä selkeää suhdetta. Kuitenkin alustavan arvion perusteella arviot ovat lähempänä toisiaan harvinaisilla, suurilla tulvilla. SYKE on laatinut BEAM:istä karttapalvelun tarkastelua varten (<https://syke.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=dd1ea4e7962b4741827feca443d46a99>).

Vakuutustiedot eri ääri-ilmiöiden vahingoista ovat saatavissa vain vuosisummat ja hyvin vähän tai ollenkaan eriteltynä ilmiötyypin mukaan, joko Finanssialan ry:n kautta tai Tilastokeskuksen vakuutustoiminnan tilastojen kautta. Nämä tiedot koskevat korjausmaksuja maksuvuoden mukaan. Analyysin näkökulmasta on tärkeä ymmärtää, että varsinaiset kustannukset ovat suurempia kuin korjausmaksuja ja vaihtelevat viiveet ilmiöiden, kustannuksien ja korjausmaksujen ajankohteiden välillä voivat olla pitkiä. Poikkeus muodostaa liikenneonnettomuuden tietokanta, joka on saatavissa Onnettomuustietoinstituutista (OTI). Tietokanta sisältää onnettomuustapauskohtaisesti tietoja paikasta, ajasta, ajoneuvoista, haavoittuneiden ja kuolleiden lukumäärästä, onnettomuustyyppistä, jne. Ajallinen ja paikallinen tarkkuus mahdollistaa linkitystä sää- ja tietön tietoihin ja näin ollen syntyy mahdollisuus analysoida tieliikenteen sääherkkyyttä kvantitatiivisesti.

Lämpörasituksen kuolleisuuden tiedot eivät ole sinänsä saatavissa, koska kuolinsy määritellään toisella tavalla terveystilastollisten ohjeiden mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että vasta myöhemmin, kuin koko vuoden terveystilastot ovat saatavissa, helleaaltojen aiheuttamat ylimääräiset kuolemantapaukset voidaan estimoida tilastollisten menetelmien avulla. Jos halutaan ymmärtää miten paljon ilmastonmuutos voi nostaa helleaaltojen kuolleisuusriskiä, tarvitaan myös altistamistiedot kuten kaupunkirakenteen ominaisuudet mikroilmastoon liittyen, sekä rakennuskannan teknilliset tiedot naapuriston tai korttelin tasolla. Ilmastonmuutoksen vaikutuksien ja sopeutumisen seurannassa ja analyysissä tarpeellisten tietojen monipuolisuus on hyvin yleinen piirre. Siksi

ilmiöiden ja vahinkotietojen laaja saaja saatavuus on niin tärkeä, joten pystymme tehostaa sopeutumisen suunnittelua ja toimenpanoa. EU LODE hanke on tuonut esimerkin miltä sellainen tietojärjestelmä voi näyttää (Menoni 2020) <https://www.lodeproject.polimi.it/information-system/>. Vastaava tietojärjestelmä keskittyy ääri-ilmiöiden vaikutusten seurantaan.

## Liite 5 – Yleisen tasapainon mallien kuvaukset

KUITTI-hankkeen makrotalouden tarkasteluissa on hyödynnetty kahta simulointimal-  
lia: RegFinDyn ja GTAP. RegFinDyn-mallinnuksissa on keskitytty Suomessa tapahtu-  
vien ilmiöiden vaikutuksiin ja GTAP-mallinnuksissa globaalitalouden kautta Suomeen  
kohdistuviin vaikutuksiin.

RegFinDyn on rakennettu Suomen aluetalouksiin kohdistuvien kokonaistaloudellisten  
vaikutusten arviointiin. Australian TERM- ja MMRF-malleista (Wittwer, 2012; Horridge  
& Wittwer, 2010; Adams ym., 2010) vaikutteita saaneesta ja Helsingin yliopiston Ru-  
ralia-instituutissa kehitetystä mallista on saatavilla lisätietoja Ruralian verkkosivuilta:  
<https://www2.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti/tutkimus/aluetaloudelliset-arvioinnit>. Las-  
kennassa käytettiin Gempack-ohjelmistoa (ks. Horridge ym., 2018).

GTAP on globaali kokonaistaloudellinen malli (Corong ym., 2017), joka soveltuu hyvin  
tarkastelemaan muualla tapahtuvien ilmiöiden vaikutuksia Suomeen. GTAP-malli on  
rakennettu Purdueen yliopistossa Global Trade Analysis Project-hankkeen alla, ja sitä  
kehitetään jatkuvasti. Myös GTAP-laskelmat ratkaistiin Gempack-ohjelmistoa käyt-  
täen.

Makrotalousmallien perusurat kuvaavat talouden kehitystä ilman skenaarioissa tar-  
kasteltavien muutosten toteutumista. KUITTI-hankkeen RegFinDyn- ja GTAP-simu-  
lointien perusurien muodostamisessa keskeisiä tekijöitä olivat BKT:n ja väestön kehi-  
tykset, jotka perustuvat IIASA:n (International Institute for Applied Systems Analysis)  
tietokannassa esitettyihin kehitysuriin (ks. Riahi ym., 2017). BKT- ja väestökehitysuria  
esitettiin luvussa 4.2.

RegFinDyn-simulointien perusurissa Suomen talouden ja väestön rakenne on kuvattu  
etenkin kansantalouden tilinpidon ja aluetilinpidon sekä väestötilastojen avulla (SVT  
2021a–2021g). Nykyhetkestä vuoteen 2070 saakka BKT:n ja väestön oletetaan kehi-  
tyvän IIASAn arvion suhteellisten muutosten mukaisesti. Toimialojen kehitys voitaisiin  
huomioida toteutettuja aluetalouselaskelmia tarkemmalla tasolla, mikä kuitenkin edel-  
lyttäisi erillisiä selvityksiä toimialojen muutoksista eri SSP- ja RCP-urilla. Tällaisten  
selvitysten myötä voisi olla mahdollista myös tarkentaa laskelmia aluetasolla. SSP:t  
eroavat toisistaan esimerkiksi ruoankulutuksen suhteen, mikä voi vaikuttaa vaihtele-  
vasti eri alueiden maatalouteen. Vastaavasti erillistä selvitystä tarvittaisiin siitä, miten  
energiantuotanto kehittyisi eri SSP- ja RCP-urilla. Rajallisista ja puutteellisista tie-  
doista johtuen tällaisia kehityskulkuja ei ole erityisesti huomioitu tämän raportin alue-  
talouselaskelmien perusurien sisällöissä.

GTAP-mallin SSP3-skenaariossa ulkomaankaupan joustot eri tuontimaiden välillä on puolitettu kuvaamaan vähäisempää kansainvälistä kauppaa. Ulkomaankaupan mallinnus on keskeinen tuloksiin vaikuttava tekijä. Ulkomaankaupan kuvauksessa on käytetty niin sanottua Armington-oletusta, jonka mukaan kotimaiset ja ulkomaiset hyödykkeet ovat epätäydellisiä substituutteja. Tämä pehmentää kilpailukyky muutosten kautta tulevia vaikutuksia. Korvattavuus on kuvattu kaksitasoisella rakenteella, jossa suhteellinen hinta määrittää ensin kotimaisen ja ulkomaisen hyödykkeen osuudet. Ulkomainen hyödyke puolestaan koostuu eri maissa/maaryhmissä tuotetuista hyödykkeistä. Mitä korkeampi jouston arvo on, sitä helpompi hyödykkeitä on korvata toisillaan ja sitä lähempänä eri alueilla tuotetut hinnat ovat toisiaan. Joustojen arvot perustuvat GTAP-tietokantaan.

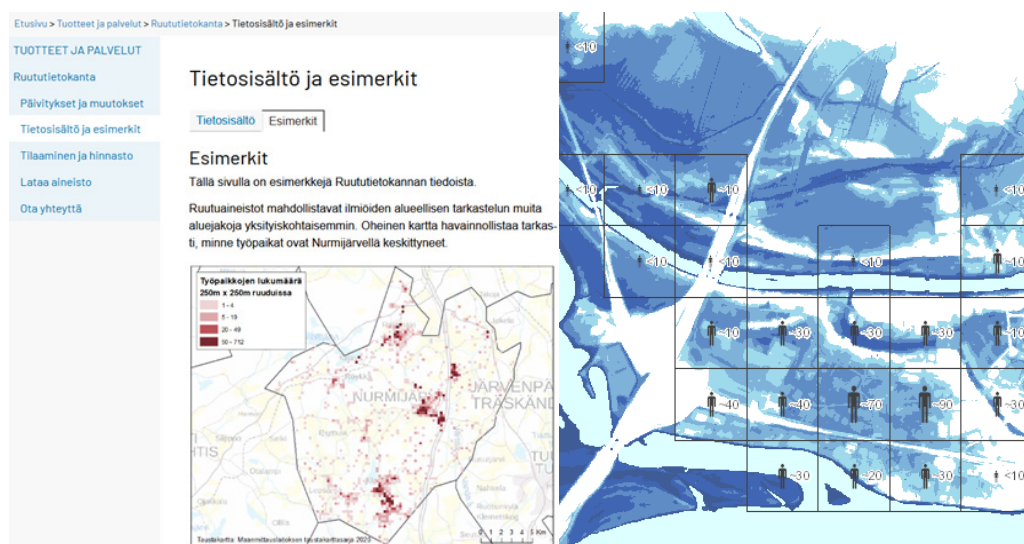
## Liite 6 Tulva- ja sähkökatkosten vahinkojen kohdentaminen alueellisesti

KUITTI-hankkeessa tulvavaikutusten arvioinnissa käytimme SYKEN Tulvariskiruudutpaikkatietoaineistoa<sup>3</sup>, joka kuvaa muun muassa tulvavaara-alueen asukasmäärää ja rakennuksien kerrosalaa 250 m ruuduittain erisuuruisten nykyistä ilmastoa vastaavien tulvien osalta.

Ruudut on laskettu tulvavaaravyöhykkeiden sekä rakennus- ja huoneistorekisterin rakennuspisteiden päällekkäisanalyysillä erikseen kullekin tulvan todennäköisyydelle (toistuvuusajalle). Ruutujen sijainti on vastaava kuin tilastokeskuksen yhdyskuntarakenteen aluejaossa.

Liitimme SYKEN tulvariskiruutuihin Tilastokeskuksen ruututietokannan tiedot. Näin pystyimme tarkastelemaan esimerkiksi, mille toimialalle mahdollinen vaikutus kohdistuu.

**Kuva L.4** Visualisointi tilastokeskuksen ruututietokannasta sekä SYKEN tulvariskiruudutpaikkatietoaineistosta.



<sup>3</sup> <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/tulvariskiruudut>

## Liite 7 Kyselyn kysymykset ja tulokset

### VNK KUITTI hankkeen kysely ilmastonmuutoksen sopeutumiseen liittyvistä innovaatioista

#### Johdanto

Kiitos jo etukäteen, jos voisitte täyttää tämän kyselyn. Pyydämme teitä välittämään kyselyn edelleen kollegallenne, jos koette, että kyselyn teema sopisi parempi hänen vastuualueeseensa.

KUITTI-hankkeen tavoitteena on luoda kansallinen kokonaiskustannusarvio ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyvistä taloudellisista riskeistä. Arvio tehdään ilmastonmuutokseen sopeutumisen eri asteille kahdessa eri ilmastoskenaarioissa uuden laskennan ja olemassa olevan kirjallisuuden perusteella. Lisäksi hankkeessa tehdään kartoitusta sopeutumiseen liittyvästä innovaatiopotentialista ja -kiinnostuksesta. Tämä kysely tukee jälkimmäistä tehtävää.

**Sopeutuminen** ilmastonmuutoksen seurauksiin on ilmastotoiminnan toinen puoli. Ns. hillitseminen, eli kasvihuonepäästöjen vähentäminen, saa paljon huomioita. Hillinnästä huolimatta, ilmasto muuttuu joka tapauksessa tällä vuosisadalla ja se tarkoittaa hitaasti muuttuvia toimintaolosuhteita sekä erilaisia voimistuvia sään ääri-ilmiöitä niin Suomessa kuin myös muualla maailmassa. Innovaatiot voivat auttaa sopeutumista tehokkaammin näihin muutoksiin, joko vahinkoja välttäen tai hyötymällä uusista mahdollisuuksista.

Kysymykset koskettavat organisaationne toimintaan Suomessa. Jos tietyt relevantit sopeutumiseen liittyvät panostuksenne organisaationne muiden maiden toimipisteissä liittyvät suoraan Suomen toiminnan sopeutumiseen, voitte ottaa nämäkin aspektit huomioon vastauksessanne.

Kyselyn tulosten raportointi käsitellään luottamuksellisesti. Tuloksien julkaisemissa vältetään yksittäisten organisaatioiden tunnistamismahdollisuudet. Jos teillä on kysymyksiä kyselystä tai hankkeesta, voitte ottaa yhteyttä hankkeen kontaktihenkilöihin.

#### **Kontaktitiedot:**

Adriaan Perrels, Ilmatieteen laitos, adriaan.perrels(at)fmi.fi

Eeva Kuntsi-Reunanen, Ilmatieteen laitos, eeva.kuntsi-reunanen(at)fmi.fi

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuitti>



## Kysely ja tulokset

HUOM! Vain yksi vastaus per kysymys, ellei indikoida, että useat vastaukset ovat sallittuja

.....

### 1. Teidän organisaationne toimiala:

- a. elintarviketeollisuus
- b. energiahuolto
- c. finanssiala
- d. henkilöliikenne
- e. julkinen hallinto
- f. kaivosteollisuus
- g. kiinteistö
- h. konsultointi ja asiantuntijapalvelut
- i. koulutus
- j. kuljetus & logistiikka
- k. liikenneinfrastruktuuri (rakentaminen, huolto)
- l. maatalous
- m. matkailu
- n. metsäteollisuus
- o. rakennussektori
- p. terveyden huolto (julkinen / yksityinen)
- q. muu teollisuus
- r. muu, [selittää] ....

### 2. Teidän asemanne organisaatiossa:

- a. johtaja
- b. asiantuntija
- c. viestintä
- d. muu, [selittää] .....

### 3. Koetteko, että ilmastonmuutoksen (fyysiset) seuraukset vaikuttavat organisaationne toimintaan?

- a. ei; eikä aavistustakaan vaikuttaako tulevaisuudessa
- b. toistaiseksi ei, mutta mahdollisesti ne vaikuttavat tulevaisuudessa
- c. kyllä, ne vaikuttavat jo
- d. kyllä, odotamme, että ne alkavat vaikuttaa
- e. en osaa sanoa

### 4. Jos organisaationne on jo kokenut ilmastonmuutoksesta johtuvia vaikutuksia tai odotatte näitä, ovatko vaikutukset? (enemmän kuin 1 vastaus mahdollista)

- a. kustannusriski
- b. toimintamahdollisuus
- c. jotain muuta, [selittää] ...

- 5. Onko organisaationne parantanut toimintavarmuutta Suomen tai ulkomaiden sään ääri-ilmiöiden\* suhteessa viime vuosiin?**
- ei
  - ei, mutta muut organisaatiot toimitusketjuissamme ovat
  - kyllä, sääntöjen ja/tai ohjeiden päivittämisen avulla
  - kyllä, investoinnin avulla
  - kyllä, riskienhallintaa syventämällä (esim. varoitus- ja riskitietopalvelut)
- \*) ääri-ilmiöiden lista löytyy kyselyn liitteestä
- 6. Onko organisaationne jo investoinut uuteen tuotteeseen tai toimintaan ilmastonmuutoksen aiheuttamien muutoksien/mahdollisuuksien takia?**
- ei
  - kyllä
- 7. Onko organisaationne suunnitelmassa investoida uuteen tuotteeseen tai toimintaan ilmastonmuutoksen aiheuttamien mahdollisuuksien takia?**
- ei
  - kyllä
- 8. Katsotteko, että kysymyksissä 5-7 mainitut panostuksenne sopeutumi- seen ovat innovaatioita teidän organisaatiossanne?**
- ei, emme ole toteuttaneet innovaatioita
  - kyllä, kyse on erityisesti prosessi- (toimintatapojen) innovaatioista
  - kyllä, kyse on erityisesti tuoteinnovaatioista (ml. uudet palvelut)
  - kyllä, kyse on sekä prosessi- että tuoteinnovaatioista
- 9. Ovatko innovaatiot tuottaneet odotettuja hyötyjä (vältetyt vahingot; li- sääntynyt liikevaihto)?**
- kyllä, suunnilleen
  - hyöty ollut merkittävästi pienempää
  - hyöty ollut selvästi suurempaa
  - en osaa sanoa

## Lähteet

Aaheim A, Wei T (2020) Relationships between physical effects of climate change on forests and economic impacts by world region, CICERO Report 2020:02. CICERO, Oslo, <https://hdl.handle.net/11250/2655714>

Aaheim A., Orlov A., Sillmann J. (2022) Cross-Sectoral Challenges for Adaptation Modelling. In: Kondrup C. et al. (eds) Climate Adaptation Modelling. Springer Climate. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86211-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86211-4_2)

Aaheim, A., Ahlert, G., Meyer, M., Meyer, B., Orlov, A. & Heyndrickx, C. (2015). Integration of top-down and bottom-up analyses of adaptation to climate change in Europe – the cases of energy, transport and health. Deliverable 3.4, FP7 ToPDAd project, <http://www.topdad.eu/publications>

Adams, P., Dixon, J., Giesecke, J. & Horridge, M. (2010). MMRF: Monash Multi-Regional Forecasting Model: A Dynamic Multi-Regional Model of the Australian Economy. Cen-tre of Policy Studies, Monash University. General Paper No. G-223 December 2010. <https://www.copsmodels.com/ftp/workpapr/g-223.pdf>

Asikainen, A., Viiri, H., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Lintunen, J., Laturi, J., Uusi-vuori, J., Venäläinen, A., Lehtonen, I. and Ruosteenoja, K., 2019. Ilmastonmuutos ja metsätuhot – Analyysi ilmaston lämpenemisen seurauksista Suomen osalta. Suomen Ilmastopaneelin raportti, 1/2019. [https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/07/Ilmastopaneeli\\_raportti\\_metsatuhot.pdf](https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/07/Ilmastopaneeli_raportti_metsatuhot.pdf)

Bailey, R. and Wellesley, L., 2017. Chokepoints and vulnerabilities in global food trade (p. 111). London, UK: Chatham House, ISBN 978 178413 230 9

Baklanov, A., Cárdenas, B., Lee, T., Leroyer, S., Masson, V., Molina, L., Müller, T., Ren, C., Vogel, F., Voogt, J.A., (2020). Integrated urban services: Experience from four cities on different continents, Urban Climate, Vol.32, 100610, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100610>

Bednar Friedl, B. et al. Chapter 13: Europe, teokessa Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation, Vulnerability, Working Group II Contribution to the IPCC 6th Assessment Report, <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>

Bessembinder, J., Terrado, M., Hewitt, C., Garrett, N., Kotova, L., Buonocore, M., Groenland, R., 2019. Need for a common typology of climate services. *Climate Services*, Vol.16, Vol. 16, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.100135>

Bosello, F., Dasgupta, S., Standardi, G., Parrado, R., Guastella, G., Rizzati, M., Schleypen, J., Boere, E., Batka, M., Valin, H., Bodirsky, B., Lincke, D., Tiggeloven, T., van Ginkel, K., (2020). D2.7. Macroeconomic, spatially-resolved impact assessment. Deliverable of the H2020 COACCH project. [https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2020/10/D2.7\\_final.pdf](https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2020/10/D2.7_final.pdf)

Botzen, W.J.W., Martinius, M.L., Bröde, P., Folkerts, M.A., Ignjacevic, P. & Estrada, F., Harmsen, C.N., Daanen, H.A.M. (2020). Economic valuation of climate change–induced mortality: age dependent cold and heat mortality in the Netherlands, *Climatic Change*, Vol. 162, s. 545–562 <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02797-0>

Carbon Action Tracker, [https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/tilanne 02.02.2022](https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/tilanne-02.02.2022)

Carter et al. (in prep.) A conceptual framework for regional scenario co-creation in Finland, FINSCAPES project (<https://www.syke.fi/projects/finscapes>), in preparation.

Carter, T.R, M. Benzie, E. Campiglio, H. Carlsen, S. Fronzek, M. Hildén, C.P.O. Reyer and C. West (2021). A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. *Global Environmental Change* 69, 102307, doi:10.1016/j.gloenvcha.2021.102307

Ciscar, J.C., Feyen, L., Iberreta, D., Soria, A., et al (2018). Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project, EUR 29427 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79- 97218-8, doi:10.2760/93257, JRC112769.

Corong, E. L., Hertel, T. W., McDougall, R., Tsigas, M. E., van der Mensbrugghe, D. (2017). The standard GTAP model, version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, 2(1), 1–119.

Cuaresma, Jesús Crespo (2017). Income projections for climate change research: A framework based on human capital dynamics. *Global Environmental Change*, Volume 42, Pages 226-236, ISSN 0959-3780, DOI:10.1016/j.gloenvcha.2015.02.012.

Daigneault, A., & Favero, A. (2021). Global forest management, carbon sequestration and bioenergy supply under alternative shared socioeconomic pathways. *Land Use Policy*, 103, 105302.

Damm, A., Greuell, W., Landgren, O., Prettenthaler, F. (2017). Impacts of +2 C global warming on winter tourism demand in Europe, *Climate Services*, Vol.7, s.31–46, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.07.003>

Dasgupta, S., van Maanen, N., Gosling, S.N., Piontek, F., Otto, C., Schleussner, C.-F., 2021. Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study. *Lancet Planet. Health* 5, e455–e465.

Dawson, D.A., Hunt, A., Shaw, J., Roland Gehrels, W. (2018). The Economic Value of Climate Information in Adaptation Decisions: Learning in the Sea-level Rise and Coastal Infrastructure Context, *Ecological Economics*, Vol.150, s. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.03.027>

Dellink, Rob; Chateau, Jean; Lanzi, Elisa & Magné, Bertrand (2017). Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, Volume 42, Pages 200-214, ISSN 0959-3780, DOI:10.1016/j.gloenvcha.2015.06.004.

Dunz, N., Nepomuk, Mazzocchetti, A., Monasterolo, I., Hrast Essenfelder, A., Rabertof, M., (2021). Macroeconomic and financial impacts of compounding pandemics and climate risk, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3827853> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3827853>

Energiatallisuus, 2022. Keskeytystilastot vuosilta 2005–2019. saatavilla: <https://energia.fi/>

Energiavirasto, 2015. StoNED\_laskentamalli\_ja\_lahtodata\_20102015 (excel)

Energiavirasto, 2019. Tehostamistavoitteet, StoNED-laskentamalli ja lähtödata 31.10.2019 (excel), saatavilla: <https://energiavirasto.fi/en/-/verkonhaltijakohtaiset-tehokkuusluvut-valvontajaksolle-2020-2023-valmistuivat>

Energiavirasto, 2022. Verkkotoiminnan tunnusluvut. saatavilla: <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>

Favero, A., Daigneault, A., & Sohngen, B. (2020). Forests: Carbon sequestration, biomass energy, or both?. *Science advances*, 6(13), eaay6792.

Frame B, Lawrence J, Ausseil A-G, Reisinger A, Daigneault A (2018) Adapting global shared socio-economic pathways for national and local scenarios. *Clim Risk Manag* 21:39–51. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.05.001>

García-León, D., Casanueva, A., Standardi, G. et al. Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe. *Nat Commun* 12, 5807 (2021).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-26050-z>

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. Ilmaston-muutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. [https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/09/SUOMI-raportti\\_final.pdf](https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/09/SUOMI-raportti_final.pdf)

Gregow, Hilppa, Terhi K. Laurila, Antti Mäkelä and Mika Rantanen. "Review on winds, extratropical cyclones and their impacts in Northern Europe and Finland." (Finnish Meteorological Institute, 2020).

Groundstroem, F., Juhola, S. (2019). A framework for identifying cross-border impacts of climate change on the energy sector. *Environmental Systems and Decisions*, Vol. 39, s.3–15. <https://doi.org/10.1007/s10669-018-9697-2>

Haakana, J., Pinomaa, A., Karppanen, J., Tikka, V., Räisänen, O., Haapaniemi, J., Mashlakov, A., Lassila, J. (2021). Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko - Joustoresurssit käyttötoiminnassa. LUT Scientific and Expertise Publications Tutkimusraportit – Research Reports. LUT-yliopisto.

Hallegatte, S., (2015). The Indirect Cost of Natural Disasters and an Economic Definition of Macroeconomic Resilience, World Bank, Policy Research Working Paper 7357, <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/22238/The0indirect0c0oeconomic0resilience.pdf?sequence=1>

Halsnæs, K., Bay, L., Lykke Dømggaard, M., Skougaard Kaspersen, P., Dahl Larsen, M.A. (2020). Accelerating Climate Service Development for Renewable Energy, Finance and Cities, *Sustainability*, Vol.12 7540, doi:10.3390/su12187540

Hamilton, J.M., Maddison, D.M., Tol, R.S.J. (2005). Climate change and international tourism: A simulation study, *Global Environmental Change*, Vol. 15, No. 3, s. 253-266  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.009>

Heinonen, T., Pukkala, T., Kellomäki, S., Strandman, H., Asikainen, A., Venäläinen, A., & Peltola, H. (2018). Effects of forest management and harvesting intensity on the

timber supply from Finnish forests in a changing climate. *Canadian Journal of Forest Research*, 48(10), 1124-1134.

Helsingin kaupungin tulvastrategia (2010), saatavilla: [https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos\\_2010-1.pdf](https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos_2010-1.pdf)

Hildén, M.; Haavisto, R.; Harjanne, A.; Juhola, S.; Luhtala, S.; Mäkinen, K.; Parjanne, A.; Peltonen-Saisio, P.; Pilli-Sihvola, K.; Pöyry, J.; Tuomenvirta, H. (2018). Ilmasto-kestävä Suomi - Toimintamalli sää- ja ilmastoriskien arviointien järjestämiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 44/2018  
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-602-7>

Hildén, M., Groundstroem, F., Carter, T., Halonen, M., Perrels, A., Gregow, H. (2016), Ilmastonmuutoksen heijastevaikutukset Suomeen, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2016 <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79783/Ilmastomuutoksen%20heijastevaikutukset%20Suomeen.pdf>

Horrige J.M., Jerie M., Mustakinov D. & Schiffmann F. (2018). GEMPACK manual. GEMPACK Software. ISBN 978-1-921654-34-3.

Horrige, M. & Wittwer, G. (2010). Bringing regional detail to a CGE model using census data. *Spatial Economic Analysis*, Volume 5 Issue 2, pp 229–255, Routledge.  
<https://doi.org/10.1080/17421771003730695>

Hsiang, S.M., and Jina, A.S. (2014). *The Causal Effect of Environmental Catastrophe on Long-Run Economic Growth: Evidence From 6,700 Cyclones*, NBER Working Paper No. 20352

Hunt, A., Ferguson, J., Baccini, M., Watkiss, P., Kendrovski, V. (2017). Climate and weather service provision: Economic appraisal of adaptation to health impacts, *Climate Services*, Vol.7, s.78-86. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.10.004>

Höglind, M., Thorsen, S.M., Semenov, M.A., 2013. Assessing uncertainties in impact of climate change on grass production in Northern Europe using ensembles of global climate models. *Agric. For. Meteorol.* 170, 103–113.

<https://www.ruokavirasto.fi/teemat/zoonosikeskus/zoonositi/bakteerien-aiheuttamat-audit/kampylobakterioosi/>

- IPCC (2022), Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation, Vulnerability, Working Group II Contribution to the IPCC 6th Assessment Report, <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- Jacobs, K.L ja Street, R.B. (2020). The next generation of climate services, *Climate Services*, Vol.20, 100199, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100199>
- Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A.C. et al. Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nat Food* 2, 873–885 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>
- KC, Samir & Lutz, Wolfgang (2017). The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Global Environmental Change*, Volume 42, Pages 181-192, ISSN 0959-3780, DOI:10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004.
- Kellomäki, S., Strandman, H., Heinonen, T., Asikainen, A., Venäläinen, A., & Peltola, H. (2018). Temporal and spatial change in diameter growth of boreal Scots pine, Norway spruce, and birch under recent-generation (CMIP5) global climate model projections for the 21st century. *Forests*, 9(3), 118.
- Kinnunen, J.(1992), Ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset. ETLA B:77.
- Kiiskilä, K., Mäki, V., Saastamoinen, K. (2020). Ajonopeudet maanteillä 2019, Väyläviraston julkaisuja 33/2020, [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2020-33\\_ajonopeudet\\_maanteilla\\_2019\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-33_ajonopeudet_maanteilla_2019_web.pdf)
- Kiski, T. (2017). Feasibility of Commercial Cargo Shipping along the Northern Sea Route, PhD Thesis Turku University, ISSN 2343-3167
- Knittel, N., Jury, M.W., Bednar-Friedl, B. *et al.* A global analysis of heat-related labour productivity losses under climate change—implications for Germany’s foreign trade. *Climatic Change* **160**, 251–269 (2020).
- Kollanus, V. ja Lanki, T. (2014). 2000-Luvun pitkittyneiden helleaaltojen kuolleisuusvaikutukset Suomessa. *Duodecim*, s.983–990. <http://www.terveysportti.fi/xmedia/duo/duo11638.pdf>
- Kollanus, V., Tittanen, P., Lanki, T. (2021). Mortality risk related to heatwaves in Finland – Factors affecting vulnerability, *Environmental Research*, Vol. 201, 111503, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111503>



Kuoppamäki, P. (1996). The impacts of climate change on the Finnish economy, teoksessa Roos, J. (ed.); The Finnish research programme on climate change. Final report, Academy of Finland, Helsinki (Finland); 507 p; ISBN 951-37-1961-8; ; 1996; s. 460-465;

Kuulas, A. (2020). Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040, Aalto yliopisto, diplomityö

Láng-Ritter, I., Laurila, T.K., Sinclair, V.A., Mäkelä, A., & Gregow, H., (2022). Investigating extra-tropical cyclone impacts on electricity grids by classifying 92 windstorms in Finland. Manuscript in preparation.

Lassila, J., Haakana, J., Haapaniemi, J., Räisänen, O., Partanen, J. 2019. Sähköasiakas ja sähköverkko 2030, saatavilla: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/159320>

Lassila, J., Haakana, J., Haapaniemi, J., Räisänen, O., Partanen, J. 2019. Sähköasiakas ja sähköverkko 2030. LUT Scientific and Expertise Publications Tutkimusraportit – Research Reports. LUT-yliopisto

Lauri, P., Forsell, N., Korosuo, A., Havlík, P., Obersteiner, M., & Nordin, A. (2017). Impact of the 2 C target on global woody biomass use. *Forest Policy and Economics*, 83, 121-130.

Lehtonen, I., Ruosteenoja, K. (2014). Projected changes in European extreme precipitation indices on the basis of global and regional climate model ensembles, *International Journal of Climatology*, Vol. 34, no. 4, s.1208-1222. doi:10.1002/joc.3758

Lehtonen, H. & Rankinen, K. 2015. Impacts of agri-environmental policy on land use and nitrogen leaching in Finland. *Environmental Science and Policy* 50: 130–144. doi:10.1016/j.envsci.2015.02.001

Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Publisher: Agrifood Research Finland, Economic Research (MTTL). Publications 98. Helsinki. 265 pages. <http://lib.tkk.fi/Diss/2001/isbn9512256894/>

Lehtonen, H. 2015. Evaluating adaptation and the production development of Finnish agriculture in climate and global change. *Agricultural and Food Science* 24: 219-234. <http://ojs.tsv.fi/index.php/AFS/article/view/51080>

Lehtonen, H., & Niemi, J. 2018. Effects of reducing EU agricultural support payments on production and farm income in Finland. *Agricultural and Food Science*, 27(2), 124–137. <https://doi.org/10.23986/afsci.67673>

Lehtonen, H.S., Aakkula, J., Fronzek, T., Helin, J., Hilden, M., Huttunen, S., Kaljonen, M., Niemi, J., Palosuo, T., Pirttioja, N., Rikkonen, P. & Varho, V., Carter, T.R. 2021. Shared socioeconomic pathways for climate change research in Finland: co-developing extended SSP narratives for agriculture. *Regional Environmental Change* 21, 7 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01734-2>

Lehtonen, I, Venäläinen, A., & Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Raportteja 2020:5. Ilmatieteenlaitos, Helsinki 2020

Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Gregow, H., Venäläinen, A., and Peltola, H. Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. United States: N. p., 2016. Web. doi:10.5194/nhess-16-2259-2016.

Lintunen, J., Laturi, J., & Uusivuori, J. 2015. Finnish Forest and Energy Policy Model (FinFEP). A Model Description. *Natural resources and bioeconomy studies* 59/2015. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki

Mees, H. Tjihuis, N. and Dieperink, C. (2018). The effectiveness of communicative tools in addressing barriers to municipal climate change adaptation: lessons from the Netherlands, *Climate Policy*, Vol. 18:10, s.1313-1326, DOI:10.1080/14693062.2018.1434477

Meriläinen, P., Lanki, T., Miettinen, I., Hokajärvi, A-M., Simola, A., Tiittanen, P. & Yli-Tuomi, T. (2019). Ilmastonmuutos ja vesihuolto – varautuminen ja terveysvaikutukset. Suomen Ilmastopaneeli, raportti 10/2019.

Mills, G., Fitcher, J. (2021). Integrating Urban Climate Knowledge: The Need for a New Knowledge Infrastructure to Support Climate-Responsive Urbanism, teoksessa Palme, M. ja Salvati, A. (toim.) - *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy*, luku 8, s.183-192, ISBN: 978-3-030-65421-4

Musgrave, R.A., 2008. Merit goods. In *The New Palgrave Dictionary of Economics*, Doi:10.1057/978-1-349-95121-5\_1139-2

Neumayer, E., Barthel, F. (2011). Normalizing economic loss from natural disasters: A global analysis, *Global Environmental Change*, Vol.21, s.13-24.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.10.004>

New., M. ym. Chapter 17: Decision Making Options for Managing Risk, teokessa Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation, Vulnerability, Working Group II Contribution to the IPCC 6th Assessment Report, <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>

Nuorteva, H. (toim.). 2019. Metsätuhot vuonna 2018. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 85/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 60 s <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-878-4>

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R. and van Vuuren, D.P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3):387-400.

Orlov, A., Daloz, A.S., Sillmann, J., Thiery, W., Douzal, C., Lejeune, Q., Schlessner, C., 2021. Global Economic Responses to Heat Stress Impacts on Worker Productivity in Crop Production. *Econ. Disasters Clim. Change* 5, 367–390.

Pakkala, T. (2020). Assessment of the Climate Change Effects on Finnish Concrete Facades and Balconies, dissertation, Tampere University - Faculty of Built Environment <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1423-1>

Palin, E. Stipanovic Oslakovic, I., Gavin, K., Quinn, A. (2021). Implications of climate change for railway infrastructure, *WIRE Climate Change*, 12: e728,  
<https://doi.org/10.1002/wcc.728>

Parjanne, A, Silander, J., Tiitu, M. & Viinikka, A. 2018. Suomen tulvariskit nyt ja tulevaisuudessa - Varautuminen maankäytön, talouden ja ilmaston muutokseen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30/2018.

Parjanne, A., Rytönen, A-M. & Veijalainen, N. 2021. Framework for climate proofing of flood risk management strategies in Finland. *Water Security*, 14.

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>

Perrels, A., Fortelius, C., Rautio, T., Ruuhela, R., Saranko, O., Siljamo, P., Votsis, A. (2022), Muuttuvan ilmaston vaikutuksia kehittyvässä kaupungissa, *Ilmansuojelulehti*, 1/2022, <http://isy.fi/julkaisut/ilmansuojelulehti/>

Perrels, A. Le, T.T., Cortekar, J., Hoa, E., Stegmaier, P. (2020). How much unnoticed merit is there in climate services? *Climate Services*, Special Issue 2020, Vol.17, 100153, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100153>

Perrels, A. (2020). Quantifying the uptake of climate services at micro and macro level, *Climate Services*, Special Issue 2020, Vol.17, 100152 <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100152>

Perrels, A., Prettenthaler, F., Kortschak, D., Heyndrickx, C., Francesco, C., Bösch, P., Kiviluoma, J., Azevedo, M., Ekholm, T., Crawford-Brown, D. & Thompson, A. (2015). Sectoral and cross-cutting multi-sector adaptation strategies for energy, transport and tourism. Deliverable 2.4 hankkeessa ToPDAd Tool-supported policy-development for regional adaptation. Saatavilla: [www.topdad.eu/upl/files/116701](http://www.topdad.eu/upl/files/116701)

Perrels, A., Nurmi V., Erlich, M., Cabal, A.(2014), Insurance coverage of natural hazard damages and fiscal gap in the EU, in IDRC International Disaster and Risk Conference, Davos. [https://www.researchgate.net/publication/263903203\\_Insurance\\_coverage\\_of\\_natural\\_hazard\\_damages\\_and\\_fiscal\\_gap\\_in\\_EU](https://www.researchgate.net/publication/263903203_Insurance_coverage_of_natural_hazard_damages_and_fiscal_gap_in_EU)

Perrels, Adriaan, Rajala, Rami and Honkatukia, Juha (2005): Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland, FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs, Helsinki

Pilli-Sihvola, K., Aatola, P., Ollikainen, M., Tuomenvirta, H. (2010). Climate change and electricity consumption—Witnessing increasing or decreasing use and costs?, *Energy Policy*, Vol.38, s. 2409–2419. doi:10.1016/j.enpol.2009.12.033

Piri, T., Selander, A., Hantula, J. ja Kuitunen, P. 2019. Juurikäpätuhojen tunnistaminen ja torjunta. Metsäkeskus.

Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., ... & van Vuuren, D. P. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331-345.

Porin kaupunki 2009. Porin kaupunkitulvaa 12.8.2007 ja sitä vastaaviin tilanteisiin varautumista selvittäneen työryhmän loppuraportti. <https://docplayer.fi/3712053-Porin-kaupunkitulva-12-8-2007.html>

Purola, T. & Lehtonen, H. 2021. Farm-Level Effects of Emissions Tax and Adjustable Drainage on Peatlands. *Environmental Management*, <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01543-1>

Purola, T., Lehtonen, H., Liu, X., Tao, F. & Palosuo, T. 2018. Production of cereals in northern marginal areas: An integrated assessment of climate change impacts at the farm level. *Agricultural Systems* 162: 191-204, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.018>

Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M., 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change* 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

Rose, A. (2007). Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions, *Environmental Hazards*, Vol. 7, pp. 383 – 398, doi: 10.1016/j.envhaz.2007.10.001

Ruosteenoja, K. and K. Jylhä, (2021). Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations, *Geophysica*, Vol 56, ...

Ruuhela, R., Votsis, A., Kukkonen, J., Jylhä, K., Kankaanpää, S., Perrels, A. (2021), Temperature-Related Mortality in Helsinki Compared to Its Surrounding Region during Two Decades, with Special Emphasis on Intensive Heatwaves, *Atmosphere*, Vol.12, 1, 46. <https://doi.org/10.3390/atmos12010046>

Rötter, R.P., Höhn, J., Trnka, M., Fronzek, S., Carter, T.R., Kahiluoto, H., 2013. Modelling shifts in agroclimate and crop cultivar response under climate change. *Ecol. Evol.* 3, 4197–4214.

Schaub, S. ja Finger, R. (2020), Effects of drought on hay and feed grain prices, *Environmental Research Letters*, Vol.15, 034014, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab68ab>

Silander, J. & Parjanne, A. 2013. Tulvariskien euromääräisten vahinkojen ja niiden hallinnan hyötyjen arviointi. <https://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7BB1F1E04F-62DE-4DF5-81B7-098102C62120%7D/37016>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2021a). Aluetilinpito [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-3393. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.3.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/altp/meta.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2021b). Kansantalouden tilinpito [verkkojulkaisu]. ISSN=1795-8881. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.3.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/vtp/meta.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2021c). Väestörakenne [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-5379. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.3.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/vaerak/meta.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2021d). Kuolleet [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-2529. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.3.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/kuol/meta.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2021e). Muuttoliike [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-6766. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.3.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/muutl/meta.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2021f). Syntyneet [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-2391. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.3.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/synt/meta.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2021g). Työssäkäynti [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-5528. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.3.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/ty-okay/meta.html>

Szewczyk, W., Feyen, L., Matei, N., Ciscar Martinez, J., Mulholland, E. and Soria Ramirez, A., Economic analysis of selected climate impacts, EUR 30199 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-18459-1, doi:10.2760/845605, JRC120452.

Sähkömarkkinalaki 588/2013, saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

Tao, F., Rötter, R.P., Palosuo, T., Höhn, J., Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Salo, T., 2015. Assessing climate impacts on wheat yield and water use in Finland using a superensemble-based probabilistic approach. *Clim. Res.* 65, 23–37.

Todorovic, S. 2020. Basic European Assets Map -aineiston käyttökelpoisuuden arviointi tulvariskien hallinnassa ja vertailu kansallisten vahinkoarvioiden kanssa. Julkaisematon raportti 30.7.2020, SYKE.

Tröltzsch, J., ym. (2018). D1.2 Knowledge synthesis and gap analysis on climate impact analysis, economic costs and scenarios. Deliverable D1.2 of the H2020 COACCH project, [https://www.coacch.eu/wpcontent/uploads/2020/03/D1.2\\_Knowledge\\_synthesis\\_and\\_gap\\_analysis\\_report.pdf](https://www.coacch.eu/wpcontent/uploads/2020/03/D1.2_Knowledge_synthesis_and_gap_analysis_report.pdf)

Tuomenvirta, H.; Haavisto, R.; Hildén, M.; Lanki, T.; Luhtala, S.; Meriläinen, P.; Mäkinen, K.; Parjanne, A.; Peltonen-Sainio, P.; Pili-Sihvola, K.; Pöyry, J.; Sorvali, J.; Veijalainen, N. 2018. Sää- ja ilmatoriskit Suomessa - Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja. Valtioneuvoston kanslia. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-601-0>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2018. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä Älyverkkotyöryhmän loppuraportti, ISBN: 978-952-327-346-7

Työryhmän loppuraportti (2009). Porin kaupunkitulva 2007 <https://docplayer.fi/3712053-Porin-kaupunkitulva-12-8-2007.html>

Van den Wijngaard, C.C., Hofhuis, A., Wong, A., Harms, M.G., de Wit, A., Lugné, A.K., Suijkerbuijk, A.W.M., Mangen, M.J.J., van Pelt, W. (2017). The cost of lyme borreliosis, *European Journal of Public Health*, Vol. 27, s. 538–547, <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckw269>

Veijalainen, N. 2012. Estimation of climate change impacts on hydrology and floods in Finland. Aalto University publication series. Doctoral dissertations 55/2012. ISBN 978-952-60-4613-6. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/6319>

Veijalainen, N. .... (2019). Severe Drought in Finland: Modeling Effects on Water Resources and Assessing Climate Change Impacts, *Sustainability*, Vol.11, No. 8, 2450, <https://doi.org/10.3390/su11082450>

Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O. P., Viiri, H., Ikonen, V. P., & Peltola, H. (2020). Climate change induces multiple risks to boreal

forests and forestry in Finland: A literature review. *Global change biology*, 26(8), 4178-4196.

Vesilaitosyhdistys (2020). Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 63

Virta, H., Rosqvist, T., Simola, A., Perrels, A., Molarius, R., Luomaranta, A., Honkatukia, J. (2011). Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän riskienhallinnan kustannus-hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa. IRTORISKI-hankkeen loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2011:3.

Votsis, A., Perrels, A. (2016). Housing prices and the public disclosure of flood risk: a difference-in-differences analysis in Finland, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, November 2016, Volume 53, Issue 4, pp 450–471, <https://doi.org/10.1007/s11146-015-9530-3>

Watson, R. ym.. (2011). UK National Ecosystem Assessment: understanding nature's value to society. Synthesis of key findings. Information Press, Oxford.  
<http://uknea.unep-wcmc.org/LinkClick.aspx?fileticket=ryEodO1KG3k%3d&tabid=82>

Wittwer, G. (toim.) (2012). *Economic Modeling of Water: The Australian CGE Experience*. Springer. ISBN 978-94-007-2875-2. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2876-9>

YLE 2019, Laskettelurinteilla käynnissä viivytystaistelu ilmastonmuutosta vastaan – keskukset matkalla kohti alle 4 kuukauden kautta, <https://yle.fi/uutiset/3-10625564>

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. *Metsänhoidon suositukset*. Tapion julkaisuja.



tietokayttoon.fi

---

ISBN PDF 978-952-383-056-1

ISSN PDF 2342-6799