

# Ilmastonmuutoksen kokonaistaloudelliset vaikutukset julkiseen talouteen

Tarmo Valkonen, Tero Kuusi, Johanna Pohjola, Otso Sillanaukee, Olli-Pekka Kuusela,  
Markku Lehmus, Jussi Lintunen, Katri Sarkia, Stefan Fronzek

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA  
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2023:17

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

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:17

# Ilmastonmuutoksen kokonaistaloudelliset vaikutukset julkiseen talouteen

Tarmo Valkonen, Tero Kuusi, Johanna Pohjola, Otso Sillanaukee,  
Olli-Pekka Kuusela, Markku Lehmus, Jussi Lintunen, Katri Sarkia,  
Stefan Fronzek

Valtioneuvoston kanslia Helsinki 2023

**Julkaisujen jakelu**

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston  
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-  
arkivet Valto

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

**Julkaisumyynti**

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston  
verkkokirjakauppa**

Statsrådets  
nätbokhandel

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

Valtioneuvoston kanslia

CC BY-ND 4.0

ISBN pdf: 978-952-383-165-0

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2023

## Ilmastonmuutoksen kokonaistaloudelliset vaikutukset julkiseen talouteen

### Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:17

**Julkaisija** Valtioneuvoston kanslia

**Tekijä/t** Tarmo Valkonen, Tero Kuusi, Johanna Pohjola, Otso Sillanaukee, Olli-Pekka Kuusela, Markku Lehmus, Jussi Lintunen, Katri Sarkia, Stefan Fronzek

**Kieli** suomi **Sivumäärä** 153

#### Tiivistelmä

Tässä hankkeessa luotiin kokonaiskuva ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän vaikutuksista julkisen talouden kestävyteen ja riskeihin. Kirjallisuuden ja makrotaloudellisten kokonaistasapainomallien avulla tarkasteltiin globaaleja vaikutuksia ja Suomeen kohdistuvia suoria ja heijastevaikutuksia. Samalla arvioitiin mallintamisen haasteita ja parhaita menetelmiä.

Kirjallisuus osoittaa, että ilmastonmuutoksen, ja siihen varautumisen ja sopeutumisen vaikutuksista julkiseen talouteen on vielä vähän tutkimuksia, ja tieto siitä on epävarmaa. Tutkimus vaatii kokonaisnäkemyistä ilmaston muuttumisen ja hillintä- ja sopeutuspolitiikan vaikutuksista sekä kansan- että julkiseen talouteen. Vaikutusketju on pitkä ja epävarma. Paras mallintamisen lähtökohta on eri lähteiden yksityiskohtien yhdistely kansantalouden tasolle.

Analyysin perusteella ilmastonmuutoksen fyysiset seuraukset tullevat vaikuttamaan Suomen kansan- ja julkistalouteen vähemmän kuin valtaosassa muita maita, erityisesti jos sopeutuspolitiikassa onnistutaan. Maakohtaiset erot korostavat kansainvälisiin heijastusvaikutuksiin varautumisen merkitystä ja toisaalta sitä, että Suomen kilpailukyky investointikohteena voi parantua. Heijastevaikutukset vähentävät vientiä, mutta kasvattavat investointeja, ja niiden yhteisvaikutus tuotantoon jää vähäiseksi.

Toimialakohtaiset ja alueelliset erot ovat Suomessakin suuria. Kielteisten vaikutusten kiihtyvä kasvu lämpötilan nousun myötä kasvattaa muutenkin suurta vaikutuslaskelmiin liittyvää epävarmuutta.

Vihreä siirtymä on vielä lähivuosikymmenen ajan Suomen talouden kannalta tärkeämpi asia kuin ilmastonmuutos. Sitä ohjaavat paitsi Suomen ja EU:n politiikkatoimet, myös globaali teknologia ja käyttäytymismuutokset. Aktiivinen ja onnistunut vihreää siirtymää edistävä politiikka on keskeistä siinä, millaisia taloudellisia vaikutuksia julkiseen talouteen syntyy siirtävävaiheen aikana.

**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, julkinen talous, makrotalous, mallintaminen, kyselytutkimus

**ISBN PDF** 978-952-383-165-0

**ISSN PDF** 2342-6799

**Julkaisun osoite** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-165-0>

## Klimatförändringarnas makroekonomiska inverkan på de offentliga finanserna

### Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2023:17

|                   |                                                                                                                                                |                 |     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----|
| <b>Utgivare</b>   | Statsrådets kansli                                                                                                                             |                 |     |
| <b>Författare</b> | Tarmo Valkonen, Tero Kuusi, Johanna Pohjola, Otso Sillanaukee, Olli-Pekka Kuusela, Markku Lehmus, Jussi Lintunen, Katri Sarkia, Stefan Fronzek |                 |     |
| <b>Språk</b>      | finska                                                                                                                                         | <b>Sidantal</b> | 153 |

#### Referat

I detta projekt skapades en helhetsbild över effekter av klimatförändringarna och -åtgärderna på hållbarheten och riskerna inom den offentliga ekonomin. Globala effekter samt direkta och gränsöverskridande effekter på Finland granskades med hjälp av litteratur och makroekonomiska allmänna jämviktsmodeller. Samtidigt utvärderades utmaningar och bästa praxis vid simulering.

Litteraturen visar att det fortfarande finns få undersökningar om effekter av klimatförändringarna, -åtgärderna och -anpassningarna på den offentliga ekonomin, och kunskapen om dem är osäker. Forskningen kräver en helhetssyn på effekter av klimatförändringarna samt åtgärds- och anpassningspolitiken på både samhällsekonomin och den offentliga ekonomin. Effektkedjan är lång och osäker. Den bästa utgångspunkten för simulering är att kombinera detaljer i olika källor på samhällsekonomisk nivå.

Utifrån analysen kommer de fysiska konsekvenserna av klimatförändringarna att påverka samhällsekonomin och den offentliga ekonomin i Finland i en mindre grad än i de flesta andra länderna, framför allt om man lyckas med det anpassningspolitiska arbetet. De landspecifika skillnaderna betonar vikten av att förbereda sig på gränsöverskridande effekter och å andra sidan att Finlands konkurrenskraft kan förbättras. De gränsöverskridande effekterna minskar exporten men ökar investeringarna och deras samverkan på produktionen blir liten.

Branschspecifika och regionala skillnader är stora även i Finland. Den allt snabbare ökningen av negativa konsekvenser i och med ökad temperatur gör osäkerheten kring de redan osäkra effektberäkningarna ännu större.

Den gröna övergången kommer att fortfarande vara viktigare för Finlands ekonomi under det närmaste decenniet än klimatförändringarna. Den styrs förutom av politiska åtgärder i Finland och EU även av den globala teknologin och beteendeförändringarna. En aktiv och lyckad politik som främjar grön övergång spelar en central roll i vilka ekonomiska effekter som skapas i den offentliga ekonomin under övergångsfasen.

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

**Nyckelord** forskning, forskningsverksamhet, klimatförändring, offentlig ekonomi, makroekonomi, simulering, enkät

**ISBN PDF** 978-952-383-165-0

**ISSN PDF** 2342-6799

**URN-adress** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-165-0>

## Macroeconomic impact of climate change on public finances

---

**Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2023:17**

|                  |                                                                                                                                                |              |     |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----|
| <b>Publisher</b> | Prime Minister's Office                                                                                                                        |              |     |
| <b>Author(s)</b> | Tarmo Valkonen, Tero Kuusi, Johanna Pohjola, Otso Sillanaukee, Olli-Pekka Kuusela, Markku Lehmus, Jussi Lintunen, Katri Sarkia, Stefan Fronzek |              |     |
| <b>Language</b>  | Finnish                                                                                                                                        | <b>Pages</b> | 153 |

---

**Abstract**

This project provided an overall picture of the effects of climate change and mitigation on the sustainability and risks of public finances. With the help of literature and macroeconomic general equilibrium models, the project examined global effects as well as direct and spillover effects on Finland. Challenges related to modeling and the best methods of modeling were also evaluated.

The literature shows that there are still rather few studies on the effects of climate change, preparedness, and adaptation on the public economy, and that the information about the subject is uncertain. Research requires a perspicuous view of the effects of climate change as well as mitigation and adaptation policies on the national economy and public finances. The chain of influence is long and uncertain. The best starting point for modeling is the combining of details from different sources at the level of the national economy.

Based on the analysis, the physical consequences of climate change are likely to affect the national economy and public finances of Finland less than in most other countries, especially if the adaptation policy is successful. Country-specific differences emphasize the importance of being prepared for international spillover effects, and on the other hand the fact that Finland's competitiveness may improve. The spillover effects reduce exports, but increase investments, and their combined effect on production remains small.

Industry-specific and regional differences are also large in Finland. The accelerating growth of negative effects as temperatures rise will increase the already high uncertainty associated with impact calculations.

For the next decade, the green transition will be more important for the Finnish economy than climate change. It is driven not only by Finnish and EU policy measures, but also by global technology and behavioral changes. An active and successful policy promoting the green transition is central to determining the kind of economic effects the public finances will experience during the transition phase.

**Provision** This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.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, climate change, public finances, macroeconomics, modeling, survey research

---

|                 |                   |                 |           |
|-----------------|-------------------|-----------------|-----------|
| <b>ISBN PDF</b> | 978-952-383-165-0 | <b>ISSN PDF</b> | 2342-6799 |
|-----------------|-------------------|-----------------|-----------|

---

**URN address** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-165-0>

---

# Sisältö

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Esipuhe.....                                                                                                               | 8         |
| Tiivistelmä .....                                                                                                          | 9         |
| <b>1 Johdanto .....</b>                                                                                                    | <b>21</b> |
| <b>2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset kansantalouteen ja julkiseen talouteen:<br/>kirjallisuuskatsaus mekanismeista .....</b> | <b>23</b> |
| 2.1 Ilmastonmuutoksen ja siihen sopeutumisen vaikutukset kansantalouteen ja<br>julkiseen talouteen.....                    | 24        |
| 2.1.1 Yleiskuvaus ilmastonmuutoksen suorista vaikutuksista .....                                                           | 24        |
| 2.1.2 Ilmastonmuutoksen suoria vaikutuskanavia eri toimialoilla Suomessa .....                                             | 27        |
| 2.1.3 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen .....                                                                                | 29        |
| 2.1.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset julkiseen talouteen Suomessa.....                                                      | 32        |
| 2.2 Vihreä siirtymä ja sen vaikutus kansantalouteen ja julkiseen talouteen.....                                            | 35        |
| 2.2.1 Hintaohjauksen ja sääntelyn vertailua .....                                                                          | 38        |
| 2.2.2 Ympäristöverotuksen kohtaanto .....                                                                                  | 39        |
| 2.2.3 Verorakenteen muutoksen vaikutuksista.....                                                                           | 41        |
| 2.2.4 Rakennemuutoksen julkinen tuki .....                                                                                 | 42        |
| 2.2.5 Vihreän siirtymän tulonjakovaikutukset .....                                                                         | 43        |
| 2.2.6 Työmarkkinat .....                                                                                                   | 44        |
| 2.2.7 Suhdannepoliittinen näkökulma .....                                                                                  | 45        |
| 2.2.8 Vihreä siirtymä ja EU-politiikka .....                                                                               | 46        |
| 2.3 Ilmastonmuutoksen vuorovaikutus muiden trendien kanssa.....                                                            | 47        |
| 2.4 Ilmastonmuutoksen kansantaloudelliset vaikutukset ilmastomalleissa<br>aikaisemman kirjallisuuden perusteella.....      | 48        |
| 2.4.1 Tilastolliset arviot ilmastonmuutoksen talousvaikutuksista .....                                                     | 49        |
| 2.4.2 Integroidut arviointimallit.....                                                                                     | 52        |
| <b>3 Tutkimuksen mallinnuskehikko ja skenaariokuvaukset .....</b>                                                          | <b>58</b> |
| 3.1 Mallinnuskehikko.....                                                                                                  | 58        |
| 3.2 Skenaariot .....                                                                                                       | 60        |
| <b>4 Ilmastonmuutoksen talousvaikutusten mallinnus.....</b>                                                                | <b>64</b> |
| 4.1 GTAP-mallin kuvaus.....                                                                                                | 64        |
| 4.1.1 Yleiset piirteet.....                                                                                                | 64        |
| 4.1.2 Energiantuotanto ja käyttö sekä päästöt.....                                                                         | 65        |
| 4.1.3 Tuotantoteknologia .....                                                                                             | 66        |
| 4.1.4 Yksityinen ja julkinen kulutus sekä säästäminen .....                                                                | 67        |
| 4.1.5 Investoinnit ja pääoman kumuloituminen.....                                                                          | 68        |
| 4.1.6 Ulkomaankauppa.....                                                                                                  | 69        |
| 4.1.7 Työllisyys .....                                                                                                     | 69        |
| 4.1.8 Aineisto ja sektori- ja aluejako sekä käytetty ohjelmisto .....                                                      | 70        |

|          |                                                                                                         |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2      | Ilmastonmuutoksen hillintä .....                                                                        | 70         |
| 4.2.1    | Keskeisiä oletuksia ja mallin ominaisuuksia .....                                                       | 70         |
| 4.2.2    | Vaikutusmekanismit .....                                                                                | 73         |
| 4.2.3    | Skenaarioiden kuvaus .....                                                                              | 76         |
| 4.2.3.1  | Perusura .....                                                                                          | 76         |
| 4.2.3.2  | Hillintäskenaariot .....                                                                                | 76         |
| 4.2.4    | Tulokset .....                                                                                          | 82         |
| 4.2.4.1  | Tulokset RCP2.6-skenaariosta Suomea koskien .....                                                       | 84         |
| 4.2.4.2  | Tulokset RCP4.5-skenaarioista Suomen osalta .....                                                       | 89         |
| 4.2.5    | Laskelmien ja käytetyn mallin arviointia .....                                                          | 91         |
| 4.3      | Ilmastonmuutoksen heijastevaikutukset Suomeen .....                                                     | 93         |
| 4.4      | Ilmastonmuutoksen talousvaikutuksia NiGEM-mallissa .....                                                | 94         |
| 4.4.1    | NiGEM-malli .....                                                                                       | 94         |
| 4.4.2    | Lämpötilan nousun bkt-vaikutukset NiGEM-mallissa .....                                                  | 96         |
| 4.4.3    | Johtopäätöksiä .....                                                                                    | 98         |
| <b>5</b> | <b>Julkisen talouden vaikutukset .....</b>                                                              | <b>99</b>  |
| 5.1      | FOG-mallin yleiskuvaus .....                                                                            | 99         |
| 5.2      | Ilmastonmuutoksen vaikutukset FOG-mallissa .....                                                        | 102        |
| 5.2.1    | Ilmastonmuutoksen potentiaaliset vaikutuskanavat .....                                                  | 102        |
| 5.2.2    | Ilmastosimulaation oletukset .....                                                                      | 103        |
| 5.2.3    | Ilmastosimulaation tulokset .....                                                                       | 105        |
| 5.2.4    | Kotimaisten verojen korotukset FOG-mallissa .....                                                       | 108        |
| 5.2.5    | Simulointitulokset .....                                                                                | 109        |
| 5.3      | Ilmastonmuutoksen torjunnan vaikutuksia NiGEM-mallissa .....                                            | 113        |
| <b>6</b> | <b>Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan vaikutukset ja riskit alueellisesti .....</b>                 | <b>118</b> |
| 6.1      | Tulosten taustalla huomioitavia oletuksia .....                                                         | 119        |
| 6.2      | Tilastoanalyysin tulokset ilmastopolitiikan vaikutuksista kuntatalouteen .....                          | 120        |
| 6.3      | Kuntien näkemyksiä ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan vaikutuksista .....                           | 126        |
| 6.3.1    | Kuntien arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista kuntatalouteen .....                                   | 126        |
| 6.3.2    | Kuntien arvioita ilmastonmuutoksen hillintään ja siihen sopeutumiseen liittyvistä investoinneista ..... | 129        |
| 6.4      | Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan tärkeimmät alueelliset vaikutukset ja riskit .....               | 131        |
| 6.5      | Johtopäätökset .....                                                                                    | 133        |
| <b>7</b> | <b>Johtopäätökset .....</b>                                                                             | <b>135</b> |
|          | <b>Liitteet .....</b>                                                                                   | <b>145</b> |
|          | Liite 1: Kuntakyselyn taustaa ja kysymykset .....                                                       | 145        |
|          | Liite 2 .....                                                                                           | 145        |
|          | <b>Lähteet .....</b>                                                                                    | <b>148</b> |



## ESIPUHE

Ilmastonmuutos ja sen torjunta muuttaa yhteiskuntia monilla eri tasoilla seuraavien vuosikymmenien aikana. Julkinen sektori on keskeisessä roolissa murroksessa, ja siten ilmastonmuutos haastaa myös julkisen talouden pitkän aikavälin kestävyys. Ilmastonmuutoksen välillisten ja suorien julkisen talouden vaikutusten tutkimus on tärkeää, mutta myös hyvin vaikeaa. Sen vaikutuksia julkiseen talouteen tunnetaan vielä heikosti ja toivomme, että raporttimme toimii herätteenä keskustelulle ja mallinnuksen jatkotutkimukselliselle Suomessa.

Kiitämme valtioneuvostoa hankkeen rahoituksesta ja Laura Vartian johtamaa ohjausryhmää monista hyödyllisistä keskusteluista ja kommentteista hankkeen aikana. Lisäksi kiitämme Eija Kauppia FOG-mallinnuksien toteuttamisesta Etlassa.

Maaliskuu 2023

Tero Kuusi

## Tiivistelmä

Kokoamme seuraavassa yhteen Etlan, Syken ja Demos Helsingin tekemän tutkimuksen tuloksia ilmastonmuutoksen ja julkistalouden yhteyksistä.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista julkiseen talouteen sekä varautumisen ja sopeutumisen kustannuksista ja vihreän siirtymän kokonaistaloudellisista vaikutuksista on vielä vähän tutkimuksia, ja tieto niistä on epävarmaa. Tutkimus vaatii kokonaisnäkemyistä, jossa yhdistyvät arviot ilmaston muuttumisen ja hillintä- ja sopeutumispolitiikan vaikutuksista kansantalouteen ja julkiseen talouteen. Vaikutusketju ilmasto muuttavista voimista julkiseen talouteen on pitkä ja täynnä epävarmuuksia. Kuinka talouskasvu muuttaa energiantarvetta ja kasvihuonekaasupäästöjä, miten päästöt puolestaan muuttavat ilmasto, millaisia uusia teknologioita tulee markkinoille ja millaiset ovat vaikutukset kansantalouteen ja erityisesti julkiseen talouteen? Miten kotitaloudet ja yritykset sopeutuvat ilmastonmuutokseen ilman politiikkainterventioita?

Myös politiikan sisältöön, ajoitukseen ja vaikutuksiin liittyy edelleen paljon epävarmuutta: millaisella kotimaisella ja EU-politiikalla pyritään jatkossa päästötavoitteisiin, miten kotitaloudet ja yritykset reagoivat hintasuhteiden ja sääntelyn muutoksiin ja millaisia heijastevaikutuksia tulee ulkomailta? Osataanko markkinoiden epäonnistumiset löytää ja korjata tehokkaasti? Ilmastonmuutos on joka tapauksessa yksi keskeisimpiä yhteiskunnallisia haasteitamme, eikä sen torjuntaan tähtäävä politiikka voi jäädä odottamaan varmuutta vaikutuksien suuruudesta. Päätöksiä ja toimia on tehtävä epävarmuuden vallitessa. Tutkimuksessamme vastasimme epävarmuuden haasteeseen eri tavoin.

Ensinnäkin hanke kokosi tietoa globaaleista ja paikallisista ilmatoriskeistä erilaisiksi skenaarioiksi ja arvioi niiden vaikutuksia Suomeen ja sen kansantalouden sektoreihin. Erilaisen kehityspolkujen huomioiminen on olennaista epävarmuuksien huomioinnin kannalta.

Toisaalta keskiöön nousivat erilaiset vaikutuskanavat. Tutkimme, mitkä niistä ovat julkisen talouden näkökulmasta Suomen kannalta keskeisimpiä. Vaikka varmaa tietoa yksittäisten ilmasosokkien ja politiikan vaikutusten suuruudesta ei olisi saatavilla, on syytä silti pyrkiä ymmärtämään ja ennakoimaan niitä muutosvoimia, joita ilmastonmuutos tuo mukanaan.

Jotta erilaisten mekanismien toimintaa osana muutosta voidaan ymmärtää, tarvitaan taloudellisia malleja. Tässä hankkeessa pohdittiin ilmastomuutoksen julkistaloudellisten vaikutusten mallintamisen haasteita ja erilaisia lähestymistapoja, joilla mallintamista voidaan kehittää jatkossa. Malleissa kansantalouksien erilaiset ominaisuudet ja rajoitteet tulevat huomioiduksi johdonmukaisella tavalla samalla kun erilaisten mekanismien suhteita ja yhteyksiä tarkastellaan kokonaisuutena.

Hankkeessa tehtiin myös eri skenaarioita koskevia laskelmia siitä, mikä on ilmastomuutoksen ja sen hillitsemiseksi suunniteltujen politiikkatoimien julkistaloudellisten vaikutusten suuruusluokka Suomessa. Arvioita tehtiin koko maan tasolla sekä pohdittiin alueellisia eroja vaikutuksissa. Suuruusluokka-arviot ovat hyvin epävarmoja, mutta ne auttavat hahmottamaan kokonaisuuden mittaluokkaa. Samalla arvioitiin, millainen olisi mallinnuksen haasteet huomioiden paras vaikutusten laskentakehikko.

Mallinnuksen pohjaksi hankkeessa laadittiin kolme ylätasoa skenaariota. Skenaariot poikkeavat toisistaan pääosin sen suhteen, mitä niissä oletettiin Pariisin sopimuksen toteutumisesta sekä sähköistymisen mahdollistavasta teknologisesta kehityksestä. Lähtökohtana tutkimuksessa oletetaan, että Suomi ja EU täyttävät ilmastositoumuksensa kaikissa vaihtoehdoissa. Lisäksi EU-maissa tapahtuva ympäristöteknologian kehitys on kaikissa skenaarioissa myös samanlainen. Erot skenaarioiden välillä syntyvät siten erilaisista oletuksista EU:n ulkopuolisten maiden hillintäpolitiikasta ja hillinnän kustannuksiin vaikuttavasta teknologiasta. Skenaarioiden avulla saadaan haarukoitua erityisesti ilmastomuutoksen ja sen hillinnän aiheuttamia kansainvälisen kaupan heijastevaikutuksia Suomen talouden rakenteisiin ja sitä kautta julkiseen talouteen. Ilmastovelvoitteisiin pääsemistä tarkastellaan vain fossiilisten polttoaineiden vähentämisen osalta, koska käytetyt mallit eivät sisällä muita kasvihuonekaasupäästöjä eikä maankäyttösektorin päästöjä.

### **Ilmastomuutoksen vaikutukset kansantalouteen ja julkiseen talouteen: Mitä aikaisempi kirjallisuus kertoo mekanismeista?**

Kirjallisuuden perusteella ilmastomuutoksen fyysiset seuraukset tulevat vaikuttamaan Suomen kansantalouteen vähemmän kuin valtaosassa muita maita, erityisesti jos sopeutumispolitiikassa onnistutaan. Maakohtaiset erot korostavat toisaalta kansainvälisiin heijastusvaikutuksiin varautumisen merkitystä ja toisaalta sitä, että Suomen kilpailukyky investointikohteena todennäköisesti parantuu. Toimialakohtaiset ja alueelliset erot ovat toki Suomessakin suuret.

Toinen keskeinen asia on kielteisten vaikutusten kiihtyvä kasvu lämpötilan nousun myötä, joka samalla kasvattaa muutenkin suurta vaikutuslaskelmiin liittyvää epävarmuutta. Tämä sama epävarmuuden kasvu koskee luonnollisesti myös ilmastomuutoksen suorita julkistaloudellisia vaikutuksia. Epävarmuus ohjaa kielteisten vaikutusten painottamiseen

politiikassa. Toisaalta kokonaistuottavuuden kasvuun liittyvä muu epävarmuus voi pitkän aikavälin mallitulosten kannalta olla merkittävämpää kuin väestönkasvuun ja ilmastoherkkyyteen liittyvä epävarmuus. Ilmastonmuutoksen talouskasvuvaikutuksia kuvaavien vahinkofunktioiden parempaan estimointiin tulisi kuitenkin edelleen ohjata tutkimuspanostuksia.

Vihreä siirtymä on vielä lähivuosikymmenen ajan Suomen talouden kannalta tärkeämpi asia kuin ilmastonmuutos. Sitä ohjaavat Suomen omien ja EU:n politiikkatoimien vaikutusten lisäksi globaali teknologian kehitys ja kotitalouksien ja yritysten preferenssien muutos.

Hillintä- ja sopeutumispolitiikan julkistaloudellisia vaikutuksia arvioitaessa keskeisiksi tekijöiksi nousevat käytettävien politiikkavälineiden lisäksi yritysten ja kotitalouksien käyttäytymisen muutosta säätelevät joustot ja teknologian muutokset, jotka vaikuttavat myös verotuksen lopulliseen kohtaantoon ja verotulojen määrään. Vaikutusten dynaamisen polun seuraaminen on tärkeää, koska osa vaikutuksista voi tulla nopeastikin, mutta tuotannon täysimittainen reagointi ohjaukseen vie investointiviiveiden vuoksi aikaa. Nämä näkökohdat puoltavat vaikutuslaskelmien tekemistä sellaisilla dynaamisilla yleisen tasapainon malleilla, joissa on mukana sekä sopeutumiskitkoja että eteenpäin katsova päätöksenteko. Ongelmana on, että tällaisia malleja ollaan vasta kehittämässä ja kaikkien relevanttien vaikutusketjujen huomioinnin jälkeen tulosten tulkinta on haasteellista.

Makrotaloudellisesta tutkimuskirjallisuudesta nousee esille muutamia tärkeitä havaintoja julkisen talouden ja verotuksen näkökulmasta. Esimerkiksi olemassa olevilla kotitalouksien ja yritysten päätöksentekoa vääristävillä veroilla on vaikutusta optimaalisen hiiliveron tasoon, joka voi olla merkittävästi alhaisempi kuin ilman vääristäviä veroja. Numeeristen sukupolvimallien perusteella vihreän siirtymän ja ilmastonmuutoksen sopeutumisen rahoittaminen julkisella velanotolla, eli siirtämällä kustannuksia tulevien sukupolvien maksettavaksi, voi olla optimaalista. Johtopäätös voi kuitenkin muuttua, jos valtio on muutenkin velkaantumassa niin paljon, että lisävelalla on vaikutusta korkoon ja velan saatavuuteen jatkossa.

### **Ilmastonmuutoksen torjunnan parhaat ohjauskeinot aikaisemman kirjallisuuden perusteella**

Valtioilla on laaja valikoima välineitä käytettäväksi ilmastonmuutoksen hillintään. Verot, päästöoikeuksien huutokauppa ja hiilitullit edustavat hintaohjausta, joka tuo myös tuloja valtiontalouteen. Toisaalta valtion tulojen vastapainona ovat yksityisen sektorin maksamat verot ja maksut, jotka vähentävät yritysten ja kotitalouksien käytettävissä olevia reaalitylöitä ja siten alentavat muiden verojen ja maksujen kertymistä.

Hiilen hintaan perustuvaa ohjausta pidetään talouden tehokkaan toiminnan kannalta hyvänä välineenä, koska se jättää yksityisen sektorin päätettäväksi millä keinoilla (teknologia- ja kulutusvalinnat) päästötavoitteisiin päästään.

Verojen ja päästökaupan vaikutuksissa on myös eroja, jotka riippuvat osittain niiden toteutuksen yksityiskohdista. Päästöjen määrään sidottu verotus johtaa ennustettavampaan päästöjen hintakehitykseen kuin päästölupien huutokauppa, mikä on esimerkiksi investointien suunnittelun kannalta toivottava ominaisuus.

Toinen erityisesti kansainvälisen kilpailun alaisille yrityksille tärkeä piirre on, miten hintaohjauksen kilpailukykyvaikutuksia lievennetään. Päästökaupassa välineenä on lupien ilmaisaot ja hiilen verotuksessa esimerkiksi toimialoittain, tai polttoainekohtaisesti eriytetyt verokannat. EU:n kilpailukykyä voidaan parantaa myös asettamalla tuontitavaroiden elinkaaripäästöihin perustuva tulli. Hiilitullia tullaankin kokeilemaan suppealla tuotevalikoimalla tulevina vuosina. Paras vaihtoehto olisi kuitenkin saada myös EU:n ulkopuoliset maat hinnoittelemaan päästönsä mahdollisimman kattavasti.

Päästökehityksen tarkan ohjauksen kannalta päästökauppa on tehokkaampi väline, koska lupien määrää säätelemällä voidaan varmistaa haluttu päästökehitys. Sen etuna on myös yhtenäinen hiilen lisäpäästöjen hinnoittelu kaupan piirissä olevilla toimialoilla ja alueilla. Myös verotuksella voitaisiin päästä yhtenäiseen hiilen hintaan, mutta käytännössä verotus poikkeaa maittain ja on kohdistunut päästöjen ohella käytettyjen polttoaineiden määrään, tai energiasisältöön.

Valtion tuet suurentavat lähtökohtaisesti yritysten ja kotitalouksien tuloja, mutta ne on rahoitettava yleensä verotusta kiristämällä, mikä vähentää nettotuloja ja aiheuttaa kannustehaittoja. Siksi tukien käytössä markkinapuutteiden korjaaminen on etusijalla. Ohjausvaikutusten kannalta tuet voivat olla myös vähemmän tehokkaita, kuten jos ne kohdennetaan esimerkiksi puhtaan energian käyttöön tuotannossa, jolloin ei oteta kantaa muiden välipanosten saastuttavuuteen. Myöskään tuotannon päästöjen vähentämisen tuki ei tee saastuttavaa tuotantoa yhtään kalliimmaksi.

Kun tuetaan puhtaan energian teknologiaa, vaihtoehtoina ovat uuden teknologian kehittämisen tuki tai tuki investoinneille olemassa olevaan puhtaampaan teknologiaan. T&k-pausten tukemisella voidaan saada tehokkuushyötyjä, koska tutkimusta ja tuotekehitystä tehdään yrityksissä tiedon leviämisen vuoksi yhteiskunnan kannalta liian vähän. Puhtaan tuotannon ja vihreiden investointien suoran tuen ja verotuen lisäksi voidaan pyrkiä korjaamaan rahoitusmarkkinoiden toiminnan puutteista johtuvaa korkeaa vihreiden investointien rahoituksen hintaa. Mahdollisia tukivälineitä ovat lainananto ja takaukset. Eri tukimuodoilla on erilaiset vaikutukset julkiseen talouteen ja sen kantamiin riskeihin.

Sääntely aiheuttaa kustannuksia yksityiselle sektorille, mikä vaikuttaa välillisesti julkiseen talouteen. Näiden kustannusten ja siten myös julkistaloudellisten vaikutusten mittaaminen on vaikeaa. Julkinen sektori voi myös ohjata suoraan omaa ja omistamiensa yritysten toimintaa vihreän siirtymän edistämiseen, tai käyttää suuren sijoittajan ominaisuudessa valtaansa muissa yrityksissä päästäkseen samaan päämäärään. Kotitalouksille ja yrityksille suunnatulla tiedottamisella pyritään kertomaan ympäristöystävällisistä valinnoista ja niiden tarpeellisuudesta. Sen hinta ei ole kovin korkea julkiselle taloudelle, mutta vaikuttavuutta on vaikea osoittaa.

### Julkisen talouden mallinnuskehikko

Arvioimme hankkeessa aikaisemman kirjallisuuden perusteella mallinnusvälineitä ja pohdimme parhaita mallinnuksen toteutustapoja. Omat analyysimme teimme jo tutkimuskäytössä olevilla malleilla. Hyödynsimme kahta globaalia makrotaloudellista mallia: makroekonometrista NiGEM-mallia, joka mahdollistaa erityisesti lyhyen ja keskipitkän aikavälin vaikutustarkastelun, sekä GTAP-E-Power-mallia, joka on sektoritasoinen, yksityiskohtaisen energiasektorin kuvauksen sisältävä pitkän aikavälin kokonaistasapainomalli. Lisäksi hyödynsimme Suomen julkisen talouden ja sukupolvinäkökulman kuvaamiseen Etlassa kehitettyä yleisen tasapainon dynaamista FOG-mallia (Lassila ja Valkonen, 2018), joka huomioi myös väestön ikääntymisen kestävyysvaikutukset.

GTAP-E-Power-mallia käytettiin ilmaston lämpenemisen ja hillintäpolitiikan taloudellisten vaikutusten kuvaamiseen. FOG-mallilla simuloitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia julkiseen talouteen niin, että keskeisten kansantaloudellisten muuttujien arvot otettiin GTAP-E-Power-mallin tuloksista. Lisäksi FOG-mallilla kuvattiin kulutuksen ja voittojen verotuksen vaikutusmekanismeja. NiGEM-mallilla simuloitiin keskilämpötilan nousun ja hiiliveron kansantaloudellisia vaikutuksia.

Mallinnusvälineiden analyysin perusteella ilmastonmuutoksen vaikutusten kansantaloudellista ja julkistaloudellista tarkastelua voidaan tehdä monesta näkökulmasta, eikä yhtä ongelmattonta tapaa laskea vaikutuksia ole.

Tässä tutkimuksessa parhaaksi katsottu lähtökohta on ollut alatason ilmiöistä kansantalouden tasolle etenevä ilmiölähtöinen tarkastelu. Se erottelee ilmaston lämpenemisen ja säännäri-ilmiöiden yleistymisen ja voimistumisen erilaisia vaikutuskanavia ja seurauksia. Tarkastelussa ovat sektorikohtaiset vaikutuskanavat kotitalouksien ja eri toimialoja edustavien yritysten näkökulmasta ja lopulta tiedon käyttäminen kansantalouden tilinpidon kysyntä- ja tarjontakehikossa sen kuvaukseen, miten ilmastonmuutos vaikuttaa tuotantoon, investointeihin, kulutukseen, ulkomaankauppaan ja julkiseen talouteen.

Ilmastonmuutos syötetään malleihin niille ominaisten sokkimekanismien avulla - pääosin - mallien ulkopuolisina ns. eksogeenisina sokkeina, joista keskeisin on tuottavuuden muutos ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Toteutustapa poikkeaa ilmastopolitiikan optimointiin tähtäävien ns. integroitujen arviointimallien näkökulmasta, mutta sallii yksityiskohtaisemman taloudellisten mekanismien tarkastelun. Viimeaikainen kansainvälinen kirjallisuus suosii tätä näkökulmaa, koska taloudellisten lainalaisuuksien osalta joudutaan tekemään vähemmän rajoittavia oletuksia.

Käytännössä viime vuosien kehitystyöstä huolimatta integroitujen arviointimallien tarjoama kokonaisnäkemys on edelleen karkea erityisesti julkistaloudellisten vaikutusten tutkimuksen näkökulmasta, ja yksityiskohtaisten mallien laatiminen on suuri haaste.

Siksi pääasiallinen toteutustapa tässä hankkeessa oli tuottaa skenaarioiden perusteella yksityiskohtaisia kuvauksia ilmastonmuutoksen ja sen torjunnan Suomen kansantalouden kohdistamista kokonaistaloudellisista vaikutuksista GTAP-mallissa ja syöttää niitä FOG-malliin, joka antaa tarkempia tuloksia julkisen talouden näkökulmasta. Näkökulmaa täydennettiin alueellisilla tarkasteluilla.

Vastakohtana tällaiselle alhaalta ylös -menetelmälle on ottaa kansantalouden tasoinen näkökulma, esimerkiksi estimoida tilastollisesti keskilämpötilan muutoksen vaikutuksia kansantalouden arvonlisäyksen määrään paneeliaineiston avulla. Ylätasoisesta näkökulmasta esimerkkinä olemme hyödyntäneet NiGEM-mallia. Erityisesti ilmastonmuutoksen vaikutusten mallinnuksen näkökulmasta ylhäältä alas -menetelmä vaikuttaa kuitenkin varsin karkealta, ja siksi enemmän huomiota raportissa on annettu alhaalta ylös -tarkasteluille.

## Ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän mekanismeja globaaleissa ilmastoskenaarioissa

### Ilmastonmuutoksen hillintä

Tarkasteltujen **hillintäskenaarioiden** keskeisiä vaikutusmekanismeja GTAP-mallissa ovat energiantuotannon murros, talouden sähköistyminen, pääoman tuottoasteen paraneminen Suomessa ja EU:ssa suhteessa muihin alueisiin sekä fossiilisten polttoaineiden viijämaiden bruttokansantuotteen huomattava aleneminen ja niiden viennin rakenteen muutos. Tarkastelluista skenaarioista RCP2.6-skenaario johtaa vajaan 2 asteen lämpenemiseen Pariisin sopimuksen mukaisesti, kun taas RCP4.5-skenaario vastaa noin vajaan 3 asteen lämpenemistä. Suomessa ja EU:ssa päästövähennyksen määrä ja tekninen kehitys

ovat samanlaiset kaikissa skenaariossa.<sup>1</sup> Skenaarioiden väliset erot talousvaikutuksissa Suomelle aiheutuvat siten ulkomaan kaupan ja kansainvälisten investointien ohjautumisen muutosten aiheuttamien suorien ja kerrannaisvaikutusten kautta. Muun maailman osalta päästövähennys ja siten päästömaksut ovat selvästi alemmat RCP4.5-skenaariossa kuin RCP2.6:ssa. Lisäksi toisessa RCP4.5-skenaariossa oletetaan, että EU-alueen ulkopuolella on vähäisempi sähköistymistä tukeva tekninen kehitys kuin RCP2.6-skenaariossa ja toisessa sitä ei ole ollenkaan. Laskelmat kuvaavat pitkää aikaväliä, jossa siirtymä sähköistymisen mahdollistaviin teknologioihin on jo tapahtunut.

Suomen bruttokansantuote oli pitkällä aikavälillä kaikissa skenaarioissa hieman yli prosentin perusuraa alemmalla tasolla tarkastellun ilmastopolitiikan ja teknisen kehityksen seurauksena. Suomen bkt-tappion suuruuteen vaikuttavat erityisesti oletukset teknologian kehittymisestä. Bkt-tappio jää maltilliseksi, koska laskelmassa talouden sähköistyminen toteutettiin osin nostamalla sähkön tuotantoon ja käyttöön liittyviä tuottavuusparametreja. Tarkoituksena oli jäljitellä energiatehokkuuden paranemista ja päästöttömän energian tuotantokustannusten alenemista. Globaali, Suomen vientimäärillä painotettu bkt alenee puolestaan eri skenaarioissa noin 0,5–2,3 prosentilla. Globaali bkt-tappio on korkein voimakkaamman ilmastonmuutoksen hillinnän RCP2.6-skenaariossa ja vähäisin RCP4.5-skenaariossa, jossa oletetaan maltillinen päästöjä vähentävä tekninen kehitys EU:n ulkopuolella. Bkt alenee erityisesti fossiilisia polttoaineita vievissä maissa, kuten Venäjällä ja Lähi-idässä.

Keskeisin investointien voimakasta kasvua selittävä tekijä Suomessa ja EU-alueella on laskelmassa ulkomaisten investointien suuntautuminen Suomeen ja EU-alueelle vihreän siirtymän tarjotessa kannattavia kohteita pääomasijoituksille erityisesti Venäjään ja Lähi-itään verrattuna. Suomen viennin väheneminen aiheutuu erityisesti muiden maiden tuotantokustannusten alenemisesta johtuvasta Suomen hintakilpailukyvyn heikkenemisestä, mutta myös tuontikysynnän alenemisestä kaikkialla maailmassa. Laskelmat eivät sisällä ilmastoteknologiaan liittyvää vientipotentiaalia. Vienti- ja investointivaikutukset ovat voimakkaimmat siinä RCP4.5-skenaariossa, jossa EU:n ulkopuolella ei ole sähköistymistä tukevaa teknistä kehitystä. Suomen tuonti alenee fossiilisten polttoaineiden tuonnin lähes loputtua, kun taas useimpien muiden hyödykkeiden tuonti kasvaa perusuraan verrattuna. Yksityinen kulutus alenee Suomessa noin prosentin, kun taas julkinen kulutus kasvaa. Kotimaista kulutusta edesauttaa vaihtosuhteen paraneminen. Yksityisen ja julkisen kulutuksen määrän vaihtelu skenaarioiden välillä ei kuitenkaan ollut kovin merkittävän suurta vastakkaisten vaikutusten takia. RCP4.5-skenaariossa Suomi toisaalta hyötyi EU-alueen

<sup>1</sup> RCP-skenaariot esittävät vaihtoehtoisia päästöuria, jotka määrittelevät ilmastonmuutoksen vaikutusten voimakkuuden. RCP-skenaariot ilmaistaan tyypillisesti muodossa RCPx, missä 'x' viittaa säteilypakotteen tasoon (esim. RCP2.6). Skenaarioita on tarkemmin esitelty luvussa 3.



ulkopuolisia maita korkeammasta sähköistymiseen liittyvästä teknologian kehittämisestä energiaintensiivisen teollisuuden viennin hintakilpailukyvyyn paranemisen ja lisääntyneiden ulkomaisten investointien kautta, kun taas korkeammilla päästömaksuilla EU:n ulkopuolisiin maihin verrattuna oli negatiivinen vaikutus kilpailukykyyn.

Energian tuotannossa tapahtuu merkittävä siirtymä päästöttömään energiaan. Laskelmat tukevat sitä, että teknologinen kehitys on välttämätöntä nollapäästöihin pyrittäessä. Sähköistymistä tukeva tekninen kehitys vähentää ilmastopolitiikasta seuraavaa talouden rakennemuutosta. Sähköistämisen myötä energiaintensiivisen tuotannon kansainvälistä kilpailukykyä on mahdollista ylläpitää myös tiukan ilmastopolitiikan vallitessa, kun polttoainekäyttöön liittyvät päästömaksut eivät ole enää kustannusrasitteena. Kilpailukyvyyn säilymisen edellytyksenä on se, ettei (päästöttömän) sähkön hinta ole liian korkea. Näissä laskelmissa sähkön hinta alenikin, kun sähkön ja lämmön tuotannossa tapahtuu merkittävä siirtymä kustannuksiltaan alhaisempaan päästöttömään energiaan. Suomen talouden rakenne palveluvaltaistuu, koska kotimarkkinoilla negatiiviset vaikutukset jäävät pienemmiksi kuin ulkomaan kaupassa.

Laskelmat osoittivat, että kansainvälisen kaupan kautta tulevat vaikutukset ajavat merkittävässä määrin tuloksia. Laskelmat voivat kuitenkin yliarvioida hintakilpailukyvyyn muutoksen voimakkuutta ja sen vaikutusta ulkomaankauppaan. Laskelmat havainnollistivat muun muassa, että kilpailukykyvaikutuksia voi syntyä, vaikka päästöjen vähennys olisi kaikkialla samansuuruinen. Vaikutuskanavat ovat erisuuntaisia ja niiden merkitys vaihtelee skenaarioittain ja alueittain. Laskelman puutteina oli muun muassa, että käytetty malli ei sisältänyt päästöttömiä liikenne ja lämmitysmuotoja.

### **Ilmastonmuutoksen heijastevaikutukset**

Ilmastonmuutoksella on heijastevaikutuksia Suomen talouteen, erityisesti jos ilmastonmuutos vaikuttaa laajalti maailmantalouteen. Ilmastonmuutos vaikuttaa merkittävästi työn tuottavuuteen erityisesti päiväntasaajan lähellä olevissa maissa. Tässä hankkeessa hyödynnettiin KUITTI-hankkeen GTAP-mallilaskelmia, joiden mukaan ulkomaankaupan ja kansainvälisten investointien suuntautumisen seurauksena syntyvä heijastevaikutus Suomeen oli lievästi positiivinen nostaten bruttokansantuotetta noin 0,2 % RCP4.5-skenaariossa.

Heijastevaikutusten suunnan havaittiin kuitenkin sekä GTAP-laskelmien että aiemman tutkimuksen perusteella olevan herkkä mallin oletuksille. Esimerkiksi jos kansainvälisten investointien suuntautumista Suomeen suhteellisen tuottavuuden parannuttua ei otettaisi laskelmassa huomioon, heijastevaikutuksen suunta olisi negatiivinen.

Talousvaikutusten ja niiden heijastumisen tarkastelua vaikeuttaa se, että maailmanlaajuisia arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista talousmallin lähtötietoihin on heikosti saatavissa ja niihin liittyy suurta epävarmuutta.

Esitetyt arviot kuvaavat ilmastonmuutoksen trendinomaisten pitkän aikavälin vaikutusten heijastumista Suomeen. Äkillisistä ääri-ilmiöistä aiheutuneet lyhyen aikavälin heijastevaikutukset voivat kuitenkin olla selvästi suurempia erityisesti yksittäisille tuotteille. Lisäksi muun muassa ilmastonmuutoksen aiheuttama siirtolaisuus voi aiheuttaa huomattavia pysyviä taloudellisia vaikutuksia.

### **Julkistaloudelliset vaikutusmekanismit ja mittaluokka FOG-mallin perusteella**

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia julkiseen talouteen tutkittiin dynaamisen FOG-mallin avulla. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia jäljiteltiin siirtämällä FOG-malliin GTAP-mallin uutta ilmastonmuutoksen jälkeistä tasapainotilaa kuvaavien keskeisten kansantaloudellisten muuttujien arvot. Näitä muuttujia olivat vientimaiden kasvuvauhdin muutos, investoinnit Suomeen ja työn tuottavuuden muutos. Jo GTAP-tulosten perusteella voidaan päätellä, että ilmastonmuutoksen kansantaloudelliset vaikutukset jäävät vähäisiksi, jolloin myös julkisen talouden vaikutukset ovat pienet ja toteutuvat erittäin pitkän ajan kuluessa. Ulkomailta tulevat heijastevaikutukset vähentävät vientiä, koska vientimaiden talouskasvu hidastuu, mutta kasvattavat investointeja, ja niiden yhteisvaikutus tuotantoon jää vähäiseksi. Siksi myös julkisen talouden tuloksia dominoivat ilmastonmuutoksen vaikutukset kotimaisen tuottavuuden kasvuun.

FOG-mallin julkinen talous on tasapainotettu ilmastonmuutoksen vaikutuksia kuvaavissa simuloinneissa eri tavoin eri sektoreilla. Sosiaaliturvasektori ja kunnat rahoittavat menonsa maksuilla ja veroilla niin, että menojen ja tulojen tasapaino säilyy kaikilla periodeilla. Sen sijaan valtio tasapainottaa tulot ja menot velkaa muuttamalla ja pitää veroasteet ennallaan. Simulointitulosten mukaan ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat koko julkiseen talouteen marginaalisesti positiiviset. Työn tuottavuuden ja sitä kautta palkkasumman kasvu vahvistaa sosiaaliturvarahastojen ja kuntien taloutta ja mahdollistaa pienen verojen kevennyksen pitkällä aikavälillä. Sen sijaan valtiontalouteen syntyy pieni alijäämä, joka johtuu todennäköisesti siitä, että hitaammin kasvava kulutus ja yritysten voitot muodostavat merkittävän osan veropohjista, kun taas menoista valtaosa on ansiosidonnaisia.

Hankkeessa pohdittiin myös GTAP-mallin hillintäpolitiikan vaikutusten yhdistämistä FOG-malliin, mutta lopputuloksesta olisi tullut epäkonsistentti. Paras lopputulos olisi saavutettu, jos FOG-mallin simulaatioihin olisi tuotu GTAP-mallin tulokset ulkomaisen hillintäpolitiikan vaikutuksista ja FOG-mallissa olisi toteutettu veropolitiikkaa, jolla olisi ollut identtiset julkisen talouden vaikutukset. FOG-mallista puuttuu kuitenkin relevantti toimialarakenne ja mahdollisuus verottaa erikseen energiapanoksia, tai päästöjä. Siksi

verotuksen kohtaannon ja keskeisten verolajien tuoton matkiminen olisi edellyttänyt niin suurta määrää oletuksia, että lopputuloksen informaatioarvo olisi ollut vähäinen. Toinen avainongelma on politiikan aikauran muotoilu FOG-mallissa, kun GTAP-mallin politiikka ja tulokset kertovat vain pitkän aikavälin uudesta tasapainosta.

FOG-mallin verojen korotuksista aiheutuvia kansantaloudellisia ja julkisen talouden vaikutuksia on sen sijaan kuvattu erillisillä laskemilla. Ajatuksena näissä laskelmissa on, että ympäristöverojen lopullinen kohtaanto on suurelta osin yksityisellä kulutuksella, ja siksi nostettiin vähitellen kulutusveroastetta 2030-luvun lopulle asti ja palautettiin se sen jälkeen alkuperäiselle tasolle. Palautuksen perusteluna on, että verotuksen kiristymisen julkisen talouden vaikutukset ovat pääosin väliaikaiset, koska vihreä siirtymä vähentää fossiilisten polttoaineiden verottamisesta saatavia tuloja pitkällä aikavälillä.

Mallituloksiin vaikuttaa olennaisesti se, että FOG-mallissa kotitaloudet ja yritykset tietävät koko politiikkauran etukäteen, jolloin esimerkiksi kulutusta tasataan säästöjä muuttamalla yli korkeamman verotuksen ajanjakson. Kotitalouksien ostovoiman heikkeneminen vähentää tästä huolimatta aluksi merkittävästi yksityistä kulutusta, ja väheneminen kohdentuu erityisesti työikäisiin, koska eläkkeet ovat indeksidonnaiset. Kasvaneet kulutusveron tuotot käytetään valtion velan vähentämiseen, ja tämä onkin julkisen talouden näkökulmasta ainoa pysyvä seuraus verotuksen väliaikaisesta kiristämisestä.

Toinen verotuksen mekanismeja kuvaava simulaatio tehtiin ajatuksella, että osa yritysten välipanoksiin kohdennetun ympäristöveron kohtaannosta osuu yritysten voittoihin. Tätä jäljiteltiin nostamalla edellisen kokeilun tavoin vähittäin väliaikaisesti yhteisveroastetta. Tässäkin tapauksessa politiikkapolun tunteminen etukäteen vaikuttaa merkittävästi siihen, millaisia ovat lyhyen aikavälin tulokset. Veron kiristäminen laskee yritysten arvoa ja siten niitä omistavien kotitalouksien varallisuutta. Osa veron kohtaannosta siirtyy kotitalouksille myös alhaisempien palkkojen muodossa. Lisäksi uusien investointien tuottovaatimus kasvaa, mikä vähentää investointeja.

Julkisen talouden tasapainon näkökulmasta vaikutukset ovat samankaltaiset kuin kulutusverotuksen kiristämisen: lisäverotulojen käyttö valtion velan pienentämiseen vähentää marginaalisesti mutta pysyvästi valtion menoja. Vaikka talous palaa verotusmuutosten jälkeen aiemmalle kasvu-uralleen, yksityisen sektorin näkökulmasta matalamman valtion velan vastapainona ovat menetykset varallisuudessa ja yksityisessä kulutuksessa, jotka osuvat veromuutosten aikaan eläneille kotitalouksille eri tavoin niiden työmarkkina-aseman ja elinkaaren vaiheen mukaan.

## Alueellisia riskejä ja vaikutuksia

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen liittyvä politiikka yhdessä ilmastonmuutoksen aiheuttamien paikallisten ja globaalien suorien vaikutusten seurauksen kanssa tulee vaikuttamaan kuntien talouteen suorasti ja epäsuorasti tulevien vuosikymmenten aikana. Kielteisten talousvaikutusten ehkäiseminen ja minimoiminen riippuu siitä, kuinka hyvin siirtymävaiheen ohjauksessa ja politiikassa onnistutaan myös alueellisella tasolla.

Kuntien tunnistamista ilmastonmuutoksen riskeistä suurimmat liittyvät vesien hallintaan ja energiavarmuuden ennakoimattomuuteen. Lisäksi ilmastopolitiikan aiheuttamista riskeistä kunnallistaloudelle on tunnistettu ainakin teollisuuden kilpailukyvyn heikkeneminen, yleinen kustannusten nousu ja mahdollinen verotulojen lasku tehtyjen päätösten seurauksena. Samaan aikaan osassa kuntia tunnistetaan myös ilmastopolitiikan mahdollisuudet kilpailukyvyn parantamiselle ja elinkeinorakenteen uudistamiselle tai monipuolistamiselle.

Analyysimme perusteella merkittävä riski syntyy ylipäätään varautumattomuudesta ja tiedon puutteesta eli siitä, että useilta kunnilta puuttuu laajamittainen ymmärrys ja kokonaiskuva ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista ja niihin varautumisesta. Osa kunnista on kuitenkin jo tehnyt riskikartoituksia, ja riskejä on alettu huomioida esimerkiksi erilaisissa olemassa olevissa strategioissa, kaavoituksessa ja rakennustoiminnassa sekä kunnallistekniikan kehityksessä ja myös energiavarmuutta on pyritty ja pyritään parantamaan alueellisten ominaispiirteiden puitteissa.

Ilmastonmuutoksen suorien vaikutusten lisäksi ilmastopolitiikka vaikuttaa kuntien talouteen epäsuorasti myös elinkeinorakenteen ja kuntien varallisuuden kautta. Elinkeinorakenteen monipuolistaminen ja kehittäminen vihreämmäksi tunnistetaan keinoiksi parantaa kilpailukykyä ja siten vahvistaa mahdollisia ilmastopolitiikan positiivisia taloudellisia vaikutuksia.

Kysymys energiantuotannosta korostuu sekä tilasto- että kyselyanalyysissa: sekä nykyinen elinkeinorakenne (teollisuus) että tunnistetut varautumiskeinot painottavat energiantuotannon vaikutuksia. Ne vaihtelevat kuitenkin merkittävästi eri kuntien välillä. Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan talousvaikutusten ennakointi myös elinkeinorakenteen osalta tarjoaa mahdollisuuden kunnille kirittää vihreää siirtymää ja minimoida kielteisiä vaikutuksia.

## Siirtymän kitkoista

Mallinnuksesta saatuja tuloksiamme on myös hyödyllistä tarkastella siirtymän haasteiden näkökulmasta. Ensinnäkin ne osoittavat, että ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän kustannukset tulevat vaihtelevaan paljon eri maiden välillä. Tulos korostaa sitä, että kansainvälinen taakanjako ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän kustannuksista on keskeinen kysymys, ja siihen liittyvät päätökset ovat sekä julkisen talouden että oikeudenmukaisen vihreän siirtymän kannalta keskeisiä.

Toisaalta tutkimuksessa syntyneitä varsin maltillisia arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Suomessa on lopuksi hyvä suhteuttaa kirjoitushetkellä vallitsevaan Venäjän hyökkäykseen Ukrainassa ja energiamarkkinoiden kriisiin Euroopassa. Tuloksemme kuvaavat talouden tasapainotilannetta, johon talous asettuu keskipitkällä aikavälillä. Tutkimustiedon mukaan siirtymän rauhallinen eteneminen ja ennakointi ovat keskeisiä talouden sopeutumiskustannusten minimoinnin kannalta, jotta tasapainoon päästäisiin ilman merkittäviä lyhyen aikavälin kitkoja.

Alkuvuodesta 2023 tätä raporttia kirjoittaessamme siirtymä pois fossiilisista polttoaineista on sen sijaan tapahtumassa ennakoimattoman nopeasti ja Venäjän käyttäessä energian saatavuuden rajoittamista taloudellisena aseena Eurooppaa vastaan. Ei ole yllättävää, että kriisin seurauksena siirtymän kustannukset kotitalouksille, yrityksille ja julkiselle taloudelle näyttävät tällä hetkellä suurina.

Pidemmän aikavälin tulokset eivät ole kuitenkaan merkityksettömiä nykytilanteenkaan arvioinnissa. Niistä voi ainakin tehdä sen päätelmän, että vaikutukset julkiseen talouteen fossiilisen energian kuluttajamaissa Euroopassa eivät lopulta ole huomattavan suuria, jos siirtymä pääsee jatkumaan ilman merkittäviä uusia sokkeja. Toisaalta mallinnustuloksien valossa Venäjä on keskeisiä siirtymän häviöitä ja sen talous tulee tulevina vuosikymmeninä kärsimään merkittävästi fossiilisten polttoaineiden kysynnän laskusta monien muiden tuottajamaiden kanssa.

Tässä suhteessa Venäjän aggression voi nähdä kohdistuvan brutaalilla tavalla myös siirtymään pois fossiilisista polttoaineista, sillä on odotettavissa, että siirtymä alentaa vähitellen fossiilisen energian globaalia kysyntää ja siitä saatavaa hintaa. Fossiilisen energian tuottajat voivat puolestaan ennakoida tämän kehityksen, jolloin fossiilisen energian merkitystä voidaan pyrkiä korostamaan kaikin keinoin siirtymän aikana. Tämä voi onnistua horjuttamalla siirtymää läpikäyviä talouksia ja niiden poliittista tahtoa siirtymään, joko tuottamalla fossiilista energiaa paljon ennen kuin hinta laskee pysyvästi hyvin matalaksi tai kiristämällä siirtymämaita sen saatavuuden katkaisemisella. Toisaalta on nähtävissä vahvoja viitteitä siitä, että Venäjän energia-aseen käytöstä on seurauksena nopeampi siirtymä pois fossiilisista energialähteistä. Samalla kun on selvää, ettei energialla painostuksen alla pidä taipua, on jatkossa kiinnitettävä entistä enemmän huomiota kansantalouksien riskeihin ja kestävyteen myös siirtymän luoman lisääntyvän poliittisen epävarmuuden näkökulmasta.

# 1 Johdanto

Systemaattista tietoa ilmastonmuutoksen julkisen talouden vaikutuksista on vielä vähän. Tarve tutkitulle tiedolle on kuitenkin suuri etenkin ottaen huomioon Suomen julkisen talouden kestävyysvajeen ja sen korjaamiseksi vaadittavan pitkän tähtäimen näkymän talouden kehityksestä. Etlan, Syken ja Demos Helsingin tutkimushankkeessa *Ilmastonmuutoksen kokonaistaloudelliset vaikutukset julkiseen talouteen* kootaan yhteen tietoa aikaisemmasta kirjallisuudesta, luodaan uusi laskentakehikko ja hyödynnetään sitä uusissa ja monipuolisissa vaikutusanalyysissä. Tutkimuksessa ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän ja siihen sopeutumisen vaikutuksia Suomen julkiseen talouteen pyritään tarkastelemaan useista eri näkökulmista kattavan tilannekuvan luomiseksi. Hanke kokoaa tietoa globaaleista ja paikallisista ilmastoriskeistä skenaarioiksi ja täsmentää niiden vaikutuksia Suomeen ja sen kansantalouden sektoreihin. Lisäksi ilmastopolitiikan riskejä julkiseen talouteen kartoitetaan alueellisesti.

Ilmastonmuutos haastaa yhteiskunnan kestävyuden monilla eri tasoilla seuraavien vuosikymmenien aikana. Sen torjunta vaatii tasapainottelua ilmastonmuutosta pysäyttävien toimien tehokkuuden ja muun yhteiskunnan toimintakyvyn välillä (Stern, 2007). Julkinen sektori toimii keskeisessä roolissa ilmastonmuutoksen torjunnassa sääntelijänä, muutoksen tukijana ja hintojen ohjaajana. Samalla kun julkinen sektori suojaa ja ohjaa taloutta murrosvaiheessa, on sen kuitenkin huolehdittava myös oman taloutensa kestävyyydestä. Julkisen talouden vaikutuksiin onkin viime vuosina enenevässä määrin kiinnitetty huomiota (esim. Batten, 2018).

Ilmastonmuutoksen taloudellisten vaikutusten arviointia vaikeuttaa pitkän aikajänteen lisäksi epävarmuus teknologisesta kehityksestä sekä kansainvälisen yhteistyön onnistumisesta. On kuitenkin odotettavissa, että ilmastonmuutos ja sen torjunta vaikuttavat julkiseen talouteen suoraan ja välillisesti (OBR, 2019). Ilmastoriskien, kuten äärimmäisten sääilmiöiden tai vähittäisten ilmastohaittojen, toteutuessa julkisen talouden rooli talouden vakauttajana voi nostaa sille koituvat välittömät kustannukset suuriksi erityisesti, jos erilaiset ilmastonmuutoksen kerrannaismekanismit toteutuvat. Ilmastonmuutoksen kustannukset koostuvat myös kansantalouden eri tasoilla syntyvistä välillisistä vaikutuksista (EC, 2020), kuten ehkäisykustannuksista ja tuotantoresurssien uudesta allokaatiosta. Tarve tasata tulonjakomuutoksia aiheuttaa myös kustannuksia. Lisäksi talouskasvun hidastuminen pienentää verotuloja ja rakennemuutos muuttaa veropohjien suhteellista kokoa.

Ilmastonmuutos vaikuttaa talouden rakenteisiin sekä palveluiden ja tavaroiden kysyntään ja tarjontaan. Tarjontapuolella vaikutukset näkyvät tuotantomahdollisuuksien muutoksina sekä tuotantotekijäresurssien määrässä ja käytettävyydessä että tuotantotapojen muutoksissa. Kysyntäpuolella vaikutukset näkyvät kotitalouksien ja yritysten kulutus- ja investointipäätöksissä (EC, 2020). Lisäksi vientimaiden talouskasvun hidastuminen jarruttaa viennin kehitystä ja heikentää vaihtosuhdetta. Vaikutukset talouden eri sektoreihin sekä väestöryhmiin voivat olla heterogeenisiä ja intensiteetiltään erilaisia. Kaiken kaikkiaan kansantalouden kokonaistasapaino muuttuu ilmastonmuutoksen seurauksena tavalla, joka heijastuu julkisen talouden toimintaan ja rahoitukseen aina globaalilta tasolta kansantalouksien alueisiin ja sektoreihin asti.

Tässä hankkeessa tavoitteena on luoda kokonaiskuva ilmastonmuutoksen vaikutuksista julkisen talouden kestävyteen ja riskeihin. Työssä hyödynnetään makrotaloudellisia kokonaistasapainomalleja, joiden avulla tarkastellaan ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän globaaleja vaikutuksia. Keskiössä on kuitenkin Suomeen kohdistuvien suorien ja heijastevaikutusten arviointi. Mallinnustyön avulla kyetään erottelemaan, mitkä vaikutuskanavat, ml. globaalit vaikutukset, ovat julkisen talouden näkökulmasta Suomen kannalta keskeisiä. Samalla kyetään myös arvioimaan, mitkä ovat ilmastonmuutoksen julkisen talouden vaikutusten mallintamisen haasteet ja mikä menetelmällinen lähestymistapa tarjoaa parhaat mahdollisuudet mallintamiselle. Mallinnustulosten avulla saadaan myös haaroitua ilmastonmuutoksen sekä sen hillintään suunniteltujen politiikkatoimien julkisen talouden vaikutusten suuruusluokka. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnetään kuntatason aineistoanalyysia ja kyselytutkimusta, joiden avulla kyetään muodostamaan tarkempi kuva erityisesti ilmastonmuutoksen sopeutumisen ja vihreän siirtymän ennakoituista vaikutuksista kuntatalouteen.

## 2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset kansantalouteen ja julkiseen talouteen: kirjallisuuskatsaus mekanismeista

Ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista on jo olemassa runsaasti kansallista ja kansainvälistä tutkimustietoa (Gregow ym., 2021; Perrels ym., 2022; IPCC, 2022; Tuomenvirta ym., 2018; Tamminen ym., 2022). Tässä luvussa tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen perusteella ilmastonmuutoksen suoria taloudellisia vaikutuksia sekä sen hillinnän ja vihreän siirtymän vaikutuksia kansantalouteen ja julkiseen talouteen. Ilmaston lämpeneminen on monimutkainen prosessi, jonka vaikutusten suuruuteen, ajoitukseen ja seurauksiin liittyy edelleen paljon epävarmuutta. Se on jo kuitenkin käynnissä, ja on todennäköistä, että sillä tulee olemaan yhdessä hillintä- ja sopeutumispolitiikan kanssa huomattava vaikutus yhteiskunnalliseen kehitykseen, kansantalouksien toimintaan ja julkisen talouden tuloihin, menoihin ja nettovarallisuuteen.

Ilmastonmuutoksen aiheuttamat alueelliset kustannukset ja vaikutukset elinympäristöön riippuvat voimakkaasti alueen sijainnista ja yhteiskunnan sopeutumiskyvystä. Lämpötilan muutokset ovat erisuuruiset maapallon eri alueilla; pohjoisilla alueilla nousu on suurinta ja nopeinta. Toisaalta tietyn astemäärän nousun vahingollisuus on elinympäristön kannalta suurinta siellä, missä lämpötilat ovat jo ennestään korkeat. Vahinkojen ajoituksissa on eroja; äkilliset sääilmiöt yleistyvät ensin. Monet jo käynnissä olevat trendinmuutokset voimistuvat vähitellen, mutta ovat pysyviä (Gregow ym., 2021). Ilmastonmuutos heikentää luonnon monimuotoisuutta, koska lajit eivät ehdi sopeutua uusiin olosuhteisiin. Monimuotoisuuden taloudellista merkitystä on alettu ymmärtää vasta vähitellen (Dasgupta, 2021).

Ilmastonmuutoksen ja eri politiikkavaihtoehtojen tutkimus on levinnyt maailmanlaajuisesti ponnistukseksi, jossa kasvava määrä tutkimusryhmiä rakentaa talouden ja ilmaston yhdistäviä malleja ja tuottaa poliittista päätöksentekoa tukevia tuloksia (Nordhaus, 2019). Poliittikka ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on jo saanut mittavia muutoksia aikaan erityisesti energian tuotannossa ja kulutuksessa. Jo tehtyjen päätösten lisäksi normien ja hintaohjauksen odotettavissa oleva kiristyminen ja tukipolitiikka ohjaavat sijoittajien



rahoitusta, yritysten investointipäätöksiä ja kuluttajien käyttäytymistä. Vihreän siirtymän kansantaloudelliset vaikutukset tulevatkin aikaisemmin ja ovat pitkään suuremmat verrattuna itse ilmastonmuutoksen vaikutuksiin erityisesti Pohjoismaissa.

Suomessa lähtökohtina ovat alhainen keskilämpötila, korkea elintaso, pieni avotalous, energiaintensiivinen tuotanto sekä metsäsektorin suurempi osuus kansantuotteesta ja työllisyydestä moniin muihin maihin verrattuna. Suomi on arvioitu kansainvälisissä vertailuissa<sup>2</sup> ilmastoriskeiltään matalimpien ja sopeutumiskyvyltään parhaiden maiden joukkoon. Myös muut Pohjoismaat ovat korkeilla sijoilla. Vientimarkkinoiden kasvu on Suomelle tärkeää, samoin kuin pysyminen teknologisen kehityksen eturintamassa vihreän siirtymän aikana. Suomen ilmastopolitiikka on osittain sidoksissa EU:n yhteisiin päätöksiin ja maailmanlaajuisiin päästötavoitteisiin. Suomi on myös ikääntyvä kansantalous, jolle maahanmuutto on käytännössä talouskasvun ja julkisen talouden tasapainottamisen välttämätön ehto.

Seuraavissa jaksoissa kuvataan ensin ilmastonmuutoksen suoria vaikutuksia kansantalouteen ja julkiseen talouteen. Niiden erottaminen hillintä- ja sopeutumispolitiikan vaikutuksista on osittain keinotekoista, koska ne ovat vuorovaikutuksessa. Hillintäpolitiikka pienentää Suomen päästöjä, ja sopeutumispolitiikalla vähennetään paikallisia ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Suorien vaikutusten kuvaaminen erillisinä on kuitenkin hyödyllistä, jotta saadaan lähtökohta politiikan vaikutusten arvioinnille. Osittain kyse on myös ajoituksesta. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat pysyviä, mutta hillintä on saatava aikaan keskipitkällä aikavälillä. Siksi taloudellisissa arvioissa erotellaan joskus ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset kansantalouteen ja julkiseen talouteen ja vihreän siirtymän vaikutukset (Batten, 2018). Jakoa noudatetaan myös tässä katsauksessa.

## 2.1 Ilmastonmuutoksen ja siihen sopeutumisen vaikutukset kansantalouteen ja julkiseen talouteen

### 2.1.1 Yleiskuvaus ilmastonmuutoksen suorista vaikutuksista

Ilmastonmuutoksen suorilla vaikutuksilla tarkoitetaan tässä fyysisten tapahtumien, kuten alueellisen keskilämpötilan nousun, sademäärän muutosten sekä sään ääri-ilmiöiden yleistymisen ja voimistumisen vaikutuksia yhteiskuntaan (physical risks). Muutosten

<sup>2</sup> Notre Dame Global Adaptation Index sijoittaa Suomen 182 maan vertailussa kolmanneksi, kun huomioidaan haavoittuvuus ja valmiudet sopeutumiseen, <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/>. Swiss Re Institute sijoittaa samankaltaisilla mittareilla Suomen ykköseksi 48 maan joukossa (Swiss Re Institute, 2021).

suuruuteen liittyy huomattavaa epävarmuutta (Lee ym., 2021). Määrällisten arvioiden tekeminen on kuitenkin välttämätöntä vaikutusten ymmärtämisen vuoksi ja myös siksi, että niitä tarvitaan punnittaessa ilmastonmuutoksen hillinnän haittoja ja hyötyjä. Vähähiiliseen yhteiskuntaan siirtymistä (transition risks) käsittelevää kirjallisuutta kuvataan luvussa 2.2.

Ilmastonmuutos vaikuttaa maan tuotantokapasiteettiin ja sen tuottavuuteen, kotimaisen kysynnän ja ulkomaankaupan määrään ja rakenteeseen sekä varallisuusarvoihin. Lisäksi maiden väliset erot ilmastonmuutoksen vaikutusten suuruudessa ja sopeutumiskyvyssä ovat kärjistämässä eroja elintasossa (Roson ja Sartori, 2016) ja terveydessä (Romanello ym., 2021), mikä voi johtaa konflikteihin ja muuttoliikkeen lisääntymiseen<sup>3</sup>.

Ilmastonmuutoksen vaikutusten kansantaloudellista tarkastelua voidaan tehdä monesta näkökulmasta. Ilmiölähtöinen tarkastelu erottelee ilmaston lämpenemisen ja sään ääri-ilmiöiden yleistymisen ja voimistumisen erilaisia vaikutuskanavia ja seurauksia. Sektori-kohtainen tarkastelu erottelee vaikutuskanavia kotitalouksien ja eri toimialoja edustavien yritysten näkökulmasta. Kolmas näkökulma on käyttää kansantalouden tilinpidon kysyntä- ja tarjontakehikkoa ja kuvata, miten ilmastonmuutos vaikuttaa tuotantoon, investointeihin, kulutukseen ja ulkomaankauppaan. Näitä tarkastelutapoja voidaan myös yhdistää esimerkiksi keräämällä tietoa eri ilmiöiden vaikutuksista eri sektoreille ja yhdistämällä nämä makrotaloudelliseen malliin, joka tuottaa vaikutukset kysyntä- ja tarjontaeriin ja hintoihin. Vastakohtana tällaiselle alhaalta ylös - menetelmälle on estimoida tilastollisesti esimerkiksi keskilämpötilan muutoksen vaikutuksia arvonlisäyksen määrään paneeliaineiston avulla (esim. Newell ym., 2021). Ekonometrisen tutkimuskirjallisuuden havaintoja tarkastellaan luvussa 2.4.1.

Batten (2018) tarkastelee erikseen sään ääri-ilmiöiden muutosten ja ilmaston lämpenemisen vaikutuksia kansantalouteen tarjonnan ja kysynnän kautta. Yleistyvät *sään ääri-ilmiöt*, kuten sademäärän, tuulennopeuden ja lämpötilan poikkeuksellinen käyttäytyminen (suurempi intensiteetti ja erilainen ajoitus), aiheuttavat pääasiassa kertaluonteisia, mutta ajoittain toistuvia vahinkoja muun muassa maatalouden sadoille, metsille, rakennuksille ja liikenne- ja energiainfrastruktuurille. Vahingot koskevat siten sekä tuottajien pääomaa että tuotantoa. Ne kertautuvat liikenneverkoissa ja arvoketjuissa tavaroiden ja palvelujen saatavuuden pullonkauloina ja hintamuutoksina vähentäen ulkomaankauppaa. Arvoketjujen piteneminen ja varastojen väheneminen on suurentanut ja pidentänyt häiriöiden vaikutuksia.

<sup>3</sup> Ferris (2020) kokoaa yhteen tietoa ilmastonmuutokseen liittyvästä muuttoliikkeestä. Arviot muuttoliikkeen määrästä vuoteen 2100 vaihtelevat 50 miljoonasta 1 miljardiin, mikä kertoo paitsi suuresti vaihtelevista lähtöoletuksista, niin myös vaikeudesta tuottaa käyttökelpoisia ennusteita nykytietämyksellä.

Vahinkojen korjaaminen ja tuotantokapasiteetin palauttaminen ennalleen edellyttää investointeja, joiden rahoittaminen vähentää yritysten jakamia voittoja. Suuret toistuvat vahingot voivat alentaa yksittäisten yritysten ja toimialojen markkina-arvoja<sup>4</sup>. Tuottajat voivat jakaa riskejä uudelleen vakuutusten avulla. Jos kuitenkin vahinkojen suuruus kasvaa ja niitä tulee useammin ja suuremmalle osalle vakuutetuista, vakuutusten hinnat nousevat ja niiden ehdot tiukkenevat.

Kotitalouksille sään ääri-ilmiöt aiheuttavat taloudellisia menetyksiä omaisuusvahinkojen, liikenneyhteyksien katkeilun ja hintojen nousun kautta ja lisäksi terveydellisiä ongelmia ja hyvinvoinnin heikkenemistä. Yksityinen kulutus vähenee väliaikaisesti.

*Ilmaston lämpeneminen* on jo käynnissä, mutta tapahtuu vähitellen. Sen täydet vaikutukset tulevat näkyviin myöhemmin kuin sään ääri-ilmiöiden muutokset. Keskilämpötilan nousun ja sen seurausten arvioidaan vaikuttavan jatkossa tuotantokapasiteettiin ja tuottavuuteen erityisesti maa- ja metsätaloudessa, kuljetuksissa ja energiantuotannossa, sekä muuttavan turismivirtoja. Tarjonnan ja kysynnän muutoksista aiheutuvat hintasuhteiden muutokset vaikuttavat eri toimialojen kannattavuuteen ja investointeihin.

Korkeampiin lämpötiloihin varautuminen ja sopeutuminen lisäävät pysyvästi yritysten investointitarpeita, mikä heikentää toiminnan kannattavuutta. Nämä investoinnit saattavat lisäksi syrjäyttää t&k-toimintaa ja vaimentaa sitä kautta kokonaistuottavuuden kasvua (Batten ym., 2020). Investointien tuottoon liittyvän epävarmuuden lisääntyminen vähentää niiden kokonaismäärää. Myös rahoitusmarkkinoilla voi syntyä ilmatoriskien realisoi-tuessa häiriöitä.

Globaalin talouskasvun hidastuminen vähentää kansainvälisen kaupan määrää (Dellink ym., 2017). Maat ovat kuitenkin eri asemassa viennin kasvun suhteen, koska talouskasvun hidastuminen on erisuuruista eri vientimarkkinoilla ja kysyntärakenteen muutokset osuvat eri tavoin eri maiden vientituotteiden valikoimaan. Lisäksi maan suhteellinen kilpailukyky voi parantua, jos ilmastonmuutos aiheuttaa enemmän kustannuksia kilpailijamaiden tuotannolle (OECD, 2015).

Lämpötilan nousu hidastaa työn tuottavuuden paranemista palkansaajien työkyvyn ja terveyden heikkenemisen kautta. Tosin suurimmat terveys- ja kuolleisuusvaikutukset keskittyvät ikäihmisiin. Vaikutukset ovat ongelmallisimmat maissa, joissa lämpötila on jo nyt korkea.

---

4 Esimerkkinä varallisuusvaikutuksista on, että altistuminen ääri- ja lämpötiloille vaikuttaa jo nyt kiinteistösijoitusten tuottoon: kuumuus vähentää teollisten ja toimistotilojen arvoa ja kylmyys vähentää hotellien, toimistotilojen ja vähittäiskaupan kiinteistöjen arvoa Yhdysvalloissa (Cvijanovic ja Van de Minne, 2021).

Ihmisten tiedon ja ymmärryksen lisääntyminen ilmastonmuutoksesta vaikuttaa suoraan kulutuskäyttäytymiseen (preferenssivaikutus), mikä voimistaa hintasuhteiden muutoksen vaikutusta. Preferenssien muuttuminen ohjaa myös sitä, miten suhtaudutaan ilmastolle myönteisiä valintoja koskeviin suosituksiin. Kulutuskysyntä kasvaa hitaammin tulojen kasvun heikkenemisen ja hintojen nousun myötä. Lisäksi säästämisaste saattaa nousta epävarmuuden kasvun vuoksi (Andersson ym., 2020). Tämä ei kuitenkaan tarkoita välttämättä sitä, että yritysten ja kotitalouksien säästäminen riittäisi sopeutumiseen tarvittavien lisäinvestointien rahoitukseen, koska tulojen kasvu on hitaampaa.

## 2.1.2 Ilmastonmuutoksen suoria vaikutuskanavia eri toimialoilla Suomessa

Ilmaston lämpenemisen suorat kansantaloudelliset vaikutukset Suomessa liittyvät pääosin tuotanto- ja liikenneolojen muutoksiin. Talvet lämpenevät keskiä enemmän ja talvisateet runsastuvat. Rajuilmojen määrässä ja voimakkuudessa ei odoteta suuria muutoksia lähivuosikymmeninä, mutta asiaan liittyvä epävarmuus on suuri (Gregow ym., 2021). Vaikutukset vaihtelevat alueellisesti. Talouskasvua nopeuttavien ja hidastavien ilmiöiden yhteisvaikutus riippuu ilmastonmuutoksen kehityksestä siten, että hiilidioksidipitoisuuden ja keskilämpötilan vähäinen nousu kasvattavat arvonlisäystä joillakin toimialoilla, mutta vahingot kasvavat kiihtyvästi lämpötilan nousun ja sään ääri-ilmiöiden yleistymisen myötä, ja niiden suuruuteen liittyvä epävarmuus kasvaa.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia eri toimialoilla Suomessa ovat kuvanneet yleisesti esimerkiksi Carter ym. (2003), Gregow ym. (2021), Perrels ym. (2022) ja Tuomenvirta ym. (2018). KUITTI-hankkeen löydösten mukaan luonnonilmiöiden, kuten myrskyjen ja tulvien, aiheuttamien kokonaisvahinkojen arvo on ollut 0,1–0,2 % suuruusluokkaa suhteessa bkt:hen lähihistoriaan perustuvien havaintojen perusteella (Perrels ym., 2022). Nämä vahinkoarviot eivät siis vielä sisällä ennakoituja ilmastonmuutoksen aiheuttamia tulevaisuuden vahinkoja. Tutkimuksen perusteella näyttäisi kuitenkin siltä, että luonnon ääri-ilmiöt eivät tule aiheuttamaan Suomessa mittavia kustannuksia ilmastonmuutoksen edetessä.

Erikseen ulkomailta tulevia heijastusvaikutuksia on raportoitu julkaisussa Hildén ym. (2016) ja Carter ym. (2021). Selvityksessä ei tehty määrällisiä arvioita heijastusvaikutuksista, mutta potentiaalisesti merkittävimpiä kanavia ovat muun muassa ulkomaankauppa, liikenne- ja viestintäyhteydet, rahoitusmarkkinat, siirtolaisuus ja uudet eliölajit ja taudit. Myös KUITTI-hankkeessa tarkasteltiin kansainvälisen kaupan kautta välittyviä ilmastonmuutoksen heijastevaikutuksia. Suomen ja muiden Pohjoismaiden suhteellinen kilpailukyky voi jopa parantua, mikäli työn tuottavuuden kasvu hidastuu merkittävästi muualla maailmassa lämpötilojen nousun myötä. Näiden ja muiden vaikutusten, kuten maatalouden tuottavuuskehityksen, suhteen on kuitenkin paljon epävarmuutta.

Seuraavassa tiivistetyssä kuvauksessa on lähtökohtana, että lämpötilan nousu saadaan pysähtymään ennen mittavien pysyvien vahinkojen syntymistä.

**Maatalous** hyötyy Suomessa keskilämmön noususta, kasvukauden pitenemisestä ja hiili-dioksidin määrän lisääntymisestä ilmakehässä. Jos oikeat sopeutumiskeinot ovat käytössä, ilmastonmuutos voisi kasvattaa satoa ja mahdollistaa uusien lajikkeiden viljelyn. Lisäksi elintarvikkeiden kansainvälisten hintojen odotetaan nousevan, kun viljelyolosuhteet heikenevät monissa maissa. Toisaalta toimiala joutuu Suomessa sopeutumaan kuivuusjaksoihin<sup>5</sup>, sään ääri-ilmiöiden lisääntymiseen ja uusien kasvitautien ja tuholaisten tuloon (Hakala ym., 2011).

**Metsien** kasvu kiihtyy erityisesti pohjoisessa Suomessa pääosin samoista syistä kuin maatalouden viljelykasvien kasvu. Toisaalta routa-ajan lyheneminen altistaa puita tuulivahingoille ja vaikeuttaa puunkorjuuta. Sään ääri-ilmiöistä merkittäviä vahinkoja synnyttävät myrskyjen ohella suuret lumikuormat ja kuivien kausien aiheuttamat metsäpalot. Kasvitaudit ja tuholaiset lisääntyvät (Venäläinen ym., 2020).

Myös **liikenneolojen** kannalta ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat Suomessa kaksijaakoiset. Sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen aiheuttaa kuljetuskatkoksia ja lisää onnettomuuksia. Nollan ympärillä olevat lämpötilat yleistyvät, mikä lisää tieliikenteen korjaus- ja suolauskustannuksia, mutta vähentää auraustarvetta. Jään väheneminen hyödyttää merikuljetuksia (Carter ja Kankaanpää, 2003; Tuomenvirta ym., 2018). Tosin tuulisuuden myötä jäätilanteet voivat edelleen tuottaa haasteita talvimerenkululle (Gregow ym., 2021).

Keskilämpötilan nousu vähentää talv**irakentamisen** kustannuksia, mutta sään ääri-ilmiöiden yleistyminen johtaa katkoksiin globaaleissa tavarantoimituksissa ja heikentää työolosuhteita. Rakennusten korjaustarve kasvaa talvisateiden lisääntymisen ja lähellä nollaa olevien lämpötilojen yleistymisen vuoksi.

**Turismin** suhteen nettovaikutukset ovat todennäköisesti positiiviset, vaikka sään vaihtelut ja lumipeitteen väheneminen Etelä- ja Keski-Suomessa heikentävät talvimatkailua. Lapin suhteellinen asema sekä kansallisesti että kansainvälisesti paranee. Suomen houkuttelevuus kesämatkailun kannalta kohentuu suhteessa Välimeren maihin, missä kuivuudesta, kuumuudesta ja puhtaan veden puutteesta tulee paheneva ongelma (Hildén ym., 2016). Leväkukintojen yleistyminen rajoittaa täällä tosin vesistöjen virkistyskäyttöä.

---

<sup>5</sup> Esimerkiksi Veijalainen ym. (2019). Lisääntyvä kuivuus vähentää kuitenkin Suomessa vähiten bkt:ta Euroopan maista (Naumann ym., 2021).

**Lämmityksen** tarve vähenee, mutta **jäähdytykseen** käytettävä energiankulutus kasvaa. Nettovaikutuksena on energian keskimääräisen kulutuksen väheneminen, joka heikentää tuottajien, mutta parantaa kuluttajien asemaa. Sään ääri-ilmiöt tuottavat ongelmia sähkötuotannolle ja -jakelulle. Talviateiden lisääntyminen kasvattaa vesivoiman tuotantoa, mutta vesistö- ja rannikkotulvat yleistyvät. Keskilämpötilan nousu parantaa bioenergian tuotantomahdollisuuksia.

Maailmanlaajuinen jäätiköiden sulaminen ja merien lämpölaajeneminen nostavat merien pintaa. Suomen osalta vaikutukset ovat pitkään vähäiset, koska maan pinnan kohoaminen kompensoi niitä varsinkin Suomen länsirannikolla (Gregow ym., 2021). Lisäksi rantojen kalloisuus vähentää eroosiota. Hyvin pitkällä aikavälillä veden pinnan noususta saattaa tulla suuria ongelmia alaville rannikkoseuduille.

Ilmastonmuutoksen nettovaikutukset **terveyteen ja työkykyyn** ovat Suomessa rajalliset. Suomi on nyt keskilämpötilaltaan alhaisimpia maailmassa, mutta suomalaiset ovat sopeutuneet tähän tilanteeseen, jolloin erityisesti nopeat muutokset ovat ongelmallisia. Keskilämpötilan nousu parantaa ulkotyöolosuhteita ja vähentää kylmästä johtuvia terveysongelmia<sup>6</sup>. Kuumien jaksojen yleistyminen heikentää kuitenkin erityisesti vanhusten terveyttä. Lisäksi sään ääri-ilmiöt lisäävät onnettomuusriskiä. Uusia tauteja saattaa ilmaantua ja joidenkin aiempien (esimerkiksi punkkien levittämät taudit) esiintyvyys kasvaa. Suomen korkea elintaso ja verraten hyvä kansanterveyden ja terveydenhuollon tila mahdollistavat sopeutumisen näihin.

Ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset kansantalouteen tulevat vähitellen. Vaikutusten pitkän aikavälin kustannuksiin vaikuttaa olennaisesti se, miten muutoksen globaalissa hillinnässä ja paikallisessa varautumisessa ja sopeutumisessa onnistutaan. Suomen kansantalouden ja julkisen talouden kannalta hillintätoimet ja niihin liittyvät hintamuutokset ja teknologian kehittyminen ovat vielä kuluvan vuosikymmenen aikana huomattavasti näkyvämpiä kuin ilmastonmuutoksen vaikutukset.

### 2.1.3 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Tiedot jo käynnissä olevasta ja ongelmallisemmaksi muuttuvasta ilmastonmuutoksesta ovat saaneet aikaan reaktioita sen vaikutusten lieventämiseksi. Sopeutuminen ilmastonmuutokseen onkin yksi keskeisistä teemoista myös IPCC:n kuudennessa arviointiraportissa

<sup>6</sup> Tutkimuksen Zhao ym. (2021) mukaan kylmyydestä johtuva ylikuolleisuus on lähes viisinkertainen kuumuudesta johtuvaan nähden Pohjois-Euroopassa.

(IPCC, 2022). Sopeutuminen<sup>7</sup> voi olla autonomista, jolloin kyse on luonnon ja yhteiskunnan toiminnan muutoksista sitä mukaa kun ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmenevät, tai ennakoivaa sopeutumista. Autonomista sopeutumista voidaan edistää kannusteilla ja sääntelyllä.

Sopeutuminen sisältää sekä negatiivisia vaikutuksia ennaltaehkäiseviä toimia että positiivisia vaikutuksia hyödyntäviä toimia. Ne voivat olla investointiluonteisia, tai jatkuvia menoja ja tuloja aiheuttavia (Barrage, 2015). Sopeutumiskustannukset lisäävät julkisia menoja, mutta passiivisuus ilmastonmuutoksen vahinkojen suhteen heikentäisi enemmän yhteiskunnan hyvinvointia. Suomen osalta ennakoivan sopeutumisen hyötyjä on tarkasteltu KUITTI-hankkeessa (Perrels ym., 2022).

Gregow ym. (2021) korostaa ilmastonmuutoksen taloudellisten riskien arviointia ja hallintaa, sekä tehokkaimpien sopeutumistoimien valintaa riskien toteutumisen vaikutusten pienentämisessä. Toisaalta erityisesti ennakoivaa sopeutumista vaikeuttaa se, että tieto ilmatoriskeistä ja niiden vaikutuksista on puutteellista ja epävarmaa.

Noble ym. (2014) jakaa sopeutumistoimet rakenteellisiin/fyysisiin, yhteiskunnallisiin ja institutionaalisiin. Fyysisistä optioista esimerkkejä ovat tulvavallit, uudet viljelylajikkeet, metsittäminen ja rokotusohjelmat. Yhteiskunnallisista vaihtoehdoista esimerkkejä ovat tiedon jakaminen, riskikartoitukset ja evakointisuunnitelmat. Institutionaalisia optioita edustavat esimerkiksi yksityisen sektorin kannustaminen veroilla ja tuilla, vakuutukset, rakennusmääräykset ja julkisen sektorin tuottamat sopeutumissuunnitelmat.

Ostberghaus ja Reif (2010) perustelee sopeutumispolitiikkaa julkisen sektorin tehtävien ja omistaja- ja ylläpitäjäroolin kautta. Tehtäviksi artikkeli listaa markkinaepäonnistumisiin puuttumisen, oikeudenmukaisuuden ja perustarpeiden tyydytykseen tarvittavien hyödykkeiden saannin turvaamisen. Markkinaepäonnistumiset viittaavat tässä yhteydessä sopeutumisinvestointeihin liittyviin ulkoisvaikutuksiin, joiden vuoksi markkinaratkaisussa niitä tehtäisiin liian vähän. Oikeudenmukaisuustavoite johtaa tulojen tasaamiseen yksilöiden ja alueiden välillä. Perushyödykkeiden turvaaminen viittaa esimerkiksi elintarvikkeiden, puhtaan veden ja energian saatavuuden varmistamiseen. Omistajaroolissa julkinen sektori pitää huolta julkisista rakennuksista ja infrastruktuurista. Koordinoimattomat sopeutumistoimet voisivat lisäksi siirtää haitallisia vaikutuksia muille alueille tai toimijoille (Noble ym., 2014). On hyvä muistaa kuitenkin, että yksityisellä sektorilla on päävastuu sopeutumisesta (Konrad ja Thum, 2014).

7 Julkaisussa Valtioneuvoston selonteko kansallisesta ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelmasta vuoteen 2030 (Maa- ja metsätalousministeriö, 2022) kuvataan sopeutumisen olevan ilmastonmuutoksen vaikutusten ja seurausten ennaltaehkäisyä, niiden vähentämistä ja niihin varautumista.”

Sopeutumisen julkisen talouden vaikutusten arviointiin liittyy suurta epävarmuutta, koska suorat vaikutukset ovat sidoksissa vahinkojen suuruuteen ilman sopeutumista, sopeutumiseen käytetyn rahamäärän suuruuteen ja sopeutumisen vaikuttavuuteen. Esimerkiksi voisi ottaa julkisen investoinnin tulvavalleihin, joista saatava hyöty riippuu tulvavahingoista ilman valleja, vallien tehokkuudesta vahinkojen estämisessä ja yksityisen sektorin mahdollisista valli-investoinneista. Tulvavahinkojen suuruus on puolestaan sidoksissa ilmastonmuutoksen etenemiseen, ja vallien tehokkuus liittyy teknologian kehitykseen. Hyötyarviota pitäisi verrata rakentamiskustannuksiin, jotka nekin voivat olla erilaiset eri teknologioilla.

Näin laskettujen nettomenojen lisäksi tulevat sopeutumistoimien epäsuorat vaikutukset, jotka näkyvät pääosin veropohjien suuruuden kautta verotuloissa. Edellistä esimerkkiä noudattaen tulvavahingot vähentäisivät verotuloja ja niiden ehkäisy julkisia menoja kasvattamalla lisäksi tulo- ja kulutusverojen tuottoa vallien rakentamisaikana.

Samanlaiset tulvavallit voitaisiin saada aikaan myös yksityisen sektorin tuottamana, joko pakottavalla lainsäädännöllä tai kannusteilla. Silloin julkiset menot olisivat pienemmät, mutta myös välittömät positiiviset verotulovaikutukset olisivat vähäisemmät, koska yksityisten investointien rahoituskustannukset pienentäisivät veropohjia. Rahoitusrasite ja toiminnan ohjaamiseen liittyvä tehokkuustappio myös kohdentuisivat suppeammalle maksajajoukolle.

Kolmas julkisen talouden kokonaisvaikutuksiin liittyvä kysymys on sopeutumismenojen rahoittaminen erilaisilla veroilla tai maksuilla. Yksityisen sektorin taloudellisia päätöksiä vääristävien verojen käyttö aiheuttaa hyvinvointitappioita, jotka lisäävät sopeutumisen yhteiskunnallisia kustannuksia verrattuna vapaaehtoiseen yksityiseen rahoitukseen.

Sopeutumiskustannuksia on perusteltua punnita myös vahinkojen korvaamisen vaihtoehtona. Vahinkojen korvaaminen aiheuttaa moraalikatoa (esimerkiksi jäädään asumaan tulvaherkälle alueelle), joka johtaa liian vähäiseen yksityiseen varautumiseen. Tätä ongelmaa voidaan vähentää varautumistuilla, joilla voidaan rahoittaa vahinkojen suuruutta vähentäviä toimia (Fried, 2021).

Sopeutumispolitiikka voi sisältää elementtejä, jotka lisäävät vero- ja maksutuloja. Esimerkkinä tästä on korotettu maksu puhtaalle vedelle, joka nostaa hinnan lähemmäksi sen yhteiskunnallista arvoa. Toimenpide säästää vesivaroja juomakäyttöön.

Positiivisia vaikutuksia hyödyntäviä sopeutumistoimia edustavat Suomessa esimerkiksi vähäisempi varautuminen kylmyyteen rakentamisessa, uusien viljelylajikkeiden käyttö maataloudessa ja investoinnit turismiin.



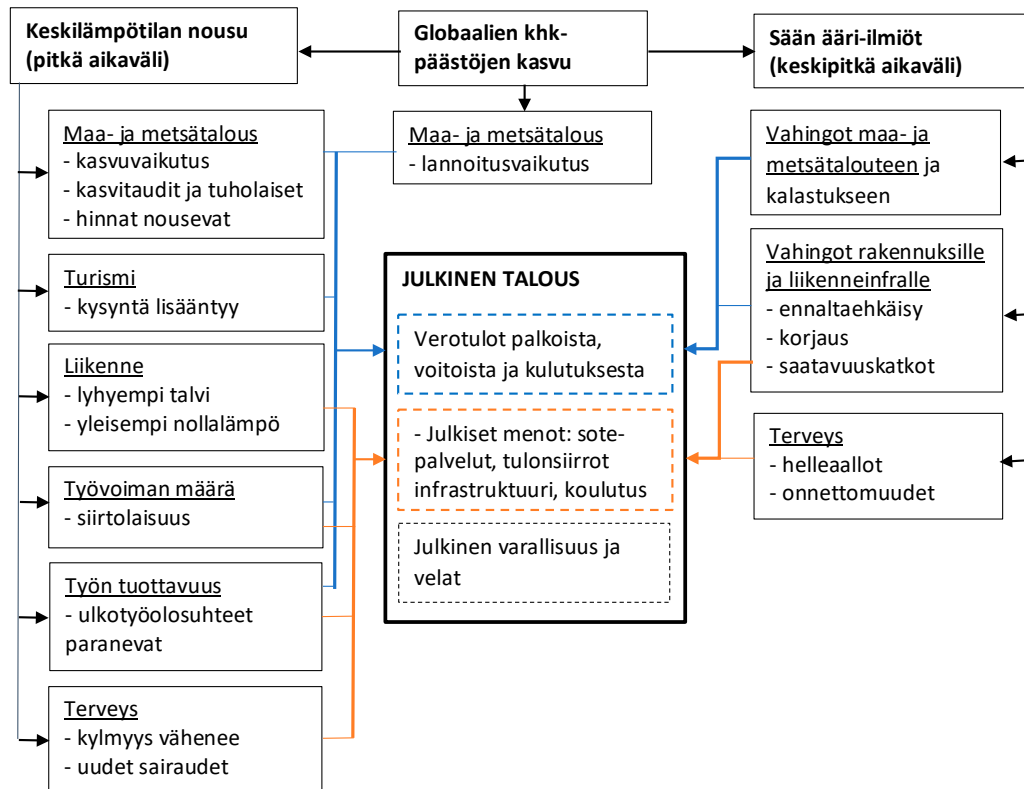
Ostberghaus ja Reif (2010) tekee ilmiö- ja toimialalähtöisen katsauksen yksityisen ja julkisen sektorin sopeutumiskustannusarvioihin Euroopassa. Tarkasteltavia toimialoja olivat maatalous, turismi, energiahuolto, vesihuolto, liikenne ja terveys. Lisäksi eroteltiin tulvat rannikoilla ja sisämaassa. Suomen osalta kustannusarviot perustuivat suurelta osin kirjallisuuskatsauksiin (esimerkiksi Perrels ym., 2005; Silander ym., 2006; Kirkinen ym., 2005).

Gregow ym. (2021) mukaan Suomessa ei ole tehty kattavaa analyysiä, jossa olisi eroteltu ilmastonmuutoksen vaikutukset ilman sopeutumista ja sen jälkeen, mikä mahdollistaisi yhteenlaskettujen sopeutumiskustannusten arvioimisen. Selvityksen mukaan kuitenkin tehokas sopeutuminen mahdollistaisi ilmastonmuutoksen kansantaloudellisten vaikutusten jäämisen kohtuullisen pieniksi. KUITTI-hankkeessa proaktiivisen eli ennakoivan sopeutumisen hyötyjä metsä- ja maataloudessa verrattiin reaktiiviseen sopeutumiseen (Perrels ym., 2022). Pitkällä aikavälillä ennakoivalla sopeutumisella voitaisiin vähentää ilmastonmuutoksen negatiivisia vaikutuksia 60–65 prosentilla riippuen ilmastoskenaariosta.

#### 2.1.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset julkiseen talouteen Suomessa

Ilmastonmuutoksen seuraukset ja niihin sopeutuminen vaikuttavat julkiseen talouteen tulojen, menojen ja varallisuuden arvon kautta (kuvio 1). Vaikutukset *julkisen talouden verotuloihin* syntyvät veropohjien, kuten palkkasumman, kulutuksen ja voittojen muutoksen kautta. Keskeiset palkkasummaan vaikuttavat tekijät ovat työikäisten määrä, työllisyysaste ja työn tuottavuus. Näistä kaksi ensimmäistä määrittävät työllisten määrän, joka reagoi todennäköisesti vasta suuriin muutoksiin globaaleissa lämpötiloissa siirtolaisuuden kautta. Työn tuottavuus ohjaa pitkällä aikavälillä palkkatasoa. Keskilämpötilan nousu ja hellejaksot vaikuttavat tuottavuuteen, mutta niiden nettovaikutus on Suomessa epäselvä pienillä lämpötilamuutoksilla matalan lähtötason ja sopeutumisinvestointien (kuten ilmalämpöpumput) vaikutuksen vuoksi.

Kuvio 1. Ilmastonmuutoksen vaikutukset kansantalouteen ja julkiseen talouteen Suomessa



Arvonlisäveron ja valmisteverojen kertymien taustalla oleva yksityinen kulutus reagoi lähinnä ilmastonmuutoksesta johtuvaan tulojen kasvun muutokseen, hintojen keskimääräiseen nousuun ja hintasuhteiden muutokseen. Yhteisöveron tuoton muutos on monimutkaisten ketjujen päässä. Yleistyvät ja voimistuvat sään ääri-ilmiöt heikentävät kannattavuutta tuotantokatkojen ja pääomalle tapahtuvien vahinkojen kautta. Pitkällä aikavälillä kyse on panoshintojen, teknologian ja kysynnän muutoksista, jotka vaikuttavat investointien määrään ja kohdentumiseen, tuottavuuteen, tuotevalikoimaan ja kannattavuuteen. Suomen suhteellinen asema investointiympäristönä paranee.

Ilmaston lämpenemisen keskeiset suorat vaikutukset *julkisiin menoihin* perustuvat pääosin ilmastonmuutoksen julkiselle infrastruktuurille ja energiantuotannolle aiheuttamien vahinkojen ennaltaehkäisyyn ja korjaamiseen ja hellejaksojen vaikutuksiin sosiaali- ja terveyspalvelujen kysyntään ja tuotantoon.

Yksi merkittävä julkisiin menoihin liittyvä kysymys on, miten vahinkojen kustannukset lopulta jakautuvat yksityisen ja julkisen sektorin kesken. Esimerkiksi liikenneyhteyksien katkeaminen aiheuttaa julkiselle sektorille korjauskustannuksia ja yksityiselle sektorille kustannuksia toimitusten viivästymisistä tai vaihtoehtoisen reitin käytöstä. Suomen valtiolla on lisäksi huomattava määrä erilaisia suoria tai epäsuoria vastuita, jotka voivat tulla maksettaviksi, jos yksityinen sektori ei kykene hoitamaan velvoitteitaan. Näitä ovat esimerkiksi takaukset ja ympäristön pilaantumisen vaaratilanteet (VM, 2020).

Valtio on lähtökohtaisesti vetäytynyt tulvavahinkojen (vuonna 2014) ja satovahinkojen (vuonna 2016) korvaamisesta ja suosittelee yksityisten vakuutusten käyttöä. Toisaalta esimerkiksi vuoden 2017 satovahinkoja korvattiin antamalla ylimääräinen energiaveron palautus maanviljelijöille. Julkisen sektorin implisiittinen vastuu yrityksille ja kotitalouksille aiheutuvien ilmastovahinkojen korvaamisesta saa enemmän painoa, jos yksityisten vakuutusten hinnat nousevat ja vakuutusyhtiöt rajoittavat usein realisoituvien ja alueellisesti voimakkaasti korreloituvien ilmastoriskien vakuuttamista.

Charpentier ym. (2020) pohtii tasapainoa moraalikadon ja solidaarisuuden välillä ilmastoriskien vakuuttamisessa. Moraalikato tarkoittaa tässä esimerkiksi sitä, että muuttaa alueelle, jossa tulvariski on suuri, käyttäen näin hyväksi sitä, että vakuutusmaksut ovat samanlaiset erilaisen riskin omaavilla alueilla. Toisaalta solidaarisuus viittaa tässä siihen, että yhtenäisen maksu jakaa vahinkoja laajemmalle maksajajoukolle.

On tärkeää huomata, ettei valtion vastuunotto muuta sitä tosiasiaa, että ilmastovahingot alentavat kansantalouden tuotantokykyä ja elintasoja. Julkisen sektorin interventiot vain jakavat kustannuksia uudelleen laajemmalle maksajajoukolle kuin yksityiset vakuutukset<sup>8</sup>. Suorien kompensatioiden lisäksi julkiset menot voivat kasvaa epäsuorasti esimerkiksi vahingon kärsijän joutuessa toimeentuloturvan asiakkaaksi.

Ilmastonmuutos vaikuttaa verotulojen ja julkisten menojen lisäksi *omaisuustuloihin, -menoihin ja varallisuuden arvoon*. Suomen julkisella taloudella on eläkerahastojen sekä valtion ja kuntien omaisuuden kautta huomattavan suuri varallisuus. Osakemarkkinoilla tapahtuvat ilmastonmuutoksesta johtuvat pitkän aikavälin hintamuutokset liittyvät pääosin tulevan talouskasvun nopeuteen ja energiamurrokseen. Myös sään ääri-ilmiöt, vakuuttamismahdollisuus ja vahinkojen korvaaminen julkisista varoista vaikuttavat markkinahintojen kautta varallisuusarvoihin.

<sup>8</sup> Euroopan unionilla on solidaarisuusrahasto, josta alkuperäisen suunnitelman mukaan maksetaan luonnonkatastrofien korvauksia, mutta nykyisin myös COVID-19-tukia. Luonnonkatastrofeiksi lasketaan monia ilmiöitä, joilla on yhteys ilmastonmuutokseen, kuten tulvat, myrskyt, metsäpalot ja kuivuus. Tuen ehtona on, että välittömät vahingot ovat suuret (vähintään 1–1,5 % NUTS2-alueen bkt:stä syrjäisyydestä riippuen). Jos tällaiset sään ääri-ilmiöt yleistyvät enemmän muissa maissa, Suomesta tulee järjestelmän pysyvä nettomaksaja.

## 2.2 Vihreä siirtymä ja sen vaikutus kansantalouteen ja julkiseen talouteen

Vihreällä siirtymällä tarkoitetaan tässä sellaista muutosta yhteiskunnassa, jolla päästään tavoitteiden mukaisiin nettopäästöihin. Suomen osalta tavoitevuosi nollanettopäästöihin on 2035. Muutos edellyttää politiikkatoimia, joilla energian tuotantoa ja kulutusta ohjataan vähähiiliseksi ja hiilinieluja riittävän suuriksi. Samaan aikaan kuluttajien preferenssien ja teknologisen muutoksen on tuettava tavoitteeseen pääsyä. Vaadittava siirtymä on veraten nopea ja suuri, mistä johtuen siihen voi liittyä häiriöitä energiamarkkinoilla ja suuria hintavaihteluita. Talouden monimutkaisten vuorovaikutusketjujen vuoksi jo pelkästään siirtymän kuvaaminen on haastavaa, ja sen määrällisten taloudellisten vaikutusten arviointi edellyttää suuren määrän oletuksia käytettävästä hillintä- ja sopeutumisasiirityksestä, teknologian kehityksestä, preferensseistä ja markkinoiden käyttäytymisestä.

Vihreän siirtymän edellyttämät julkiset investoinnit ja hintaohjaus verotuksen kautta vaikuttavat energiapanosten hintoihin tuotannossa ja energian kuluttajahintoihin. Tuotannossa vaikutukset siirtyvät lyhyellä aikavälillä pääosin myyntihintoihin ja yritysten voittoon. Pitkällä aikavälillä saastuttavan energian hinnan nousu vaikuttaa investointien kautta yritysten panoskäyttöön, tuotantoteknologiaan ja tuotevalikoimaan. Se saattaa vaikuttaa myös palkanmaksuvaraan ja sitä kautta yksityiseen kulutukseen. Palkkasumman, kulutuksen ja verotettavien voittojen pieneneminen vähentää verotuloja. Vastaava kuluttajille kohdentuva energian hinnan nousu alentaa kuluttajien varallisuuden ja käytettävissä olevien tulojen ostovoimaa ja vaikuttaa palkkaneuvotteluihin. Lisäksi se vähentää energian osuutta kulutuskorissa ja lisää energiatehokkuutta parantavia investointeja.

Myös sääntely toimii osittain hintamekanismin kautta (esimerkkinä sekoitevelvoitteet polttoaineissa). Sääntely voi liittyä myös suoraan fossiilisten polttoaineiden käytön kieltoon, kuten kivihien tapauksessa. Kielto pakottaa muuttamaan tuotantoteknologiaa, jolloin vanha pääoma menettää arvonsa. Lisäksi uuden tuotannon vaatimat investoinnit vähentävät voitonmaksuvara.

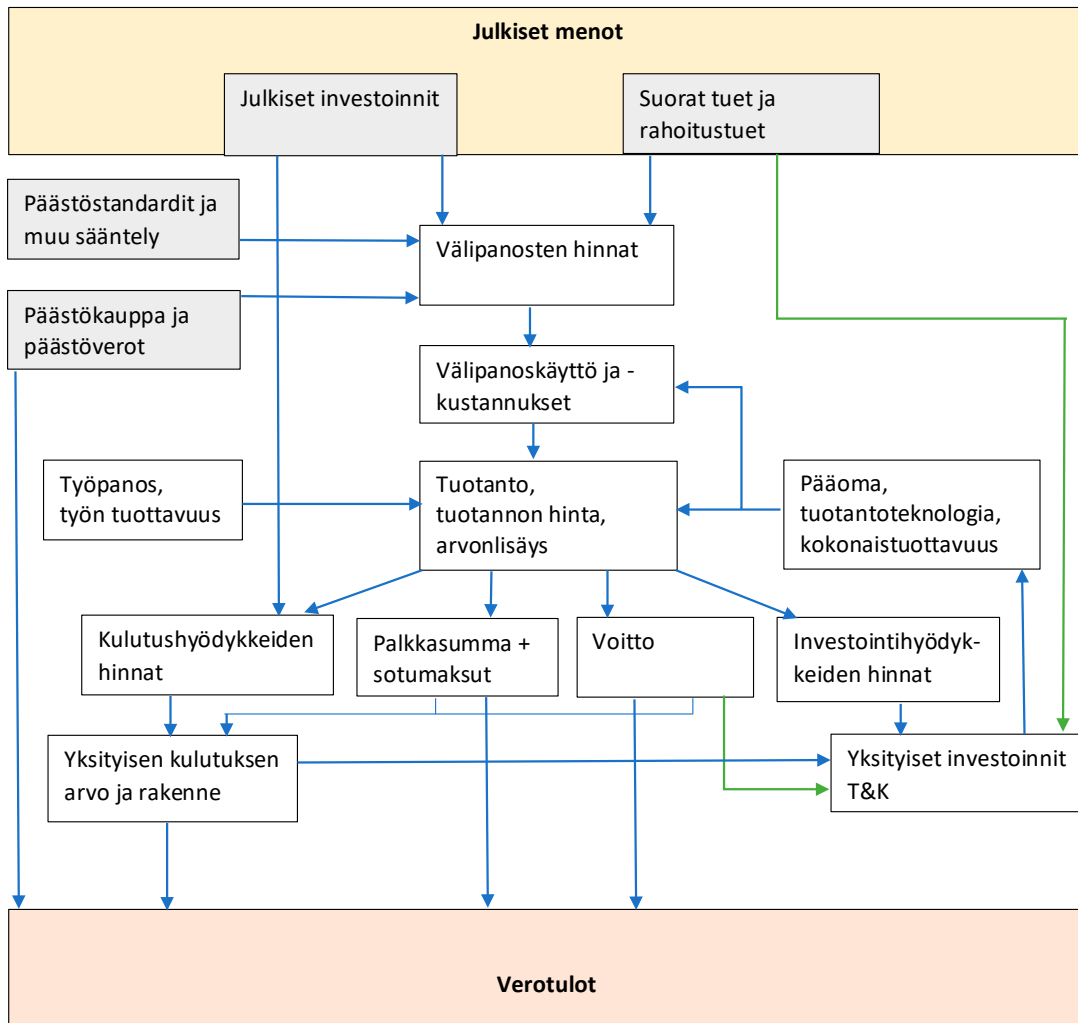
Suorat tuet ja vihreille investoinneille myönnetty rahoitustakuut laskevat investointien tuottovaatimusta ja ohjaavat sitä kautta tuotantoa. Julkisen talouden tuloihin, menoihin ja sääntelyyn liittyvän hillintäpolitiikan lisäksi vihreää siirtymää voidaan edistää esimerkiksi kehittämällä rahoitusmarkkinoiden toimintaa ja käyttämällä keskuspankkien taseita. Näitä keinoja ei käsitellä tässä tarkemmin, mutta niitä on kuvattu katsauksessa Krogstrup ja Oman (2019).

Rahoitusmarkkinoilla tapahtuu myös muutoksia, joita ei voi suoraan yhdistää politiikkaan. Sijoittajat vähentävät öljyn, kaasun ja kivihien etsimiseen, talteenottoon ja jalostamiseen liittyvää rahoitusta ja kasvattavat uusiutuvaan energiaan ja ympäristönsuojeluun liittyvien

innovaatioiden rahoitusta. Sijoittajien preferenssien lisäksi kyse on päästöihin liittyvän toiminnan muuttumisesta riskillisemmäksi, mikä näkyy jo nyt sijoitusten tuottovaatimuksissa, jotka ovat korkeammat riskitoimialoilla (Kleimeier ja Viehs, 2021). Tuotemarkkinoiden hintasuhdemuutokset, sääntely ja sijoittajien käyttäytyminen heikentävät fossiilisten polttoaineiden varantojen ja niitä hyödyntävien yritysten markkina-arvoa.

Suurimmilla suomalaisilla eläkerahastoilla on tavoitteena hiilineutraali sijoitussalkku vuoteen 2035 mennessä. Valtion suorat osakeomistukset painottuvat vihreän siirtymän kannalta keskeisille toimialoille (VTV, 2019). Valtiolla ei sen sijaan ole merkittäviä fossiilisten polttoaineiden varantoja tai niistä riippuvia tuloja, kuten esimerkiksi Norjalla. Valtio omistaa neljänneksen Suomen metsistä, mutta niiden hallinnan tavoitteena ei ole pelkästään tuoton eikä myyntiarvon maksimointi.

Kuviossa 2 on hahmoteltu erilaisten julkiseen talouteen liittyvien hillintätoimien vaikutuskanavia suljetussa taloudessa. Avotaloudessa siirtolaisuus vaikuttaa työpanokseen. Lisäksi osa välipanoksista, kulutushyödykkeistä ja investointitavaroista (ja niihin sitoutunut teknologia) tuodaan ulkomailta ja osa tuotannosta viedään muihin maihin. Kuviossa 2 puuttuvat myös eri sektoreiden säästämisen ja investointien erotukset, jotka summautuvat vaihtotaseen yli/alijäämään.

**Kuvio 2.** Julkiseen talouteen liittyvien hillintätoimien vaikutuskanavia suljetussa taloudessa

Vihreän siirtymän vaikutus tuottavuuden kehitykseen ja sitä kautta talouskasvuun on sidoksissa innovaatioiden luonteeseen ja siihen, syrjäyttävätkö vihreät investoinnit muuta investointitoimintaa. Poliittikatoimet ja odotukset hiilipäästöjen hinnan nousun jatkumisesta ovat jo tuottaneet innovaatioita, joilla tuuli- ja aurinkoenergian kustannukset ovat laskeneet kymmenessä vuodessa 29–82 prosenttia (Stern, 2021). Parhaillaan kehitetään myös uusia polttoaineita, energian varastointia ja hiilidioksidia sitovia ratkaisuja, joiden markkina-arvo voi olla erittäin suuri.

Toisaalta nykyinen fossiilisia polttoaineita hyödyntävä pääomakanta energiantuotannossa ja liikenteessä ei ole kovin nopeasti täysin korvattavissa ilman merkittäviä pääomatappioita ja hintojen nousua. Tämä luo kannusteen hidastaa siirtymää, jonka aikana luonnollinen poistuma ehtisi vähentämään pääomatappioita ja puhtaan energian tarjonta reagoida kysyntämuutoksiin.

Vihreän siirtymän julkistaloudellisten vaikutusten arvioimista vaikeuttaa se, että siirtymää ohjataan ja sen tulonjakovaikutuksia kompensoidaan julkisen talouden tuloihin ja menoihin vaikuttavalla politiikalla. Siirtymän vaikutukset ovat siten ehdolliset paitsi preferenssien ja teknologian muutoksille, niin myös valituille politiikkavälineille ja niiden käytön aikauralle. Käytettävien mallien olisi kyettävä myös jäljittelemään tuotantoresurssien siirtymään ja markkinoiden toimintaan liittyvien kitkojen vaikutusta.

## 2.2.1 Hintaohjauksen ja sääntelyn vertailua

Ympäristöverotuksen tehtävänä on korjata hintajärjestelmää ottamaan huomioon tuotannon ja kulutuksen ulkoisvaikutukset ympäristöön. Hintajärjestelmän kautta tapahtuvaa talouden ohjausta pidetään lähtökohtaisesti parempana kuin sääntelyä, koska se ohjaa resurssien allokaatiota markkinaehtoisesti. Verotuksen vaihtoehtona oleva sääntely ei tuota verotuloja, mutta se aiheuttaa yksityiselle sektorille tulojen menetyksiä ja menojen kasvua ja mahdollisesti myös tehokkuustappiota. Tehokkuustappioita syntyy, mikäli päästövähennysten kokonaiskustannukset ovat yhdenmukaisen sääntelyn seurauksena korkeammat kuin tilanteessa, jossa päätökset päästövähennyksistä tehtäisiin enemmän yrityksissä, joissa se on edullisempaa. Päästöjen yhtenäinen hinnoittelu ohjaa päästöjen vähentämisen tehokkaaseen allokaatioon (esim. Sterner ja Coria, 2013).

Hintaohjaus ei kuitenkaan välttämättä tuota halutun suuruista vähennystä päästöihin halutulla aikataululla. Lisäksi muut ulkoisvaikutukset, kuten tutkimuksen ja tuotekehityksen yhteiskunnalliset hyödyt ja epätäydellisten rahoitusmarkkinoiden aiheuttamat ongelmat, perustelevat laajemman politiikka-arsenaalin käyttöä (Stern, 2021). Hintaohjaus saattaa olla lisäksi hankalaa sellaisilla toimialoilla, kuten maataloudessa, missä tuotanto ei muutenkaan toimi markkinaehtoisesti.

Niin sanotun Porter-hypoteesin mukaan hyvin suunniteltu sääntely saa aikaan innovaatioita, joiden tuotto saattaa ylittää sääntelystä aiheutuvat kustannukset. Weiss ym. (2019) estimoivat ennalta ilmoitetun sääntelyn muutosten vaikutuksia Ruotsin metsä- ja kemiallisessa teollisuudessa. Tulosten mukaan sääntelyllä on positiivisia vaikutuksia innovaatio-toimintaan, mutta täyttä kompensatiota kustannuksiin ei löydetty. Tiukat päästönormit voisivat johtaa myös tuotannon siirtymiseen vähemmän rajoittavaan maahan (saasteparaatiisi, hiilivuoto).

Acemoglu ym. (2016) rakensivat endogeenisen kasvun mallin, jossa yritykset voivat valita liikaisten ja puhtaisten välipanosten välillä ja ryhtyä tutkimaan, miten teknologioita voidaan parantaa. Yhdysvaltojen yritysaineistoon sovitettu malli tuotti tulokseksi, että turvautuminen vain hintaohjaukseen tuottaa huonommat tulokset kuin verojen ja vihreän teknologian tuen yhdistelmä.

Tuoreen asiantuntijakyselyn mukaan vihreään siirtymään liittyvä sääntely on tärkein epävarmuustekijä ympäristöinvestoinneille seuraavan viiden vuoden kuluessa, mutta 30 vuoden aikavälillä itse ilmastomuutos nousee tärkeimmäksi (Stroebel ja Wurgler, 2021).

## 2.2.2 Ympäristöverotuksen kohtaanto

Ympäristöverotuksesta aiheutuvaa muutosta tuotantopanosten käytössä tai kulutuskorissa kutsutaan substituutiovaikutukseksi. Sen lisäksi verotuksen kiristäminen aiheuttaa tulovaikutuksen, joka vähentää veron lopullisen maksajan käytettävissä olevia tuloja. Veron lopullinen maksaja määräytyy vasta sitten, kun eri markkinat ovat sopeuttaneet hinnat ja määrät veromuutoksiin.

Esimerkiksi tuotannon välipanoksiin kohdentuvalle hyödykeverolle voi olla monta maksajaa. Välipanosten tuottaja voi tinkiä voitoistaan, samoin kuin välipanoksia hankkiva yritys. Myös yrityksen muissa kustannuksissa, kuten palkoissa, voidaan säästää. Tuottaja voi lisäksi pyrkiä siirtämään kustannukset lopputuotteen hintaan, jolloin maksaja on kulutustavaroiden tapauksessa kuluttaja ja investointitavaroiden tapauksessa veron vaikutusketju jatkuu ostavassa yrityksessä. Kuluttaja voi puolestaan muuttaa kulutuskoriaan sisältämään vähemmän verotettuja hyödykkeitä. Välipanosten käyttäjä voi myös pyrkiä muuttamaan tuotantoteknologiaansa tehokkaammaksi välipanoksen käytössä, tai siirtyä tuottamaan tuotteita, joissa kalliimmaksi muuttunutta välipanosta käytetään vähemmän.

Ympäristöverotuksen tavoitteita ajatellen kulutuskorin ja yrityksen tuotevalikoiman muutos ja tuotantoteknologian tehostuminen ovat tarkoituksenmukaisia lopputuloksia. Oheisvaikutuksina voivat olla kuitenkin myös yritysten kilpailukyvyn ja tuloksen heikkeneminen, haitalliset työllisyysvaikutukset ja kuluttajien ostovoiman väheneminen. Myös positiivinen kierre on mahdollinen, jos innovaatiot ja uuden teknologian käyttö lisäävät yrityksen kilpailukykyä riittävästi.

Markkinaolosuhteet määrittelevät pitkälti sen, millaisiksi verotuksen vaikutukset muodostuvat. Lähtökohtaisesti veron nousu kohdentuu sellaiselle osapuolelle, joka muuttaa vähiten käyttäytymistään hintojen muuttuessa. Tuottajan hinnoitteluvoima on silloin korkeammillaan, kun lopputuotteen markkinoilla kilpailu on vähäistä ja tuotetta on vaikea korvata.



Esimerkiksi viennissä mahdollisuus siirtää välipanosverosta aiheutuva kustannus hintoihin on kuitenkin tyypillisesti pienempi kuin kotimarkkinoilla. Toisaalta kotimaassakin kilpailu voi olla kireää suuren kotimaisten tuottajien määrän ja tuonnin vuoksi. Jos panosvero päättyy kuluttajahintoihin, se vaikuttaa samalla tavoin kuin suoraan kulutukseen kohdennettu vero. Kulutuskori muuttuu substituutiovaikutuksen vuoksi, ja palkkojen ja varallisuuden ostovoima alenee tulovaikutuksen vuoksi. Palkansaajat haluavat kompensatiota inflaatiosta palkkaneuvotteluissa.

Jos kilpailu hyödykemarkkinoilla ja sijoittajien globaali tuottovaatimus eivät mahdollista kuluttajahintojen nousua ja voittojen vähenemistä, yrityksen palkanmaksumahdollisuudet heikkenevät. Työmarkkinoiden toiminta ratkaisee sen jälkeen veron kohdentumisen työvoimalle joko matalampien palkkojen tai heikentyneen työllisyyden kautta.

Kohtaannon päätyminen pääomalle tarkoittaisi sitä, että yrityksen jakama voitto pienenee ja sen seurauksena yrityksen markkina-arvo alenee. Omistajat kärsivät pääomatappion. Voittojen väheneminen vaikeuttaa myös investointien rahoittamista pidätetyillä voitoilla.

Edellä kuvatun perusteella verotuksen vaikutusten jäljittäminen vaatii taloudellista mallia, jossa ovat mukana laajasti tuottajien ja kuluttajien reaktiot ja niiden yhteisvaikutuksena syntyvät muutokset hyödykemarkkinoiden hinnoissa, palkoissa ja pääoman tuotossa. Yksityiskohtaisimmat verotuksen vaikutuksia tutkivat mallit ovatkin siksi numeerisia yleisen tasapainon malleja. Niitä on käytetty sellaisenaan, tai osana integroitua politiikan ympäristö- ja talousvaikutusten arviointimalleja. Laajojen tasapainomallien ongelmina ovat tyypillisesti eteenpäin katsovan dynamiikan ja markkinaepätasapainojen kuvauksen puuttuminen kokonaan tai niiden perustuminen mallin ulkopuolisiin tekijöihin. Myös uusien teknologioiden syntyä ja luovaa tuhoa ollaan vasta tuomassa näihin malleihin (esim. Acemoglu ym., 2016; Finkelstein Shapiro ja Metcalf, 2021).

Fullerton ja Heutel (2007) tutkivat tuotantoon kohdennettujen ympäristöverojen kohtaantoa pääoman ja työn välillä teoreettisella yleisen tasapainon mallilla. Tulosten mukaan päästöjen, työn ja pääoman väliset joustot ja verojen asettaminen pääoma- tai työintensiiviseen tuotantoon määrittävät kohtaannon. Tässä suljetun talouden kehikossa ei oteta huomioon sitä, että avotaloudessa, jossa pääoman tuottovaatimus tulee ulkomailta ja vaikutusmahdollisuudet kansainvälisen kaupan hintoihin ovat vähäiset, kohtaanto painottuu enemmän työlle. Toisaalta, jos samanlainen verotus otetaan käyttöön globaalisti, suljetun talouden tuloksille tulee enemmän käyttöä.

### 2.2.3 Verorakenteen muutoksen vaikutuksista

Ympäristöverotusta on perusteltua tarkastella osana käytössä olevaa verojärjestelmää, jossa on ennestään toimintaa vääristäviä veroja. Jo vanha kaksoishyötykirjallisuus (double dividend) käsittelee mahdollisuutta alentaa muita veroja ympäristöverotuloilla ja saada sitä kautta yhtä aikaa talouskasvua ja vähemmän päästöjä (Goulder, 2013). Toisaalta vääristävien verojen olemassaolo saattaa muuttaa tulosta, jonka mukaan optimaalinen ympäristövero on aiheutetun vahingon suuruinen (Barrage, 2020). Kaksoishyöty on väliaikainen, jos ympäristöveron ohjausvaikutus on suuri, ja se pienentää tehokkaasti omaa veropohjaansa.

Kaksoishyödyn saaminen ei ole itsestään selvää, koska ympäristöveron haitalliset vaikutukset voivat olla suuret. Esimerkkinä on tilanne, jossa tuotantopanosten verottaminen nostaa kuluttajahintoja ja alentaa sitä kautta palkkojen ostovoimaa ja työllisyyttä (*interdependency effect*). Tämän haitallisten kannustevaikutusten mekanismin relevanssi kasvaa, jos ympäristöverotuksen tulovaikutukset kompensoidaan ei-työllisille (työn verotuksen keventämiseen jää vähemmän verotuloja) ja jos verotettujen panosten korvaaminen muilla on kallista.

Toinen keskeinen kaksoishyötyyn vaikuttava tekijä on lähtötilanteen veroasteiden korkeus ja se, miten verorakennetta muutetaan. Verosiirtymän positiiviset vaikutukset ovat sitä suuremmat, mitä korkeammalta lähtötasolta tehokkuutta vähentävää veroastetta laskeetaan, mikä lisää siirtymän etuja korkeiden veroasteiden hyvinvointivaltioissa. Toisaalta eniten vääristävien verojen keventäminen tuo suurimman hyödyn.

Kolmas asia, joka vaikuttaa kaksoishyödyn suuruuteen, on käytettävissä olevien verotulojen määrä. Päästöjen veropohja on lähtökohtaisesti huomattavasti kapeampi kuin työn, tai voittojen verottamisen, jolloin kannustevaikutuksiltaan merkittävät päästöveroilla rahoitetut veronalennukset vaatisivat korkeita päästöveroasteita.

Katsaus yleisen tasapainon numeerisilla malleilla tehtyihin analyyseihin osoittaa, että kaksoishyödyn todennäköisyys on suurin, jos ympäristöverotuloilla alennetaan työn tai pääoman verotusta, ja pienin könttäsommaverotuksen kevennyksellä/tulonsiirrolla (Freire-González, 2018). Tämä on loogista, koska könttäsommaverotuksella on vain tulovaikutus, eikä ongelmallista vaikutusta työn tai pääoman käyttöön. EU-maille tehty numeerinen analyysi osoittaa, että julkisten menojen rahoituksen rajakustannus (marginal cost of public funds, MCF) on matalampi ympäristöveroilla kuin työn veroilla (Barrios ym., 2013).

Barrage (2020) osoittaa, että optimaalinen päästöjen hinnoittelu lisää hyvinvointia merkittävästi, mutta hyvinvoinnin kasvu on huomattavasti suurempi, jos tulot käytetään muun verotuksen keventämiseen. Maksimaalinen hyöty verosiirtymästä saavutetaan silloin, kun sopeutuminen ilmastonmuutokseen on rahoitettu ennen siirtymää

pääomatuloverotuksella, jolloin verotuksen vääristävä vaikutus on suurin ja MCF on korkeimmillaan. Tutkimus kertoo myös, että optimaalinen päästöjen vero on matalampi silloin, kun verotus on muuten vääristävää.

## 2.2.4 Rakennemuutoksen julkinen tuki

Vihreään siirtymään liittyvien innovaatioiden tuottamista on perusteltua tukea ympäristöhyödyn lisäksi niiden mahdollisten ulkoisvaikutusten vuoksi. Siksi tässäkin tapauksessa voidaan puhua politiikan kaksoishyödyistä. Yksittäisten yritysten innovaatiopanostukset voivat olla liian pienet yhteiskunnan hyvinvoinnin näkökulmasta, koska parhaissa hankkeissa uusi tieto leviää nopeasti ja laajalti muidenkin kuin kehittäjäyritysten käyttöön.

Toinen perustelu julkiselle tuelle ovat mahdolliset ongelmat vihreiden investointien rahoituksen saatavuudessa ja hinnassa. Vihreiden tuotteiden markkinoilla epävarmuuksia on erityisen paljon, sillä ne liittyvät paitsi yritysten kykyyn innovoida myös markkinoihin itseensä (Tagliapietra ja Veugelers, 2020). Markkinoiden tarjoamat tuotot innovaatioille ovat herkkiä sääntelyn muutoksille.

Transition rahoitusta koskevassa kirjallisuudessa korostetaan yritysten investointien rahoitusrajoitteita (esim. Jensen ym., 2019 ja He ym., 2021). Niiden vallitessa vihreät investoinnit saattavat syrjäyttää muita investointeja. Jos syrjäyttäminen kohdistuu t&k-toimintaan, se voi hidastaa teknologista kehitystä ja heikentää kilpailukykyä. Toisaalta, jos vihreä t&k täydentää muuta tutkimusta ja tuotekehitystä, sen tukeminen mahdollistaa matalamman optimaalisen hiilen hinnan.

Julkiset investoinnit ja niihin liittyvät rahoitusinstrumentit ovat osa valtion ja kuntien työkalupakkia vihreässä siirtymässä. Valtion subventoimat yksityisten yritysten ja kotitalouksien investoinnit, jotka kohdistuvat esimerkiksi uusiutuvan energian käyttöönottoon, julkiseen liikenteeseen sekä turpeen ja kivihiihen käytöstä luopumiseen, ovat keskeisiä siirtymän ajureita.

Yritysten menestyminen siirtymässä vaikuttaa lopullisiin julkisiin nettokustannuksiin. On jokseenkin kiistatonta näyttöä siitä, että ympäristösääntely ja kehitystuet lisäävät vihreiden teknologioiden innovatiivisuutta panostuksina ja tutkimustuotoksina mitattuna (ks. mm. Cabel ja Dechezlepretre, 2016; Koski ym., 2019). Sen sijaan vaikutukset kilpailukykyyn ja erityisesti vientiin eivät ole aikaisemman kirjallisuuden perusteella yhtä suoraviivaisia. Yritysten menestyminen riippuu paitsi innovatiivisuudesta, myös mm. kustannustekijöistä, tuotannon skaalavaikutuksista ja tuotannon rakenteesta (Levinson, 2010).

Jos ulkoisvaikutukset ovat suuret, ja muutkin kotimaiset yritykset parantavat kilpailukykyään ja lisäävät tuotantoaan, niin tuesta voidaan saada suuri osa takaisin verotulojen kautta. Toisaalta jos tuen tuottamat innovaatiot leviävät laajalti muidenkin maiden yritysten käyttöön, niin verotulovaikutukset jäävät vähäisemmiksi, mutta vaikutukset ympäristöön saattavat olla suuremmat. Siksi sekä ympäristövaikutukset että muut ulkoisvaikutukset puoltavat tukien jakamista EU-tasolla.

## 2.2.5 Vihreän siirtymän tulonjakovaikutukset

Osa tutkimuskirjallisuudesta tutkii mahdollisuutta kompensoida ympäristöverotuksen tulonjakovaikutuksia käyttämällä verotuloja uudelleenjakoon. Esimerkiksi tutkimuksessa Fullerton ja Monti (2013) alennetaan pienituloisten tuloverotusta ympäristöverotuksen tuotoilla. Lopputuloksena on, että merkittävä verotuksen kevennys on mahdollista vain pienituloisimmille Yhdysvalloissa.

Alimov ym. (2020) tutki ilmastopolitiikan tulonjakovaikutuksia Suomessa erilaisissa veroskenaarioissa ja erilaisilla verotulojen käytöillä. Tulosten mukaan työn verotuksen keventäminen ympäristöverotuloilla tuottaa positiivisia kasvuvaikutuksia, mutta tulonjakovaikutukset eivät ulotu kaikkein pienituloisimpiin, joilla ei ole työtuloja. Toisaalta tulonsiirtojen indeksointi suojaa heitä hintojen nousulta. Yhteisöveron alentaminen hyödyttää eniten pääomatuloja saavia. Tutkimuksen yllättävin tulos on, että ympäristöverotulojen tasapalautus tuottaa samanlaisen bkt-menetyksen ja työllisyysvaikutukset kuin niiden käyttö yhteisöveron alennukseen. Käytetyssä FINAGE-mallissa yhteisöveron alennuksen dynaamiset vaikutukset näyttävät jäävän vähäisiksi syystä, jota ei tarkemmin selitetä.

Myös yksittäisten hiiliverojen tulonjakovaikutuksia on tutkittu. Esimerkiksi poliittisesti herkkien liikennepolttoaineiden verotuksen suhteen vaikutukset ovat sidoksissa siihen, miten kohdejoukko tulkitaan. Jacobs ym. (2021) tutki mikrosimulaatiomallilla hypoteettisia verouudistuksia Saksassa ja havaitsi, että uusi hiilivero on regressiivinen, jos tarkastellaan autonomistajia, mutta neutraali tulonjaon suhteen, jos tarkastellaan koko väestöä, koska köyhimmillä ei ole autoja. Suomalaiseen aineistoon pohjautuvan VATT:in tutkimuksen perusteella polttoainekulujen osuus suhteessa käytettävissä oleviin tuloihin ei näyttäisi olevan alemmissa tuloluokissa suurempi verrattuna ylempiin tuloluokkiin, vaan kulujen keskimääräinen osuus kasvaa tulojen mukana suurimmassa osassa tulojakaumaa (Palanne ja Sahari, 2021). Sen sijaan erot alueiden välillä ovat suurempia: harvaan asutuilla ja kaupungin läheisellä maaseudulla polttoainekulujen osuus käytetyistä tuloista on noin 2,5 kertaa suurempi verrattuna sisempään kaupunkialueeseen.

## 2.2.6 Työmarkkinat

Ilmastopolitiikan työmarkkinavaikutukset näkyvät erityisesti työvoiman uudelleenallokaatioissa eri sektoreiden (tai ammattien) välillä ja vähemmän työvoiman kokonaisyksynnässä<sup>9</sup>. Vihreään siirtymään liittyvä uudelleenallokaatio ei ole kitkaton prosessi, sillä työntekijät ovat osaamiseltaan heterogeenisiä ja uuden työn löytäminen vie aikaa. Työpaikkansa menettävät henkilöt eivät siis heti löydä uutta työpaikkaa ja voivat joutua tyytymään aiempaa alhaisempiin ansioihin, jos heidän osaamiselleen ei ole markkinoilla enää samanlaista kysyntää kuin ennen. On kuitenkin tutkimustuloksiin perustuvia viitteitä siitä, että eroavaisuudet vaadituissa osaamisissa samantyyppisissä vihreissä ja ei-vihreissä työtehtävissä ovat verrattain pieniä (Bowen ym., 2018; Vona ym., 2018). Tämä osaltaan helpottaa työntekijöiden siirtymistä uusiin vihreisiin työpaikkoihin. Kohdennetun täydentävän koulutuksen avulla kyetään puolestaan tukemaan niitä saastuttavien alojen työntekijöitä, joille vihreä siirtymä aiheuttaa ongelmia löytää korvaava työpaikka.

Metcalf ja Stock (2020) tutkivat tilastollisesti hiilidioksidin verotuksen vaikutusta bruttokansantuotteeseen ja työllisyyteen Euroopan päästökauppamekanismissa osallistuvissa maissa. Tulosten mukaan vaikutukset ovat pieniä ja estimoituvat epätarkasti. Ainoan merkitsevän tuloksen mukaan näyttäisi siltä, että vaikutukset työllisyyteen ovat vähäiset, mutta positiiviset maissa, joissa on merkittävän korkea hiilidioksidivero.

Ilmastopolitiikan aiheuttamaan uudelleenallokaatioon liittyvät kustannukset riippuvat olennaisesti siitä, pienentyykö työvoiman määrä säännellyllä sektorilla rekrytointien vähenemisen vai irtisanomisten kautta. Työpaikkavirrat ovat niin suuria, että merkittävätkin nettotyöllisyysmuutokset ovat saavutettavissa normaalin työmarkkinadynamiikan avulla.

Alueellista liikkuvuutta voidaan parantaa liikkuvuusavustuksella. Suomessa onkin jo käytössä liikkuvuusavustus, jonka tarkoitus on auttaa työttömiä muuttamaan työn perässä tai helpottaa pitkistä työmatkoista aiheutuvia kustannuksia. Ammatillista liikkuvuutta voidaan edistää aktiivisen työvoimapolitiikan keinoin. Tässä keskeisiä instrumentteja ovat työvoimapolitiittinen koulutus ja työnhaun tuki.

## 2.2.7 Suhdannepoliittinen näkökulma

Jos julkinen talous rahoittaa ilmaston lämpenemiseen liittyvät menonsa – olivat ne vahinkojen korjaamista, vihreän siirtymän edistämistä tai tulonjaon palauttamista ennalleen – velalla, se vaikuttaa talouskasvuun lyhyellä aikavälillä kuten muukin velkarahoitteinen

<sup>9</sup> Hillintäpolitiikan vaikutuksia eri toimialojen tuotantoon ja työllisyyteen Suomessa ovat tutkineet muun muassa Honkatukia (2021) ja Kuusi ym. (2021).

elvytys. Toki elvytyksen kohtaanto ja vaikutusmekanismit voivat olla erilaiset rahojen käytöstä riippuen. Toisaalta, jos ilmastomenojen rahoitus hankitaan muita menoja leikkaamalla tai verotusta kiristämällä, elvytysvaikutus jää syntymättä.

Julkisten menojen kasvun lyhyen aikavälin vaikutus talouskasvuun riippuu myös osittain siitä, mihin suhdannevaiheeseen ne osuvat ja kuinka nopeassa aikataulussa menoja kasvatetaan (syrjäytys/työllisyysvaikutus). Fossiilisten polttoaineiden saatavuuden heikkeneminen ja hillintätavoitteiden kiristyminen ovat nopeuttamassa vihreää siirtymää, jolloin siihen liittyvät julkiset menot kohdentuvat lyhyemmälle aikavälille.

Korolla ja ilmastopolitiikalla on kahdensuuntainen vaikutus. Tuleviin päästöihin liittyvä epävarmuus lisää kotitalouksien varovaisuussäästämistä, mikä laskee luonnollista korkotasoa. Ilmastopolitiikalla voidaan vähentää tätä epävarmuutta. On myös mahdollista, että vihreän siirtymän edellyttämien investointien rahoitustarve kompensoi ainakin osittain säästämiskanavan kautta tulevaa koronlaskupainetta (Mongelli ym., 2022). Toisaalta rahapolitiikka vaikuttaa korkotason kautta vihreiden investointien ajoitukseen.

Hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta suhdannevaihteluilla on vain vähän merkitystä, koska niiden pitkän aikavälin keskiarvo ratkaisee. Yksi mahdollinen vaikutuskanava on marginaalisen energian lähde. Jos lisäenergia tuotetaan fossiililla polttoaineilla, suhdannesyöklisen kestolla ja voimakkuudella voi olla vaikutusta päästökierroihin.

Cap and trade -tyyppinen päästökauppa vaimentaa suhdannevaihteluja (Annicchiarico ym., 2021). Noususuhdanteen aikana hiilen hinta nousee, mikä hillitsee tuotannon kasvua. Vastaavasti laskusuhdanteessa hiilen hinta laskee, mikä mahdollistaa suuremman tuotannon. Siirtyminen puhtaampaan energiaan vaimentaa tätä vuorovaikutusta. Myös päästöluopien määrää säätelemällä voidaan rajoittaa hintojen vaihtelua (Lintunen ja Kuusela, 2018). Päästömäärään sidottu vero ei aiheuta samanlaista hintavaihtelua, eikä vaikuta investointien ajoitukseen. Onkin tutkimusnäyttöä siitä, että optimaalisen hiilen hinnoittelun suhdannevaihtelut ovat pientä, joskin tyypillisesti myötäsyklisiä (Lintunen ja Vilmi, 2021).

## 2.2.8 Vihreä siirtymä ja EU-politiikka

EU:n elpymis- ja palautumissuunnitelma ja sen osana vihreän siirtymän edistämiseen tehdyt toimet, jotka rahoitetaan EU:n budjetista, lisäävät lähivuosina Suomen julkisia menoja kertaluonteisesti. Toisaalta Suomi maksaa budjettiin enemmän kuin sieltä saa. Vihreän siirtymän vaatimat investoinnit ovat todennäköisesti suurelta osin muilta ostettua teknologiaa. Yritykset hyötyvät siten muiden maiden vihreän siirtymän rahoituksen tuesta. Tämä ulkoisvaikutus puoltaa EU-laajuisia rahoituspanostusta ja sen ohjaamista ei-poliittisilla kriteereillä.

Hiilidioksidin hinta päästökaupassa on nousut nopeasti, mikä on tekemässä siitä merkittävän rahoituslähteen jäsenvaltioille lähivuosina. Suunnitteilla on kuitenkin, että osa päästökaupan tuloista siirretään EU:n budjetin rahoitukseen. Lisäksi päästökauppa on laajentumassa todennäköisesti maantieliikenteeseen ja rakennusten lämmittämiseen. Laajenemisesta saatavista tuloista on kuitenkin komission mukaan osa tarkoitettu ohjattavaksi verotuksen tulonjakovaikutusten kompensointiin sosiaalisen ilmastorahaston kautta. Myös suunniteltujen hiilitullien tuotto menisi EU:n budjetin katteeksi. Näiden uudistusten myötä Suomen julkiselle taloudelle on syntymässä riski kasvavista nettomaksusta EU:lle.

Vihreän siirtymän rahoituksessa on otettava kantaa myös EU:n finanssipoliittisiin sääntöihin. Esimerkiksi Darvas ja Wolff (2021) suosittelevat vihreiden investointien rahoituksen jättämistä pois sääntöjen noudattamista mittaavista indikaattoreista. Riskinä ovat kuitenkin poliittisin perustein tehdyt päätökset, joista on hyvänä esimerkkinä uusien maakaasuja ydinvoimaloiden hyväksyminen vihreiden investointien joukkoon siirtymän aikana.

Ilman kansainvälistä koordinaatiota kireän sääntelyn maat ottavat vastuun ilmastotavoitteista ja sen kustannuksista, samalla kun vihreiden tuotteiden markkinoiden kasvusta hyötyvät erityisesti löysemmän ilmastopolitiikan maat, jos sekä vihreiden tuotteiden tuotannossa syntyvä arvonlisä että tuotannolliset päästöt valuvat kunnianhimoisen ilmastopolitiikan toteuttajamaiden ulkopuolelle (Kuusi ym., 2020).

## 2.3 Ilmastonmuutoksen vuorovaikutus muiden trendien kanssa

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös Suomen väestökehitykseen (Prokkola ym., 2021). Suomeen haluavien määrä lisääntyyne elinolosuhteiden suhteellisen paranemisen vuoksi. Tämä parantaa työvoiman saatavuutta ja vaikuttaa tuotannon sijaintipäätöksiin. Lisämuutolla voi olla parhaassa tapauksessa huomattavaa merkitystä huoltosuhteelle ja sitä kautta julkisen talouden kestävyydelle. Jos kuitenkin pääosa maahanmuuttajista on heikon koulutuksen varassa, kestävyysvaikutus voi olla negatiivinen.

Ilmastonmuutos ja siihen liittyvä epävarmuus lasten tulevaisuudesta saattaa myös vähentää syntyvyyttä (Schneider-Mayerson ja Leong, 2020) ja sitä kautta tulevaa työvoimaa, mutta ilmiön merkityksestä ei ole vielä riittävästi tutkimusnäyttöä.

Vuorovaikutus menee myös toiseen suuntaan sikäli, että globaali väestönkasvu lisää lähtökohtaisesti kasvihuonekaasujen päästöjä. Suomen väestökehityksellä ei ole päästöihin merkittävää vaikutusta.

Kuolleisuuden muutokseen vaikuttaa pääosin kaksi tekijää: ikääntyneen väestön kasvu ja kyky hallita sisälämpötiloja kuumien jaksojen aikana. Kuumuusjaksojen aiheuttamat terveysongelmat lisäävät välittömästi julkisia terveysmenoja, mutta saattavat vähentää niitä pitkällä aikavälillä kuolleisuuden kasvun vuoksi. Eettiset näkökohdat puoltavat joka tapauksessa ennaltaehkäisyyn ja sopeutumiseen käytettävien menojen kasvattamista. Siirtyminen pois fossiilisista polttoaineista vähentää kuolemia myös paikallisten vaikutusten kautta, koska ilmansaasteet aiheuttavat nyt vuosittain 1600–2000 ihmisen ennenaikaisen kuoleman Suomessa (YM, 2019).

Ilmastonmuutos on vuorovaikutuksessa muidenkin yhteiskunnallisten trendien kuin väestörakenteen muutosten kanssa. Optimaalisen hillintä- ja sopeutumispolitiikan aikaura riippuu muiden tekijöiden ohella ympäristötekniikan kehityksestä, joka on sidoksissa osittain muuhun tekniseen kehitykseen. Esimerkiksi digitalisaatio on edistänyt mittaus- ja säätöjärjestelmien kehittymistä, joka helpottaa energiatehokkuuden parantamista.

Myös kaupungistumista on pidetty niin tärkeänä, että se on otettu yhdeksi muuttujaksi sosioekonomisiin polkuihin (SSP – kts. kappale 2.4.1), joita käytetään hahmottamaan tulevia yhteiskunnan kehitysvaihtoehtoja. Kaupungistumisen odotetaan lisäävän lämpösäarekkeita ja heikentävän tulvavesien imeytymistä. Globaalilla tasolla kaupunkien osuus hiilidioksidipäästöistä on merkittävä. Päästöjen vähentämiseen kaupungeissa voidaan vaikuttaa erityisesti liikenteen sähköistymisen, joukkoliikenteen kehittämisen, energiatehokkuuden parannustyön ja päästöttömien energiantuotantomuotojen lisäämisen kautta samalla kun fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa vähennetään.

## 2.4 Ilmastonmuutoksen kansantaloudelliset vaikutukset ilmastomalleissa aikaisemman kirjallisuuden perusteella

Ilmastonmuutoksen on ennakoitu aiheuttavan taloudellisia menetyksiä tulevaisuudessa erityisesti maissa, joissa keskilämpötilat ovat jo verrattain korkeita. Esimerkiksi Intiaa riivasi vuodenaikaan nähden ennätyksellisen korkea kuumuus keväällä 2022 tehden ulkona työskentelystä jopa kuolettavan vaarallista. Muillakin alueilla on jo saatu kokemuksia negatiivisista vaikutuksista ääri-ilmiöiden, kuten voimakkaiden metsäpalojen ja tulvien, yleistyessä. Vahingot yksittäistapauksissa voivat olla mittavia niin menetetyissä ihmishengissä kuin rahamääräisissä kustannuksissa mitattuna.

Akuuttien menetysten lisäksi on taloustieteessä nähty tärkeäksi arvioida, miten keskilämpötilojen nousu vaikuttaa talouden aktiviteettiin pitkällä aikavälillä. Vaikutusarvioilla on käyttöä mm. talouden ja ilmaston kokonaismallinnuksissa, joissa pyritään ennakoimaan



ilmastonmuutoksen taloudellisia nettovaikutuksia tuleville vuosikymmenille. Näillä arvioilla on erityisesti merkitystä, kun pyritään vertaamaan ilmastonmuutoksen hillinnän nykyisiä kustannuksia hillinnän avulla vältettyihin kustannuksiin ja taloudellisiin menetyksiin.

Ilmastonmuutoksen kansantaloudellisten vaikutusten arvioiminen sisältää suuria epävarmuuksia muun muassa sen vuoksi, että muutos on ainutkertainen tapahtuma moderneissa yhteiskunnissa. Epälineaaristen vaikutusten ja peruuttamattomien kynnysten vuoksi historiallisilla havainnoilla on vähäinen kyky ennustaa tulevaa, jos lämpenemistä ei saada hallintaan. Viimeaikaisen katsauksen määrällisten vaikutusten arviointiin tarjoaa Bosello ja Parrado (2020).

Vaikutuksia voidaan arvioida lähtien yksittäisistä ilmiöistä, kuten keskilämpötilan nousun vaikutuksista tuotanto-olosuhteisiin ja tuottavuuteen tietyillä toimialoilla ja alueilla (Hsiang ym., 2017). Kokonaisvaikutuksia voidaan laskea näiden summana, mutta niiden yhteisvaikutukset hintamekanismin kautta ja heijastevaikutukset muualta maailmasta jäävät silloin puuttumaan. Muita vaihtoehtoja ovat tilastollisin menetelmin tuotetut arviot lämpötilan ja tuotannon suhteesta ja kokonaistaloudellisilla malleilla ja yhdistetyillä talous- ja ympäristömalleilla tuotetut estimaatit.

### 2.4.1 Tilastolliset arviot ilmastonmuutoksen talousvaikutuksista

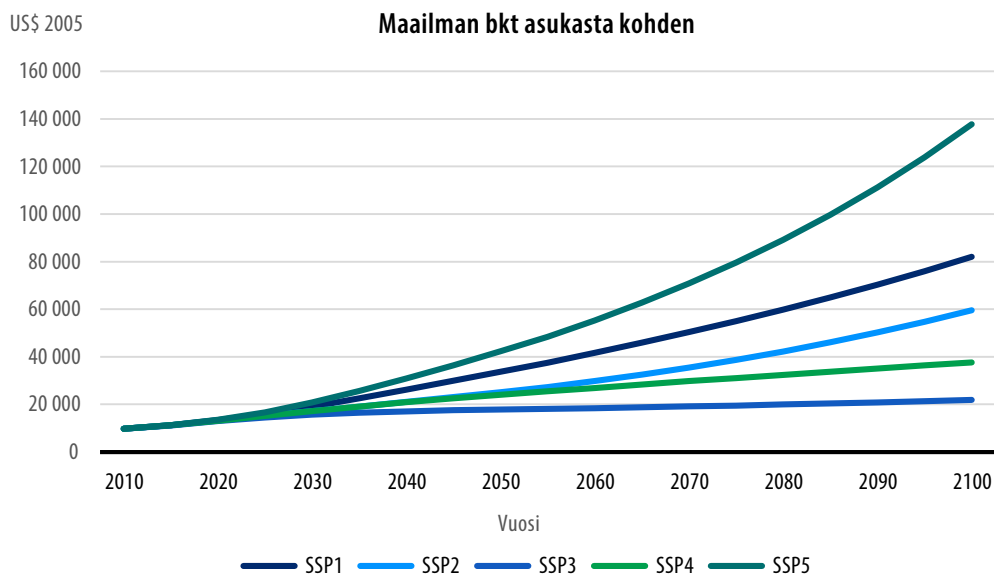
Tilastollisilla tutkimuksilla on pyritty selvittämään, miten keskilämpötila vaikuttaa bkt:-hen asukasta kohden, kun muiden tekijöiden vaikutukset on vakioitu. Tilastolliset menetelmät perustuvat useimmiten historiassa havaittuun yhteyteen lämpötilan ja tuotannon muutoksista ja pystyvät siten vain rajallisesti arvioimaan uusia ilmiöitä, kuten merenpinnan nousua ja kansantalouksien sopeutumisen vaikutuksia. Tutkimusaineistona on käytetty havaintoja useista maista tai alueilta useiden vuosikymmenten ajalta. Yksiselitteistä arviota vaikutusten suuruudesta – tai edes suunnasta – ei kuitenkaan ole. Epävarmuus vastauksissa selittyy niin havaintojen suurella vaihtelevuudella ja niukkuudella kuin haasteella valita ”oikea” tilastollinen malli vaikutusten mallintamiseen.

Jotta ilmastonmuutoksen vaikutuksia voidaan vertailla talouden kehitykseen, täytyy ensin luoda arvio siitä, millainen globaalin talouden kehitys tulisi olemaan tulevina vuosikymmeninä ilmastonmuutoksen rinnalla. IPCC:n käyttämässä Shared Socioeconomic Pathways (SSP) -skenaarioissa ennakoidaan tulevaa kehitystä mm. väestönkasvun, teknologian, kansainvälisen kaupan ja monen muun tekijän kehityksen perusteella erilaisilla oletuksilla, jotka puolestaan vaikuttavat ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumisen kustannuksiin. Jos keskitytään kehityskulkuihin SSP1, SSP2 ja SSP4 (kuvio 3), vuonna 2100 maailman bkt asukasta kohden olisi noin 200–500 prosenttia suurempi (reaalisesti) kuin nyt, eli toisin

sanoen noin 3–6 kertaa suurempi. SSP3:ssa bkt asukasta kohden olisi noin 70 prosenttia suurempi vuonna 2100 kuin nyt, kun taas SSP5-skenaariossa se olisi noin kymmenen kertaa suurempi.

Mikäli keskitytään kokonais-bkt:hen, kasvu eri kehityspoluilla vuoteen 2100 mennessä suhteessa nykyhetkeen olisi: 460 % (SSP1), 440 % (SSP2), 180 % (SSP3), 250 % (SSP4) ja 900 % (SSP5). Nämä luvut siis ennustavat globaalin talouden kehitystä ilman ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Kysymys kuuluu siis, kuinka paljon ilmastonmuutos – ja erityisesti hillitsemätön ilmastonmuutos – vähentää ennakoitua taloudellista kasvua?

**Kuvio 3.** Kiinteähintainen bkt asukasta kohden (US\$ 2005). Lähde: IIASA Energy Program ja Etlan laskelmat.



Erään suurimmista vaikutuksista esittää Burke ym. (2015). He arvioivat, että maailman bkt olisi 23 prosenttia alemmalla tasolla vuonna 2100 hillitsemättömän ilmastonmuutoksen seurauksena. Edellä esitetyistä kasvuluvuista voi siis vähentää kyseisen vaikutuksen. Burke ym. (2015) osoittaa, että lämpötilan nousun tuottavuusvaikutukset ovat epälineaarisia siten, että maksimaalinen tuottavuus saavutetaan 13 asteen vuosilämpötilassa ja se alenee nopeasti sen jälkeen. Uudemmassa tutkimuksessa ennakoitujen vaikutukset ovat olleet pienemmät. Esimerkiksi Kalkuhl ja Wenz (2020) arvioi bkt-vaikutuksen olevan 7–14 prosenttia,

kun taas Kahn ym. (2021) arvioi bkt:n asukasta kohden olevan 7 prosenttia alemmalla tasolla verrattuna tilanteeseen, jossa ilmastonmuutoksen vaikutusta ei ole. Nämä tutkimukset edustavat top-down-lähestymistapaa.

On syytä huomioida, että näissä arvioissa on käytetty ns. RCP 8.5 -kehityspolkua kuvaamaan hillitsemättömän ilmastonmuutoksen vaikutuksia lämpötiloihin. Kyseinen kehityspolku ei siis edusta odotettua kehityspolkua vaan mahdollista äärimmäistä kehityspolkua ilman ilmastonmuutosta hillitseviä toimia (Hausfather ja Peters, 2020). Toisin sanoen voidaan ajatella, että luvut esittävät pahinta odotettua vaikutusta.

Newell ym. (2021) pyrkii tarkemmin selvittämään keskilämpötilojen bkt-vaikutusten mitataavaa ja siihen liittyvää epävarmuutta. Heidän tutkimuksensa mahdollistaa myös aikaisempien löydösten punnitsemisen laajemmassa tilastollisessa kontekstissa. Vaikka epävarmuus vaikutuksista on huomattavaa, löydökset eivät kuitenkaan anna vahvaa tukea suurille bkt-vaikutuksille globaalilla tasolla. Vartenotettavana arviona tutkijat esittävät, että hillitsemättömän ilmastonmuutoksen seurauksena vuonna 2100 globaali bkt on noin 1–3 prosenttia alemmalla tasolla suhteessa ennustettuun tasoon kyseiselle vuodelle.

Newell ym. (2021) esittämien tulosten perusteella voidaan myös haarukoida taloudellisen aktiviteetin kannalta optimaalista vuosittaista keskilämpötilaa. Useiden mallitulosten keskiarvona optimaaliseksi keskilämpötilaksi saadaan noin 12–13 astetta, mutta tässäkin arviossa on luonnollisesti huomattavaa epävarmuutta. Optimaalisen keskilämpötilan alapuolella olevat maat voivat siis odottaa bkt:n kasvavan, jos keskilämpötila nousee hieman, kun taas optimaalisen keskilämpötilan yläpuolella olevat maat kokevat bkt-menetyksiä keskilämpötilan noususta. Esimerkiksi Suomen keskilämpötila (poikkeuksellisen lämpimänä vuonna 2022 3,8 astetta) on merkittävästi arvioidun optimaalisen keskilämpötilan alapuolella. Myös havainnot sään ja ilmaston ääri-ilmiöistä ja arviot tulevaisuuden esiintymisistä viittaavat siihen, että Suomessa niiden kokonaistaloudelliset ja julkisen talouden vaikutukset jäävät vähäisiksi muihin EU-maihin verrattuna (Gagliari ym., 2022).

Jos bkt-menetyksiä verrataan puolestaan rikkaiden ja köyhien maiden välillä, niin tulosten perusteella menetykset kohdistuvat pääosin köyhempiin ja lähtökohtaisesti korkeamman keskilämpötilan maihin. Esimerkiksi Dell ym. (2008) ei löydä historiallista yhteyttä lämpötilan ja tuotannon tason välille rikkaissa maissa, mutta köyhissä maissa vaikutus on suuri ja se koskee myös tuotannon kasvuvauhtia. Tosin Burke ym. (2015) esittämien tulosten perusteella bkt-vaikutukset kohdistuisivat sekä rikkaisiin että köyhiin maihin. Newell ym. (2021) esittämien tulosten perusteella rikkaampiin maihin kohdistuvien vaikutusten suunnasta ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkittävää näyttöä.

Osa ekonometrisista estimoinneista on tehty, jotta saataisiin määrällisiä arviota syntyvien vahinkojen suuruudesta, ns. vahinkofunktioita, jota käytetään osana numeerisia malleja. Esimerkiksi Auffhammer (2018) pitää empiiristen tutkimusten arvonalisäystä suurimpana juuri vahinkofunktion estimoinneissa. Tärkeimpinä kehityskohteina estimoinneissa pidetään sään ääri-ilmiöiden vaikutusten, yleisen tasapainon vaikutusten ja muiden markkinatomien ilmiöiden kuin kuolleisuuden (esimerkiksi sairastavuus ja rikollisuus) huomioimista. Tilastolliset analyysit jättävät huomioimatta myös mahdolliset globaalit keikahduspisteet (tipping points), joilla voi olla katastrofaalisia vaikutuksia esimerkiksi maailman väkirik-kailla rannikkoalueilla (Dietz ym., 2021). Lisäksi hillitsemätön ilmastonmuutos tulee aiheut-tamaan peruuttamatonta vahinkoa ympäristölle ja luonnon monimuotoisuuteen.

## 2.4.2 Integroidut arviointimallit

Globaalit integroidut arviointimallit (IAM), joissa ilmasto ja talous ovat vuorovaikutuk-sessa, ovat käytetyimpiä ilmastonmuutoksen ja hillintäpolitiikan määrällisten vaikutus-ten arvioinnissa. Nikas ym. (2019) luokittelee näitä malleja ja kuvaa niiden ominaisuuksia. Yksinkertaisimmissa malleissa lähtökohtana on väestön ja tuotannon kasvu, joka vai-kuttaa kasvihuonekaasujen määrään ilmakehässä. Kaasujen määrä vaikuttaa edelleen lämpötilaan ja sitä kautta talouskasvuun. Toisaalta myös hillintäpolitiikka aiheuttaa kan-santaloudellisia kustannuksia. Tämän tyyppisten mallien päätehtävä on ilmastopolitiikan arviointi ja optimaalisen politiikan etsiminen. Erityisesti politiikan optimointiin liittyy suu-ria haasteita, koska se edellyttää yhteiskunnan hyvinvoinnin vertaamista eri aikoina tule-vaisuudessa. Silloin keskeiseksi nousee nykyisen ja tulevan hyvinvoinnin arvon suhdetta määrittelevän diskonttaustekijän valinta (Arrow ym., 2013).

### **Laatikko L1. Diskonttokoron valinnasta**

Diskonttokoron valinnan tärkeys malleissa on johtanut aika ajoin kiivaaseenkin keskusteluun oikean koron suuruudesta. Usein viitataan ns. Ramseyyn (1928) hajotelmaan, jossa korko  $r$  määräytyy aikapreferenssin  $\delta$ , kasvuvauhdin  $g$  ja kulutuksen rajahyödyn vastaluvun  $\eta$  avulla:

$$r = \delta + \eta g$$

Aikapreferenssi kuvaa nykyisen kulutuksen arvostusta suhteessa tulevaan kulutukseen, kulutuksen rajahyöty kertoo siitä, kuinka paljon yhden lisäyksikön kulutus parantaa hyvinvointia ja  $g$  on per capita kulutuksen kasvuvauhti. IAM-malleissa kulutuksen kasvu annetaan usein eksogeenisena. Muiden parametrien suhteen keskustellaan usein kahdesta vaihtoehdosta: niiden arviointi rahoitusmarkkinoiden hintojen avulla (descriptive approach), tai normatiivisesti (prescriptive approach) johdettuna joko eettisistä perusteista, tai tehdyistä poliittisista päätöksistä. Kaava kuvaa lähtökohtaisesti riskittömän kulutuksen kasvun tilannetta. Kulutukseen kohdistuvaa epävarmuutta voidaan käsitellä lisäämällä yhtälöön negatiivinen varautumisparametri. Jos kulutukseen kohdistuvat sokit ovat ajassa korreloituneita, parametrin arvo kasvaa ajassa suureksi, jolloin diskonttokorko laskee ajassa. Vahinkojen nykyarvon kasvu ohjaa politiikkaa ennaltaehkäiseviin toimiin.

Kehittyneimmissä integroiduissa malleissa on omat moduulinsa kasvihuonekaasuja tuotavalle energiasektorille, kaasujen lisääntymisen vaikutukselle hiilivarantoihin, hiilivarantojen muutoksen vaikutukselle ilmastoon, ilmaston vaikutukselle kansantalouteen ja talouskasvun vaikutukselle energian tarpeeseen.

Ilmiöiden yhteyksien kuvaukseen ja keskeisten parametrien arvoihin liittyy suurta epävarmuutta, joka kasvaa tarkasteltaessa suurempia muutoksia kasvihuonekaasujen määrässä. Myös mallien valinta vaikuttaa suoraan tuloksiin. Esimerkiksi pääosa kansantaloutta koskevista arvioista perustuu uusklassisiin kasvumalleihin, joissa ilmaston lämpeneminen vaikuttaa bruttokansantuotteen tasoon, mutta ei sen kasvuvauhtiin. Ilmastomuutoksen hillintään liittyvän teknologian kehittymisvauhdista tehdään oletuksia, mutta niiden taustalla on vain vähän informaatioita tulevasta. Malleista puuttuu tyypillisesti myös tärkeitä elementtejä, kuten biodiversiteetin vähenemisen vaikutukset, ja takaisinkytkentöjä eri elementtien välillä. Stern (2013) kritisoikin mallien rakenteiden ja oletusten tuottavan automaattisesti liian pienet vaikutukset kasvuun. Pindyckin (2019) asiantuntijakyselyssä

hiilen yhteiskunnallinen kustannus arvioitiin merkittävästi suuremmaksi kuin tyypillisellä IAM-mallilla tuotettu kustannus, mikä saattaa myös ilmentää malleista puuttuvien tekijöiden huomioimista.

Gillingham ym. (2018) tutkii mallirakenteisiin ja keskeisiin parametriarvoihin liittyvää epävarmuutta. Tutkitut parametrit olivat väestökehitys, kokonaistuottavuuden kasvu ja ilmastoherkkyys (kuinka paljon lämpötila nousee, jos hiilidioksidin pitoisuus kaksinkertaistuu). Mallirakenteiden epävarmuutta tutkittiin vertailemalla kuuden mallin tuloksia eri parametrisoinneilla eri lämpötilaskenaarioissa. Parametrien epävarmuutta kuvattiin simuloinneilla, joissa käytettiin parametrien todennäköisyysjakaumia ja malleista estimoitua yhteyttä parametrien ja tulomuuttujien (mm. päästöt, kasvihuonekaasujen pitoisuus, lämpötila, vahingot, talouskasvu) välillä. Simulointitulosten mukaan mallitulokset ovat melko samanlaiset eri malleissa perusparametrisoinneilla, mutta eroavat huomattavasti siirryttäessä suurempiin arvoihin väestönkasvussa, tuottavuuden kasvussa ja ilmastoherkkydessä. Toinen keskeinen tulos on, että kokonaistuottavuuden kasvuun liittyvä epävarmuus on mallitulosten kannalta merkittävämpää kuin väestökasvuun ja ilmastoherkkyteen liittyvä epävarmuus.

Pindyck (2017), joka muutenkin arvostelee IAM kehikoiden käyttöä<sup>10</sup>, ei katso, että parametrien todennäköisyysjakaumiin perustuvat stokastiset simulaatiot tuottaisivat lisäinformaatiota, koska oikeat todennäköisyysjakaumat eivät ole tiedossa ja mallien kuvaamista keskeisistä riippuvuussuhteista, kuten vahinkofunktiosta, ei edes niiden oikea muoto ole tiedossa.

---

10 "IAM-based analyses of climate policy create a perception of knowledge and precision that is illusory, and can fool policy-makers into thinking that the forecasts the models generate have some kind of scientific legitimacy".

## Laatikko L2. Yksinkertaisten integroitujen arviointimallien talouskuvaus

Yksinkertaisissa integroiduissa malleissa taloutta kuvataan tyypillisesti uusklassisella kasvumallilla. Mallit kuvaavat suljettua taloutta, jossa tuotanto joko kulutetaan, tai investoidaan. Investoinnit rahoitetaan kotimaisella säästämällä, joka määräytyy vakio-osuutena tuloista. Tuotannossa käytävä työvoima ja tuottavuus määritellään mallin ulkopuolisen informaation perusteella.

Ohessa on esimerkkinä DICE 2013R -mallin tuotannon määräytyminen (Nordhaus ja Sztorc 2013). Lähtökohtana on työvoiman  $L$  ja pääoman  $K$  käyttöön perustuva Cobb-Douglas-tuotantofunktio. Työvoima saadaan väestöennusteesta. Kokonaistuottavuutta on kahdenlaista: tavanomaista tuotannon kasvua lisäävää ja hiiltä ja energiaa säästävää teknologista kehitystä<sup>11</sup>. Ilmaston lämpeneminen vähentää tuotantoa vahinkofunktion määrittelemällä tavalla. Myös lämpenemisen ehkäisy vähentää kulutukseen ja investointeihin käytävissä olevaa nettotuotantoa.

Nettotuotantoa  $Y_t$  periodilla  $t$  vähentävät ilmaston lämpenemisen aiheuttamat vahingot  $V_t$  ja lämpenemisen hillinnän  $E_t$  aiheuttamat kustannukset:

$$Y_t = \frac{(1-E_t)A_t K_t^\alpha L_t^{(1-\alpha)}}{(1+V_t)}$$

Itse vahinkofunktio on lämpötilan nousun suhteen epälineaarinen

$$V_t = BT_t + B(T_t)^2$$

missä  $B$  on kerroin,  $T$  on lämpötilan muutos ja 2 kuvaa epälineaarisuuden astetta. Vahinkofunktion parametrit on johdettu suuresta määrästä tilastollisia tutkimuksia<sup>12</sup>. Lämpenemisen hillinnän kustannukset riippuvat teknologisesti kehityksestä siten, että ne yleensä alenevat ajan kuluessa.

11 Nordhaus (2002) jakaa yrityksen sopeutumisen energian hinnan nousuun kahteen komponenttiin: energian korvaamisen muilla tuotantotekijöillä nykyisellä teknologialla ja uusien innovaatioiden tuottamisen. Vaihtoehdot ympäristöteknologian kehittyneisyydestä ovat mukana esimerkiksi ns. SSP-skenaarioissa (O'Neill ym., 2020).

12 Nordhausin ja Moffatin (2017) kirjallisuuskatsauksessa koottiin 36 eri estimoitua vahinkofunktion arvoa ja käsiteltiin niitä regressioanalyysillä, niin kuin ne olisivat havaintoja samasta funktiosta. Tuloksiin lisättiin vielä 25 % menetys kuvaamaan estimoinneissa pois jääneiden tekijöiden vaikutuksia. Tuloksena oli, että 3 asteen lämpeneminen alentaa globaalia bruttokansantuotetta 2,04 prosenttia ja 6 asteen lämpeneminen 8,16 prosenttia.

Toinen tapa on arvioida vahinkofunktioita toimialoittain ja/tai erilaisille lämpenemisen seurauksille ja yhdistää tulokset (Roson ja Sartori, 2016). Vahinkofunktio voidaan muodostaa myös niin, että lämpötilan nousun sijaan bkt:n muutokseen vaikuttaa indeksi, joka huomioi lämpötilan nousun lisäksi esimerkiksi merenpinnan nousun. Keskeisyydestään huolimatta funktioiden estimointi on saanut huomattavasti vähemmän huomiota kuin muut integroidun malliryhmän osat.

DICE-mallin vahinkofunktion rajoittuneisuutta on kritisoitu muissa tutkimuksissa. Esimerkiksi Dietz ja Stern (2015) ehdottavat, että ilmaston lämpeneminen vaikuttaa myös talouden kasvuvauhtiin. He myös arvioivat bkt-tappioiden kasvavan nopeammin kuin kvadraattisesti ja kritisoivat epävarmuuden jättämistä pois vaikutusarviosta. He ehdottavat lisäksi, että vahinkojen pitäisi näkyä suoraan pääomakannan liikeyhtälössä olemassa olevaa pääomakantaa pienentävänä tekijänä. Howard ja Sterner (2017) osoittavat, että heidän meta-analysinsä vahinkofunktioista tuottaa erilaiset kertoimet kuin mitä DICE-mallissa on käytetty vahinkofunktion kalibrointiin. Käyttämällä uusia kertoimia hiilitonnin yhteiskunnalliset kustannukset ovat DICE-mallissa moninkertaiset.

Verotuksen haitallisten, eli taloudellista tehokkuutta vääristävien, vaikutusten tuominen mukaan IAM-malleihin on tuonut uusia tuloksia. Tutkimuksen Barrage (2015) mukaan yhteiskunnan kustannukset ilmastonmuutoksesta, silloin kun ilmastopolitiikka jää sopeutumisen varaan, voivat kaksinkertaistua käytettäessä sopeutumisen rahoitukseen pääomatuloveroja ansiotuloverojen sijaan. Tämä johtuu siitä, että pääomatuloverojen aiheuttamat haitalliset kannustevaikutukset vaikuttavat mallissa enemmän talouden kasvuun. Barrage (2020) osoittaa, että optimaalinen hiilivero on merkittävästi pienempi, jos mallinnuksessa otetaan huomioon olemassa oleva vääristävä verotus kuten pääoma- ja ansiotulojen verotus.

Taloutta kuvataan joissakin integroiduissa kehikoissa yleisen tasapainon malleilla, joissa on eri toimialoja, tuotteita ja alueita (esimerkiksi Bosello ym., 2020). Näiden etuna ovat optimointiin perustuva kotitalouksien ja yritysten käyttäytyminen, yksityiskohtaisempi kuvaus ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kansantalouteen ja vuorovaikutus muiden maiden kanssa ulkomaankaupan välityksellä. Toisaalta ongelmia ovat usein monimutkaisten tulosten tulkinta ja talouskasvun dynamiikan kuvaaminen (ei eteenpäin katsovaa optimointia ja sopeutumiskitkoja). Malleista voi puuttua myös sellaisia vaikutuskanavia, joiden kuvaaminen on malliteknisistä syistä vaikeaa.



Talouskasvun lyhyen aikavälin dynamiikkaa tutkitaan tyypillisesti dynaamisilla yleisen tasapainon stokastisilla (DSGE) malleilla. Ilmastonmuutoksen tutkimuksessa ne soveltuvat parhaiten vihreän siirtymän analyysiin. Esimerkiksi Euroopan komission E-QUEST-malli (Varga ym., 2021) on rakennettu lisäämällä aiempaan DSGE-malliin energiasektori, jossa on puhtaita ja likaisia energianlähteitä ja niiden kysyntää. Yrityksen välipanoksiin on lisätty puhdas ja likainen energiasta ja pääomasta koostuva elementti. Poliitikalla voidaan vaikuttaa näiden elementtien hintasuhteisiin ja käyttöön. Annicchiarico ym. (2021) tarjoaa katsauksen DSGE-malleista, joilla on tutkittu ilmastopolitiikan vaikutuksia.

Myös numeerisia sukupolvimalleja on muokattu ilmastopolitiikan arviointiin sopivaksi. Mallityypin etuna on, että se mahdollistaa tarkemman kuvauksen julkisesta taloudesta (esimerkiksi eläkejärjestelmän säännöt). Lisäksi sillä voidaan tutkia relevantilla tavalla esimerkiksi julkisen velan käyttöä vihreän siirtymän rahoituksessa, toisin kuin ikuisesti elävien kotitalouksien kasvumalleissa.

Kotlikoff ym. (2016) osoittaa, että tuomalla mukaan energialähteet omistavien yritysten eteenpäin katsova päätöksenteko saadaan esille vihreä paradoksi (Sinn, 2008), jossa fossiilisten polttoaineiden odotettavissa oleva hintojen lasku joko politiikan tai teknologisen kehityksen vuoksi johtaa niiden tarjonnan kasvuun. Tulos painottaa vähitellen kiristyvän politiikan ongelmia.

Kotlikoff ym. (2021) tutkii politiikkaa, jossa ilmastonmuutoksen hillinnästä eniten hyötyvät alueet ja tulevat sukupolvet kompensoivat nykyisiä sukupolvia ja vähiten ilmaston muutoksesta kärsiviä alueita siitä, että ne vähentävät päästöjä. Välineenä on laajennettu versio sukupolvimallista, jossa ovat mukana myös kytkennät päästöjen, lämpötilan ja niiden talouskasvuvaikutusten välillä. Tarkastelu ei ota huomioon sitä, että eri sukupolvet ja maat ovat aiheuttaneet tähänastisen hiilidioksidin kertymisen ilmakehään.

Catalano ym. (2019) tutkii pienen avotalouden sukupolvimallilla ennaltaehkäisyn ja vahinkojen korjaamisen kustannuksia, kun ilmastonmuutos nopeuttaa pysyvästi pääoman kulumisvauhtia. Tulosten mukaan julkisen sektorin rahoittama ennaltaehkäisy tuottaa nopeamman talouskasvun kuin vahinkojen korjaaminen (molemmat mallitettu vaikuttamaan pääoman kulumisvauhdin kautta) tai politiikkatoimien jättäminen kokonaan tekemättä. Tuloksen tulkinnassa kannattaa huomioida, että ennaltaehkäisy ja vahinkojen korjaaminen on rahoitettu julkisella velalla. Talouden ulkomaisen velan ottaminen on kuitenkin rajoitettua.

### **LAATIKKO L3. GREENREFORM -MALLI**

Tanskassa rakennetaan laajaa edistyksellistä integroitua mallia nimeltä GreenREFORM<sup>13</sup>. Sen kansantaloutta kuvaava osa perustuu yksinkertaistettuun versioon dynaamisen yleisen tasapainon mallista MAKRO, jossa kotitaloussektori perustuu limittäisiin sukupolviin ja jossa muun muassa julkinen sektori on kuvattu yksityiskohtaisesti. Toisaalta MAKRO-mallin toimialarakennetta ja muita relevantteja ominaisuuksia laajennetaan ilmastopolitiikan vaikutusten tutkimiseksi. Mittavilla resursseilla toteutettavan mallihankkeen yhtenä tavoitteena on ratkaista yhtä aikaa kansantaloudellisen mallin kanssa sektorimallit, jotka kuvaavat maataloutta, energiantuotantoa, jätteenkäsittelyä ja kiertotaloutta, sekä päästöjen hillintää. Tarkoitus on jatkossa mallintaa myös maankäyttösektorin toimintaa. Simulaatioiden tuloksina tuotetaan muun muassa kansantalouden tilinpitoa ja ilmastotilinpitoa kuvaavien muuttujien arvot usealle vuosikymmenelle eteenpäin. Hankkeessa on tehty alustavia politiikkasimulaatioita vuoden 2022 aikana.

---

13 <https://dreamgroup.dk/greenreform/project-description/>

## 3 Tutkimuksen mallinnuskehikko ja skenaariokuvaukset

### 3.1 Mallinnuskehikko

Hankkeen tavoitteena on luoda kokonaiskuva ilmastonmuutoksen vaikutuksista julkisen talouden kestävyys- ja riskeihin.

Käytännössä arvioimme, mitkä ovat ilmastonmuutoksen julkisen talouden vaikutusten mallintamisen haasteet ja mikä menetelmällinen lähestymistapa tarjoaa parhaat mahdollisuudet mallintamiselle. Tavoitteena on luoda laskentakehikko, josta mallinnustuloksia voidaan hyödyntää politiikkatyössä. Laskentakehikko tuottaa arvioita ilmastonmuutoksen ja siihen puuttumisen julkisen talouden kustannuksista eri skenaarioissa sekä kokoavan herkkyystarkastelun keskeisten laskelmiin vaikuttavien oletusten vaikutuksista (mm. kansainvälisen kaupan kehitys, tuottavuuskehitys, julkisen talouden kysyntämuutosten kehitys).

Työssä hyödynnetään makrotaloudellisia kokonaistasapainomalleja, joiden avulla tarkastellaan ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän globaaleja vaikutuksia. Käytössämme olevat globaalit makromallit tuottavat edellä esitettyjen skenaarioiden perusteella yksityiskohtaisia kuvauksia ilmastonmuutoksen ja sen torjunnan Suomen kansantalouteen kohdistamista kokonaistaloudellisista vaikutuksista. Edellisen luvun mallinnusvälineiden analyysin perusteella ilmastonmuutoksen vaikutusten kansantaloudellista ja julkistaloudellista tarkastelua voidaan tehdä monesta näkökulmasta, eikä yhtä ongelmatonta tapaa laskea vaikutuksia ole.

Tässä tutkimuksessa – ja käytössä olevat mallit huomioiden – parhaaksi katsottu lähtökohta on sektoritasoisista ilmiöistä kansantalouden tasolle etenevä ilmiölähtöinen tarkastelu. Se erottelee ilmaston lämpenemisen ja sään ääri-ilmiöiden yleistymisen ja voimistumisen erilaisia vaikutuskanavia ja seurauksia. Tarkastelussa ovat sektori-kohtaiset vaikutuskanavat kotitalouksien ja eri toimialoja edustavien yritysten näkökulmasta, ja lopulta tiedon käyttäminen kansantalouden tasolla sen arviointiin, miten ilmastonmuutos vaikuttaa tuotantoon, investointeihin, kulutukseen, ulkomaankauppaan ja lopulta julkiseen talouteen.

Seuraavassa tarkastelussa ilmastonmuutos syötetään malleihin niille ominaisten sokkien, kuten tuottavuuden, kaupan ja rahoitusolojen muutosten avulla - pääosin - mallien ulkopuolisina ns. eksogeenisina sokkeina. Toteutustapa poikkeaa ilmastopolitiikan optimointiin tähtäävien ns. integroitujen arviointimallien näkökulmasta, mutta sallii yksityiskohtaisemman taloudellisten mekanismien tarkastelun. Viimeaikainen kansainvälinen kirjallisuus suosii tätä näkökulmaa, koska taloudellisten lainalaisuuksien osalta joudutaan tekemään vähemmän rajoittavia oletuksia (Batten, 2018; OECD, 2015).

Eriyksen hyödyllinen tämä näkökulma on arvioitaessa edelleen julkisen talouden vaikutuksia, sillä FOG-malli tarjoaa tarkempia tuloksia julkisen talouden näkökulmasta.

Tässä tutkimuksessa ilmastonmuutoksen vaikutuksien mallintamisen lähtökohdaksi otettiin GTAP-malli (Corong ym., 2017). Sektorikohtaista kansantaloustason GTAP-mallia voidaan hyödyntää ilmastonmuutoksen vaikutusten ja hillinnän yksityiskohtaisempaan tarkasteluun. GTAP-mallissa ohjaukskeinot ja teknologinen kehitys saadaan kohdistettua tarkasti kyseisille sektoreille kuten energiasektorille, jolloin suorat ja epäsuorat kustannukset saadaan tarkemmin arvioitua. Samalla voidaan arvioida sekä eri mekanismien suuruusluokkaa että tyypillisiä niihin liittyviä oletuksia, kuten niiden matemaattisia mallinnusratkaisuja.

Ilmastonmuutoksen hillintää koskevissa laskelmissa käytettiin GTAP-E-POWER-malliversiota (Peters, 2016a, 2016b). GTAP-E-malli sisältää fossiiliset polttoaineet ja niihin kytkeytyvät päästöt (Burniaux & Truong, 2002). Power-versiossa GTAP-E-mallin energiasektorikuvausta on täydennetty yksityiskohtaisemmalla sähköntuotantokuvauksella, joka mahdollistaa tarkastelut päästöttömään sähkön siirtymisestä.

Kokonaistasapainotarkasteluja tarvitaan, sillä aiempi tutkimus osoittaa epäsuorien vaikutusten olevan selvästi suoraa vaikutuksia merkittävämmät (Virta ym., 2011; Bräuer ym., 2009). GTAP-malli kuvaa pitkää aikaväliä, jossa talous on sopeutunut uuteen tasapainoon. Siirtymäkauden jälkeisessä tasapainossa tuotantopanokset ovat uudelleenallokoituneet kustannustehokkaasti uusien, politiikkatoimen tai muun shokin aiheuttamien, hintasuhteiden mukaisesti.

GTAP-tuloksia käytetään lähtötietoina FOG-mallissa<sup>14</sup>. Suomen kansantalouteen ja julkiseen talouteen kalibroitu FOG-malli on dynaaminen yleisen tasapainon malli, jossa kotitaloussektori on mallitettu eri aikaan syntyneiden yhtä aikaa elävien kohorttien avulla. Malli mahdollistaa ympäristömuutosten ja vero- ja velkapolitiikan sukupolvivaikutusten

<sup>14</sup> Nykyisissä julkisen talouden vaikutusten arvioinneissa yhdistetään tyypillisesti eri mallinnusvälineitä (Tamminen ym., 2022)

tutkimisen. Sukupolvimallissa on mukana väestöennusteiden mukainen kohorttien suuruuden kehitys ja niiden vaikutukset veropohjiin ja julkisiin menoihin. Näin voidaan tutkia yhtäaikaisia väestön ikääntymisen ja ilmaston lämpenemisen vaikutuksia talouteen.

Vastakohtana käytetylle alhaalta ylös -menetelmälle on kansantalouden tasoisen näkökulman ottaminen, esimerkiksi tilastollinen mallinnus keskilämpötilan muutoksen vaikutuksista kansantalouden arvonlisäyksen määrään paneeliaineiston avulla. Ylätasoisesta näkökulmasta esimerkkinä olemme hyödyntäneet NiGEM-mallia, joka on estimoitu makromalli. Erityisesti ilmastonmuutoksen vaikutusten mallinnuksen näkökulmasta ylhäältä alas -menetelmä vaikuttaa kuitenkin varsin karkealta, ja siksi enemmän huomiota raportissa on annettu alhaalta ylös -tarkasteluille.

## 3.2 Skenaariot

Tulevaisuuden kehityskulkuun, niin ilmaston, teknologian kuin kansainvälisen yhteistyönkin suhteen, liittyy merkittävää epävarmuutta ja vaihtoehtoisia polkuja. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tutkittaessa onkin yleistä keskittyä analysoimaan vaihtoehtoisia skenaarioita, jotka tarjoavat mahdollisuuden tarkastella vaikutusten suuruuksia erilaisten oletusten vallitessa talouden ja teknologian kehityksestä sekä päästöjen hillinnästä. Näistä yleisimmin käytettyjä skenaariokuvauksia ovat Shared Socioeconomic Pathways (SSP) ja Representative Concentration Pathways (RCP), joita esimerkiksi IPCC on hyödyntänyt raporttiansa laadinnassa.

SSP-skenaarioissa viisi (SSP1–SSP5) vaihtoehtoista tulevaisuuden yhteiskunnallista kehityspolkuja kuvataan maailman bkt-kehityksen, väestökehityksen, teknologian ja kansainvälisen yhteistyön kautta. Nämä puolestaan vaikuttavat skenaarioiden ilmastonmuutoksen hillinnän ja sopeutumisen kustannuksiin. RCP-skenaariot puolestaan esittävät vaihtoehtoisia päästöuria, jotka määrittävät ilmastonmuutoksen voimakkuuden ja sen vaikutusten suuruuden. RCP-skenaariot ilmaistaan tyypillisesti muodossa RCPx, missä 'x' viittaa säteilypakotteen, eli maapallon energiatasapainon häiriön suuruuden, tasoon vuonna 2100 (esim. RCP2.6). Mallinnustyössä SSP-skenaariot yhdistetään usein RCP-skenaarioihin, jolloin tarkasteltava kehityspolku ilmaistaan muodossa SSPy-x, jossa 'y' viittaa SSP-skenaarioon ja 'x' RCP-skenaarioon (esim. SSP1-2.6).

Myös tässä tutkimuksessa hyödynnetään vaihtoehtoisia tulevaisuuden skenaarioita, joiden avulla luodaan kattavampi kuvaus ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän vaikutuskanavista julkiseen talouteen. Pyrkimyksenämme on kuvata keskeisimmät mekanismit odotetuissa ja realistisissa tulevaisuuden skenaarioissa ja samalla rajata tarkasteltavien vaihtoehtoisten

skenaarioiden määrä hallittavaksi kokonaisuudeksi. Skenaariovalinnan avulla pyritään toisaalta myös kuvaamaan tarpeeksi erilaisia tulevaisuuden kulkuja, jotta eri vaikutuskanavien voimakkuutta voidaan paremmin vertailla. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen hillinnän ja ilmastonmuutoksen aiheuttamien vahinkojen ja niihin sopeutumisen vaikutuskanavat julkiseen talouteen eroavat. Siksi analyysin pohjaksi tarvitaan ilmastonmuutoksen hillintää painottava skenaario sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja niihin sopeutumisen korostava skenaario. Olennaista on myös haarukoida vaikutusten suuruutta. Epärealistisia skenaarioita ei kuitenkaan oteta tarkasteluun.

On huomionarvoista, että osana skenaariovalintaa arvioitiin myös SSP-skenaarioiden hyödyntämistä, koska SSP-skenaariot ovat yleisesti hyödynnettyjä kansainvälisissä ilmasto-tarkasteluissa ja ne mahdollistaisivat mm. vertailuasetelmia muihin tutkimuksiin. Tämän hankkeen painopisteen ollessa kuitenkin Suomen julkisen talouden painelaskelmien kehittämisessä on luontevaa, että hankkeen vertailu-ura vastaa OECD:n oletuksia tulevasta talouskehityksestä. Tällä hetkellä SSP-väestöurien lähtökohtana on YK:n väestöennuste vuodelta 2010. Siinä väestökehitys poikkeaa selvästi Tilastokeskuksen väestöennusteesta erityisesti syntyvyyden osalta. SSP-skenaarioiden väestö- ja bkt-uria ollaan päivittämässä, mutta ne eivät valmistu tämän hankkeen aikana.

Mallinnuksen pohjaksi valitsimme kolme ylätasoon ilmastoskenaariota, jotka eroavat Pariisin sopimuksen toteutumisen sekä teknologisen kehityksen suhteen. Lähtökohtana tutkimuksessa oletetaan, että Suomi ja EU täyttävät ilmastositoumuksensa kaikissa vaihtoehtoisissa. Lisäksi EU-maissa tapahtuva teknologinen kehitys olisi kaikissa skenaarioissa myös samanlainen. Eroavaisuudet skenaarioiden välillä syntyvät oletuksista EU:n ulkopuolisten maiden hillintäpolitiikasta ja hillinnän kustannuksista.

Ensimmäisessä skenaariossa ilmaston lämpeneminen jäisi vajaaseen kahteen asteeseen (RCP2.6) (lähes) Pariisin sopimuksen mukaisesti. Toisessa ja kolmannessa skenaariossa Pariisin sopimus toteutuisi vain osittain. Näissä kahdessa skenaariossa lämpeneminen olisi vajaat kolme astetta RCP4.5 skenaarion mukaisesti. Oletukset EU:n ulkopuolella tapahtuvan teknologisen kehityksen suhteen kuitenkin poikkeavat toisistaan. Toisessa skenaariossa (RCP4.5-LowTC) oletetaan teknologisen kehityksen olevan vielä heikompaa kuin kolmannessa skenaariossa (RCP4.5-NoTC), mikä lisää hillinnän kustannuksia RCP4.5-NoTC-skenaariossa. Skenaarioiden sisällöt kuvataan tarkemmin alla ja koottuna taulukossa 1.

Ilmastonmuutoksen hillinnän ja sen aiheuttamien vahinkojen talousvaikutukset saadaan vertaamalla ilmastoskenaarioita perusuraan. Kaikilla ilmastoskenaarioilla on yhteinen perusura, jossa ei ole eteenpäin suuntautuvaa ilmastopolitiikkaa eikä ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Perusura määritellään tarkemmin tutkimuksen mallinnusluvussa.

**Ilmastoskenaario RCP2.6-HighTC. Pariisin sopimuksen toteutuminen**

Skenaariossa saavutetaan Pariisin sopimuksen tavoite nopean teknisen kehityksen ja kattavan ilmastopolitiikan avulla. RCP-skenaarioksi valitaan RCP 2.6 (1.5–2 astetta) eikä RCP 1.9 (1–1.5 astetta), koska RCP 2.6 lienee realistisempi. Suomi ja EU toteuttavat Pariisin sopimuksen mukaiset ilmastovelvoitteensa. Muun maailman oletetaan vähentävän päästöjään yhtäläisesti. Teknologinen kehitys on yhtä nopeaa EU:ssa ja muualla maailmassa. Yleisesti ottaen ilmastomuutoksen aiheuttamat taloudelliset vaikutukset jäävät skenaariossa pieniksi.

**Ilmastoskenaario RCP4.5-LowTC. Pariisin sopimuksen osittainen toteutuminen (RCP4.5)**

Skenaariossa ilmastomuutosta pyritään hillitsemään ja hillinnästä aiheutuu kustannuksia, mutta toimet jäävät kuitenkin riittämättömiksi Euroopan ulkopuolella ja ilmasto lämpeenee vajaat kolme astetta (RCP 4.5). Ilmastomuutoksen aiheuttamista vaurioista ja niihin sopeutumisesta aiheutuukin jo kustannuksia. Euroopan ulkopuolisten päästövähennystoimien riittämättömyyttä selittää erityisesti se, että EU:n ulkopuolella teknologiaa on käytettävissä rajoitetummin kuin ensimmäisessä skenaariossa. Suomessa ja EU:ssa tekninen kehitys on yhtä nopeaa kuin ensimmäisessä skenaariossa.

**Ilmastoskenaario RCP4.5-NoTC: RCP4.5 ilman teknologista kehitystä EU:n ulkopuolella**

Skenaariossa EU:n ulkopuolisissa maissa teknistä kehitystä ei tapahdu lainkaan. Hillinnän kustannukset ovat siis vielä korkeammat kuin skenaariossa RCP4.5-LowTC. Suomessa ja EU:ssa tekninen kehitys on yhtä nopeaa kuin ensimmäisessä skenaariossa.

Taulukko 1. Skenaariot

|                                   | Pariisin<br>sopimuksen<br>toteutuminen | Pariisin<br>sopimuksen<br>osittainen<br>toteutuminen |                    |
|-----------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|
| Skenaario                         | RCP2.6-HighTC                          | RCP4.5-LowTC                                         | RCP4.5-NoTC        |
| <u>Ilmastonmuutoksen hillintä</u> |                                        |                                                      |                    |
| Suomi ja EU                       | Ilmastovelvoitteet                     | Ilmastovelvoitteet                                   | Ilmastovelvoitteet |
| Muu maailma                       | RCP2.6 mukainen                        | RCP4.5 mukainen                                      | RCP4.5 mukainen    |
| <u>Päästövähennysteknologia</u>   |                                        |                                                      |                    |
| Suomi ja EU                       | Kehittynyt                             | Kehittynyt                                           | Kehittynyt         |
| Muu maailma                       | Kehittynyt                             | Alempi                                               | Ei ole             |



## 4 Ilmastonmuutoksen talousvaikutusten mallinnus

### 4.1 GTAP-mallin kuvaus

#### 4.1.1 Yleiset piirteet

Mallinnustyön lähtökohtana on globaali kansainvälisen kaupan tarkasteluun kehitetty Global Trade Analysis Project (GTAP) -malli. GTAP-mallin ominaisuudet ja yhtälöt kuvataan julkaisuissa Corong ym. (2017) ja van der Mensbrugge (2018)., GTAP-malli on luonteeltaan laskennallinen yleisen tasapainon malli (YTP-malli). Koska GTAP-malli on kehitetty kuvaamaan kansainvälisen kaupan mekanismeja, on sillä luontevaa tarkastella globaalin päästövähennyksen vaikutuksia ja Suomen kaltaista pientä avotaloutta, jonka elinkeinotoiminta on merkittäväällä tavalla kytkeytynyt globaaleihin markkinoihin. Toisaalta globaalina mallina sitä ei ole erityisesti kehitetty Suomen tarpeisiin ja suomalaisten erityispiirteiden mukaan. Tämä tuo omia haasteita käytetyn datan ja tulosten tulkintaan. Malli soveltuukin parhaiten ilmastopolitiikan vaikutusmekanismien suuntien ja suuruusluokkien tarkasteluun täsmällisten piste-ennusteiden laadinnan sijaan.

GTAP-malli perustuu talouden toimijoiden optimointikäyttäytymiseen ja markkinoiden tasapainottumiseen hintasopeutuksen kautta. Mallissa on edustava kuluttaja, joka maksimoi yksityisestä kulutuksesta, julkisesta kulutuksesta ja säästämisestä saamaansa hyödyn budjettirajoitteen vallitessa. Yritykset puolestaan minimoivat kustannuksiaan annetulla tuotantoteknologilla. Palkka ja pääomakorvaus joustavat siten, että tuotantopanosten ja hyödykkeiden kysynät ja tarjonnat tasapainottuvat. Kotimaiset ja ulkomaiset hyödykkeet ovat epätäydellisiä substituutteja. Tämä pehmentää kilpailukyky muutosten kautta tulevia vaikutuksia. Malli kuvaa reaalitaloutta eikä se sisällä inflaatiota ja rahoitusmarkkinoita. GTAP-mallissa verrataan kahta erilaista tasapainoa (Corong ym., 2017). Siten se kuvaa tarkasteltavan politiikkatoimen tai muun shokin vaikutuksia pitkällä aikavälillä, mutta ei tuota sopeutumisuraa uuteen tasapainoon.

Laskelmissa käytetään GTAP-E-Power-mallia, joka on kehitetty ilmastopolitiikan tarkasteluun. Se sisältää useita päästöttömiä ja päästöjä aiheuttavia sähkön ja lämmön tuotantomuotoja. Hiilidioksidipäästöt on kytketty fossiilisten polttoaineiden käyttöön. Ilmastopolitiikan ohjauskeinona ovat päästömaksut.

## 4.1.2 Energiantuotanto ja käyttö sekä päästöt

Tässä työssä käytetään malliversiota GTAP-E-Power (Peters, 2016a; 2016b). GTAP-E-malli sisältää fossiiliset polttoaineet ja niihin kytkeytyvät päästöt (Burniaux & Truong, 2002). Power-versiossa GTAP-E-mallin energiasektorikuvausta on täydennetty rikkaammalla sähköntuotantokuvauksella (kuvio 4 oikea taulu).

Päästöjen osalta GTAP-E-Power malli kattaa fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt sähkön ja lämmön tuotannossa, prosessiteollisuudessa, liikenteessä ja kotitalouksissa. Malli ei sen sijaan sisällä muiden kasvihuonekaasujen päästöjä eikä maankäyttösektorin päästöjä.

Päästöt on kytketty polttoaineiden käyttöön polttoainekohtaisia päästökertoimia käyttäen. Polttoainekäytön kytkeminen fossiilisten polttoaineiden käytöstä kasvihuonekaasupäästöihin mahdollistaa ilmastopolitiikan keskeisten vaikutuskanavien tutkimisen fossiilisten polttoaineiden osalta.

GTAP-E-Power-mallilaajennus mahdollistaa tarkastelut päästöttömään sähkön ja lämmön tuotantoon siirtymisestä, koska se sisältää useita sähkön ja lämmön tuotantomuotoja. Tuotantojen määrät tuotantomuodoittain määräytyvät niiden suhteellisten hintojen ja substituutiojoustojen perusteella. Päästömaksut nostavat päästöjä aiheuttavien tuotantomuotojen kustannuksia. Tuotantomuotojen valintaan vaikuttavat myös eksogeeniset tuottavuusparametrit. Sähköntuotanto on jaettu perusvoimaan ja huippuvoimaan kuvion GTAP.1 mukaisesti. Päästöttömiä perusvoimaa tuottavia tuotantomuotoja ovat ydinvoima, vesivoima, tuulivoima, aurinkovoima sekä biomassaan perustuva muu tuotanto. Päästöjä puolestaan aiheuttavat hiili-, kaasu- ja öljyvoimalat. Huippuvoiman osalta päästöttömiä tuotantomuotoja ovat aurinkoenergia ja vesivoima ja päästöjä aiheuttavia kaasuturbiinit. Sähkön ja lämmön tuotantomuotojen tuotantoteknologia on mallinnettu samoin kuin muidenkin tuotantosektorien (ks. alla).

Koska GTAP-E-Power on globaali malli, sen kaikki yksityiskohtia ei ole laadittu Suomen erityispiirteiden mukaisesti. Suomen kannalta keskeisiä puuttuvia yksityiskohtia ovat lämmön ja sähkön yhteistuotanto (CHP) ja turve erillisenä polttoaineena. GTAP-lähtöaineiston perusteella on tulkittavissa, että lämmön ja sähkön yhteistuotanto on aineistossa kuvattu keskeisiltä osin sähkösektorin perusvoiman tuotannon kautta. Perusvoiman polttoainekäytön väheneminen voidaan nähdä siis osaltaan siirtymisenä kaukolämmöntuotannossa sähköön perustuviin lämmitysjärjestelmiin kuten lämpöpumppuihin. Lämmöntuotannon uusia teknologioita, kuten lämpöpumppuja, ei ole mallissa kuvattu, joten niiden kuvaaminen tapahtuu energiantuotannon pääomavaltaistumisen kautta. Turve on GTAP-E-Power-mallissa puolestaan aggregoitu kivihiihen yhteyteen. Mallilla ei siis voida tarkastella näihin polttoaineisiin liittyviä erillisiä politiikkatoimia.

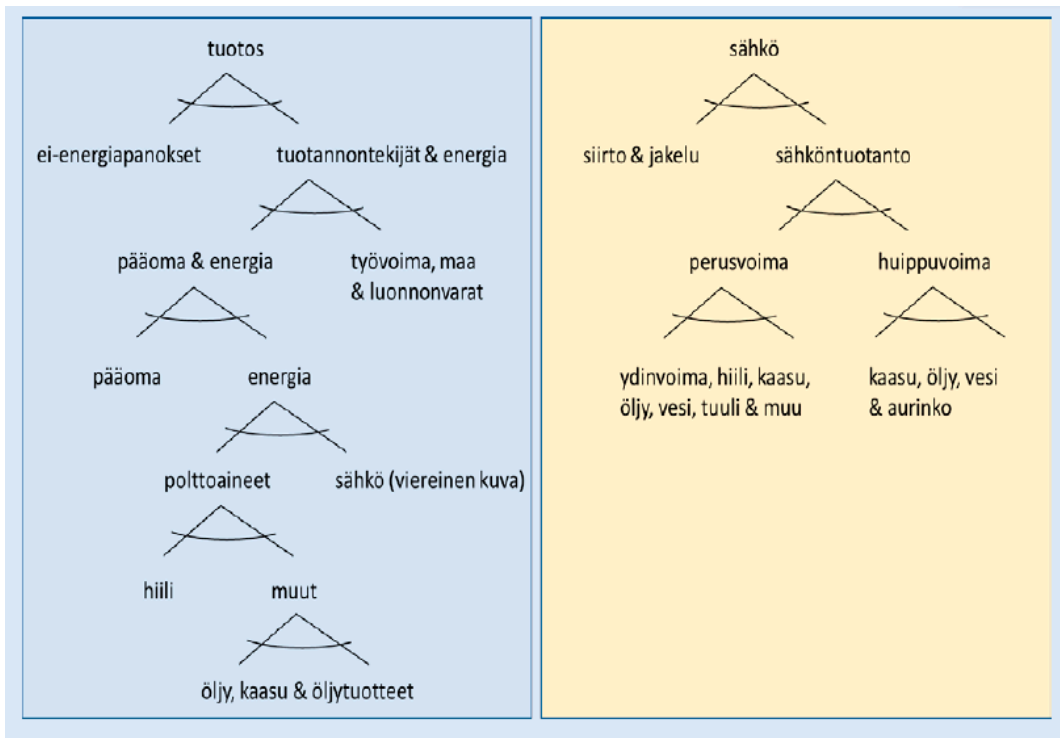
Liikenteen osalta päästöt on kytketty öljytuotteiden käyttöön. Fossiilisten polttoaineiden käyttöä voidaan korvata sähköllä, mikä tavoittaa osittain siirtymän sähköautojen käyttöön.

### 4.1.3 Tuotantoteknologia

Mallissa tuotantoteknologiat kuvataan kaikilla alueilla samanlaisella joustavalla sisäkäisten CES-tuotantofunktioiden kokoelmalla (kuvio 4 vasen taulu), mutta funktioiden parametriarvot ovat sektori- ja aluekohtaisia. CES-tuotantofunktioissa panoksia voidaan yhdistää eri tavoin panoshintojen suhteellisten hintojen muuttuessa. Panoskäyttöä voidaan sopeuttaa hintamuutoksiin sitä enemmän, mitä suurempi ns. substituutiojousto panosten välillä on. Substituutiojoustoilla onkin merkittävä vaikutus laskelmien tuloksiin ja ilmastopolitiikan vaikutusten suuruuteen. Tässä työssä lähtökohtana ovat GTAP-E-Power-tietokannan substituutiojoustojen arvot (Peters, 2016a; Peters & Hertel, 2017), jotka perustuvat estimointeihin ja näkemyksiin substituutiomahdollisuuksista tulevaisuudessa. Eräitä joustojen arvoja muutettiin teknologiamurroksen kuvaamiseksi laatikossa L4 'Hillintäskenaarioiden toteutus' olevan taulukon 3 mukaisesti.

Sisäkäisiin tuotantofunktioihin perustuva mallirakenne mahdollistaa hyvinkin erilaisen tuotantoteknologioiden kuvaamisen parametrien arvoja muuttamalla. Esimerkiksi liikenteen energiakäyttö perustuu GTAP-tietokannan lähtöaineistossa valtaosin fossiiliseen polttoaineeseen. Tietokannan mukainen alhainen substituutiojousto fossiilisten polttoaineiden ja sähkön välillä vastaa hyvin vuoden 2014 tilannetta. Vuoden 2014 teknologialla liikenteen sähköistyminen vaatisi huomattavaa fossiilisten polttoaineiden (päästömaksullisen) hinnan nousua sähkön hintaan verrattuna. Substituutiojouston korkeampi arvo hillintäskenaarioissa mahdollistaa liikenteen ja kuljetusten järjestämisen niin, että sähkön rooli on merkittävämpi. Korkeampi substituutiojousto kuvaa siis tulevaisuuden teknologioita, joissa sähkö on fossiilisiin polttoaineisiin nähden tasavertaisempi energianlähde liikenne-sektorilla. Teknisen kehityksen mallinnus on kuvattu Skenaarioiden yhteydessä jaksossa (4.2.3) ja laatikossa L4 'Hillintäskenaarioiden toteutus'.

**Kuvio 4.** GTAP-E-Power-mallin tuotantoteknologian yleinen rakenne (vasen taulu) ja sähkötuotannon rakenne (oikea taulu). Iso "A"-symboli kuvaa alla olevien panosten aggregointia CES-tuotantofunktiolla.



#### 4.1.4 Yksityinen ja julkinen kulutus sekä säästäminen

Kunkin alueen edustava kuluttaja maksimoi yksityisestä kulutuksesta, julkisesta kulutuksesta ja säästämisestä saamansa hyödyn budjettirajoitteen vallitessa. Optimointi näiden komponenttien välillä on kuvattu Cobb-Douglas-funktiota käyttäen. Hertel (2012) esittää perusteluja mallinnustavalle, joka on YTP-malleilla epätyypillinen. Usein YTP-malleissa hyvinvointivaikutus perustuu yksityisen kulutuksen muutokseen, kun taas reaaliset julkiset menot ja mahdollisesti myös investoinnit on kiinnitetty. GTAP-malliin on kuitenkin haluttu sisällyttää kattavammat sopeutumismekanismit ja hyvinvointivaikutukset, koska yksityisen kulutuksen osuus globaalista BKT:sta on vain noin 60 %. Säästämisen sisällyttäminen hyötyfunktioon perustuu siihen, että se on approksimaatio tulevan kulutuksen hyödystä. Cobb-Douglas-funktion valinta perustuu siihen, että se on erityistapaus Stone-Geary hyötyfunktioista, kun välttämättömyyskulutukset on asetettu nollassa. Julkisten menojen

sisällyttäminen hyötyfunktioon pohjautuu Kellerin (1980) tutkimukseen<sup>15</sup>. GTAP:issa olisi myös mahdollista kiinnittää julkisen kulutuksen taso, jolloin vain yksityinen kulutus sopeutuu käytettävissä olevien tulojen muutokseen. Julkisen talouden näkökulman kannalta on kuitenkin perusteltua käyttää julkisten menojen hyötyfunktiota, mikä mahdollistaa johdonmukaisen sopeutumisen mallintamisen yksityisen ja julkisen kulutuksen välillä.

Edustavan kuluttajan tulot koostuvat tuotannontekijätuloista (pääoman kulumisella vähennettynä) ja verotuotoista. Merkittävimmät verotuotot koostuvat yrityksiltä ja kotitalouksilta kerätyistä välillisistä veroista, tuotannontekijätulojen välittömistä veroista ja panoskäyttöihin kohdistuvista veroista.

Yksityinen kulutuksen sisällä eri hyödykkeiden kulutus päätös on mallinnettu CDE (constant difference of elasticities)-kysyntäjärjestelmän avulla (Chen & Henry, 2017). CDE-kysyntäjärjestelmä on valittu, koska se mahdollistaa kysyntöihin enemmän joustavuutta kuin CES ja LES (linear expenditure system) funktiot, koska parametrejä on kaksi kertaa enemmän kuin hyödykkeitä (Corong, 2017). Puolet parametreista määrittää hintajoustavuutta ja puolet joustoa tulojen suhteen. Kunkin hyödykkeen kulutus jakautuu kotimaiseen ja tuontihyödykkeeseen. Julkisen kulutuksen jakautuminen eri hyödykkeisiin on mallinnettu CES-funktioiden avulla, jossa hyödykkeiden kulutusosuudet riippuvat suhteellisista hinnoista ja substituutiojoustojen arvoista.

#### 4.1.5 Investoinnit ja pääoman kumuloituminen

Alueelliset säästämiset määräytyvät edellä kuvatusta optimointiongelmasta. Nimellinen säästäminen on tulojen ja kulutuksen erotus. Alueelliset säästöt lasketaan yhteen globaalisti säästämiseksi, joka edelleen jaetaan takaisin alueille määräten siten alueelliset investoinnit. Globaalin säästämisen allokoinniksi on mallissa spesifioitu erilaisia vaihtoehtoja. Tässä tutkimuksessa esitetyissä laskelmissa globaalin säästämisen allokointi alueelliseksi investoinniksi reagoi muutoksiin pääoman odotetuissa tuottoasteissa (Corong ym., 2017). Mallissa pääoman lisäys alentaa odotettua pääoman tuottoastetta (van der Mensbrugge, 2018). Investoinnit allokoituvat alueille niin, että odotetut pääoman tuottoasteet ovat yhtenevät kaikilla alueilla. Mallissa voitaisiin myös vaihtoehtoisesti olettaa, että alueellinen allokointi pysyy lähtökohtaisesti samana kuin lähtötilanteessa, joskin sitä voi eksogeenisesti muuttaa. Investointien jakautuminen eri hyödykkeisiin on mallinnettu CES-funktion

<sup>15</sup> Keller (1980) osoittaa, että julkiselle kulutukselle voidaan johtaa hyötyfunktio, jos preferenssit julkisten hyödykkeiden kulutukselle voidaan erottaa yksityisen kulutuksen preferensseistä ja jos julkisten hyödykkeiden hyötyfunktio on samanlainen kaikille kotitalouksille alueellisessa taloudessa.

avulla, jossa niiden osuudet riippuvat suhteellisista hinnoista ja substituutiojoustojen arvoista. Alueelliset pääomakannat kumuloituvat investointien ja pääoman kulumisen mukaisesti.

#### 4.1.6 Ulkomaankauppa

Ulkomaankaupan kuvauksessa on käytetty ns. Armington-oletusta, jonka mukaan kotimaiset ja ulkomaiset hyödykkeet eroavat toisistaan, joten niitä voi vain osin korvata toisillaan (Armington, 1969). Tästä seuraa, että hyödykkeen hintatasot ja niiden muutokset poikkeavat alueittain. Armington-oletus on yleisesti käytössä YTP-malleissa. Korvattavuus on kuvattu kaksitasoisella rakenteella, jossa suhteellinen hinta ja jouston arvo määrittävät ensin kotimaisen ja ulkomaisen hyödykkeen osuudet. Korvattavuutta kuvaava jousto on 2–4 useimmille hyödykkeille. Tämä tarkoittaa, että jos kotimaan hyödykkeen hinta nousee prosentin suhteessa ulkomaan hintaan, kasvaa ulkomaan tuotteen käyttö 2–4 prosenttia suhteessa kotimaan tuotteen käyttöön. Ulkomainen hyödyke puolestaan koostuu eri maissa/maaryhmissä tuotetuista hyödykkeistä korvattavuutta kuvaavan jouston ollessa pääosin 4–8. Fossiilisille polttoaineille korvattavuus on suurempi molemmilla tasoilla. Mitä pienempi jouston arvo, sitä enemmän kotimaan ja ulkomaan tuotteiden hinnat voivat tasapainossa poiketa toisistaan. Joustojen arvot perustuvat GTAP-tietokantaan.

#### 4.1.7 Työllisyys

Mallissa oletetaan, että työmarkkinat ovat täysin joustavat siten, että palkka sopeutuu tasapainottaen työn tarjonnan ja kysynnän kullekin mallin viidelle työvoimaluokalle. Taloudessa ei siten ole tahatonta työttömyyttä. Työllisten määrä joustaa kuitenkin vapaaehtoisesta työttömyyden seurauksena, kun työlliset sopeuttavat tarjoamansa työn määrää reaali-palkan muuttuessa. Kokonaistyöllisyysvaikutusten kannalta keskeinen oletus liittyy työn tarjonnan joustoon reaali-palkan suhteen. Jouston arvoksi on kaikissa skenaarioissa asetettu 0,3, eli yhden prosentin nousu reaali-palkassa lisää työn tarjontaa 0,3 prosenttia kullekin työvoimaluokalle. Mitä korkeampi jouston arvo on, sitä suurempia ovat mallilaskelmien kokonaistyöllisyysvaikutukset. Toisaalta, jos jousto olisi nolla, kuten GTAP-mallin lähtöaineistossa on, kokonaistyöllisyys ei muuttuisi lainkaan reaali-palkkojen muuttuessa. Peruslaskelmassa käytetty jouston arvo on linjassa empiiristen arvioiden (Jäntti ym., 2015; Kotamäki, 2016; Harju ym., 2018) ja aiempien yleisen tasapainon tarkastelujen kanssa (esim. Tamminen ym., 2019). Joustavalla työn tarjonnalla pystytään karkealla tavalla kuvaamaan työn tarjonnan reaktioita reaali-palkan muutoksiin.

### 4.1.8 Aineisto ja sektori- ja aluejako sekä käytetty ohjelmisto

GTAP-malli ja sen lähtöaineiston tietokanta kattavat laajimmillaan 65 talouden sektoria ja 121 maata (GTAP Data Bases: GTAP 10 Data Base (purdue.edu)). Tässä työssä tehtyjen tarkastelujen kannalta tällainen jako on tarpeettoman yksityiskohtainen. Sen sijaan tarkastelussa käytettiin aggregoitua aineistoa, jossa on 31 talouden sektoria ja seitsemän maantieteellistä aluetta. Sektoreista 16 kuvaa energiantuotantojärjestelmää. Lisäksi energiantensiiviset teollisuustoimialat käsitellään erillisinä. Muut teollisuustoimialat ja palvelusektorit on kuvattu laajempina aggregaateina. Alueellisessa jaossa Suomi käsitellään erillään muusta EU:sta. Lisäksi jako kattaa laajemmat maantieteelliset alueet: Venäjä & Itä-Eurooppa, Aasia, Pohjois-Amerikka, Latinalainen Amerikka ja Afrikka ja Lähi-itä.

Laskelmissa käytetään GAMS-ohjelmistolle koodattua versiota (van der Mensbrugghe, 2018), johon on lisätty energiapanokset ja sähkön ja lämmön tuotanto Peters (2016b) mukaisesti.

## 4.2 Ilmastonmuutoksen hillintä

Alla esitetään GTAP-mallin tulokset ilmastonmuutoksen hillinnän kansantalousvaikutuksista ja keskustellaan tuloksiin vaikuttavista keskeisistä oletuksista ja mallin ominaisuuksista sekä vaikutuskanavista.

### 4.2.1 Keskeisiä oletuksia ja mallin ominaisuuksia

Taloudellisessa mallintamisessa joudutaan tekemään monia oletuksia. Myös mallin rakenne vaikuttaa tuloksiin. Seuraavassa arvioidaan GTAP-mallin oletuksia ja ominaisuuksia, jotka ovat yleisen tasapainon malleissa varsin tyypillisiä.

- Perusrakenteessa (ks. 4.2.3) tuotantoteknologia, ilmastopolitiikka ja ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat lähtöaineiston eli vuoden 2014 tasolla vastaten yleisesti käytössä olevaa 'no policy change' -lähestymistapaa
- Ilmastonmuutoksen hillinnän ohjauskeinona ovat päästömaksut.
- Sähköistyminen on mallinnettu eksogeenisten substituoitujen ja tuottavuusparametrien korotusten avulla.
- Energiantuotanto ja -käyttö tuotantosektoreilla mallinnetaan aggregoivaa CES-rakennetta käyttäen, kotitalouksien energian käyttö on puolestaan osa CDE-kysyntäjärjestelmää eikä sisällä päästötöntä liikennettä tai lämmitysteknologioita.
- Työvoima ja pääoma liikkuvat vapaasti sektorien välillä, ja niiden hinnat ovat samat kaikilla sektoreilla.
- Ulkomaankaupassa on voimassa Armington-oletus.
- Globaali säästäminen allokoituu alueellisiin investointeihin pääoman tuottoasteen mukaan.

**Perusura** ei (eksplisiittisesti) sisällä päästömaksuja tai muita ilmastopolitiikan ohjauskeinoja eikä ilmastomuutoksen vaikutuksia talouteen. Mallin aineiston vuotta 2014 kuvaama talouden tila on kuitenkin syntynyt talouden toimijoiden päätöksistä, joihin on osaltaan vaikuttanut siihenastinen ilmastopolitiikka. Perusuralla vallitsee siis vuoden 2014 ilmastopolitiikan taso. Tämä vastaa talouspolitiikan mallinnuksessa yleisesti käytössä olevaa ns. muuttumattoman politiikan lähestymistapaa. Lähtöaineisto sisältää välilliset verot, joissa ovat mukana polttoaineiden valmisteverot ja sähköverot. Perusuran päästöt nousevat huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi ilmasto- ja energiastrategian WEM-urassa (viite), joka sisältää voimassa olevat ilmastopolitiikan toimet ja jonkin verran teknistä kehitystä.

Ilmastomuutoksen hillinnän ohjauskeinona ovat **päästömaksut**. Päästömaksujen tasot määräytyvät mallin tuloksena siten, että niiden ja teknisen kehityksen seurauksena saavutetaan ilmastotavoitteet toteuttava päästövähennys. Päästömaksut on asetettu liikenteessä ja kotitalouksissa korkeammaksi kuin sähkön ja lämmön tuotannossa ja teollisuusprosesseissa, jotta päästöjä saadaan vähennettyä kaikilla sektoreilla.<sup>16</sup> Päästömaksutuotot nostavat könttäsumatulonsiirtona alueellisia tuloja, jotka allokoitetaan alueittain yksityiseen kulutukseen, julkiseen kulutukseen ja säästämiseen.

**Teollisuuden sähköistymisen** vaatima tekninen kehitys ja teknologioiden käyttöönotto on kuvattu eksogeenisten substituutioparametrien ja tuottavuusparametrien korotusten avulla, koska malli ei sisällä sähköistymiseen liittyviä teknologioita. Substituutio kuvaa päästöjä aiheuttavien tuotantomuotojen korvaamista päästöttömillä, kun taas tuottavuusparametrien avulla kuvataan energiatehokkuuden paranemista ja päästöttömän energian kustannusten alenemista. Sähköistymisen toteuttaminen ja sen tulkinta suhteessa todellisiin teknologioihin kuvataan luvussa 3.2.3 (Hillintä-skenaariot). Koska investointeja ei mallinnetta teknologiatasolla, teknologian kehitys ei riipu mallin tuloksena saatavasta kokonaisinvestointien muutoksesta. Sähköistyminen syrjäyttää muita investointeja vain siltä osin, kuin päästöttömät tuotantomuodot ovat aiempaa pääomaintensiivisempiä. Merkittävä osa teknologisen siirtymän vaatimista investoinneista tapahtuu juuri siirtymävaiheessa, joten niiden ei kuulukaan näkyä pitkän aikavälin tarkastelussa muuten kuin mahdollisesti kohonneena pääoman tarpeena ja siten pääomakustannuksina.

---

<sup>16</sup> Liikenteen osalta sähköistymistä ei ole mallinnettu teknologiakohtaisesti, vaan sähköistyminen kuvataan pääomavaltuutuksen kautta, mikä laskelmissa nostaa hillintäkustannuksia. Kotitalouksien kulutuksen osalta mallissa ei ole hillintäteknologioita, joten päästöjen vähentäminen on kallista. Tämä on syytä huomioida tulkittaessa tuloksia kotitalouksien osalta.



Substituutiomahdollisuuksien lisääminen helpottaa siirtymää päästöttömään energiaan, kun päästömaksut nostavat fossiilisia polttoaineita käyttävän tuotannon kustannuksia. Mitä korkeammat substituutiojoustojen arvot ovat, sitä alhaisempi päästömaksu tarvitaan tietyn päästövähennyksen saavuttamiseen ja sitä vähäisemmäksi bkt:n alenema jää (ceteris paribus). Tuottavuuden paraneminen alentaa puolestaan suoraan tuotantokustannuksia ja kasvattaa bruttokansantuotetta (ceteris paribus). Lisääntyneet substituutiomahdollisuudet hillitsevät päästöhinnan sähkön hintaa nostavaa vaikutusta ja korkeampi tuottavuus laskee sähkön hintaa. Tämä vastaa todellista kehitystä uusiutuvan energian tuotantokustannusten alentuessa.

**Energiantuotanto ja energian käyttö tuotantosektoreilla kuvataan monitasoisen CES-tuotantofunktion avulla.** CES-funktiolla kuvataan yksittäisistä tuotantoteknologioista muodostuvan kokonaisuuden aggregoitua tuotantoteknologiaa. CES-tuotantofunktion käytöstä seuraa, että sähkön tuotantoa ei laskelmissa saada täysin päästöttömäksi, koska päästöjä aiheuttavat panokset ovat osin komplementteja puhtaan tuotannon kanssa. Esimerkiksi kaikkia teollisuuden lämpöä vaatimia prosesseja ei voida sähköistää, vaan prosessit tarvitsevat myös hieman polttoon perustuvaa energiaa. Tämän vuoksi esimerkiksi täydellistä kivihiihikieltoa ei pystytä mallintamaan.

**Kotitalouksien kulutusjärjestelmässä** on kulutettavina hyödykkeinä päästöjä aiheuttavia panoksia, jotka voidaan tulkita esimerkiksi liikenteen energiakäytöksi ja lämmitysenergiaksi. Päästömaksun seurauksena näitä hyödykkeitä korvataan muilla hyödykkeillä. Kuluttaja ei voi kuitenkaan tehdä valintaa päästöttömien ja päästöjä aiheuttavien liikenne- tai lämmitystapojen välillä, eikä malli sisällä näihin liittyviä teknologiakuvauksia. Kulutusjärjestelmän rajoitteiden vuoksi hintasuhteiden muutokset eivät aiheuta kotitalouksien kulutuskorissa merkittäviä muutoksia. Tämä aiheuttaa malliin epärealistista jäykkyyttä, eivätkä kotitalouksien päästöt laskelmissa merkittävästi vähentyneet.

Energian korvaaminen pääomalla on luontevinta tulkita siirtymänä energiatehokkaampiin tuotantomuotoihin ja energian säästämisinvestointeina. Näillä toimilla on tärkeä merkitys siirtymässä vähäpäästöisempään talouteen. Sen sijaan pääoma-energia-komposition korvaaminen työvoimalla on vaikeampi tulkita esimerkiksi energiaintensiivisessä teollisuudessa. Huomattavan suurien substituutiomahdollisuuksien takia tuotantokustannusten nousu saattaa jäädä todellista pienemmäksi.

**Työvoiman ja pääoman vapaa liikkuvuus** sektorien välillä on tyypillinen ominaisuus pitkän aikavälin tarkasteluissa, joissa tuotantopanokset ovat allokoituneet kustannustehokkaasti siten, että niiden rajatuottavuus on kaikilla sektoreilla sama. Panosten hinnat joustavat tasapainottaen niiden tarjonnan ja kysynnän. Panosten vapaa liikkuvuus mahdollistaa huomattavat muutokset tuotanto- ja kulutusrakenteessa. Panosten

sopeutumismahdollisuuksien seurauksena sokkien vaikutus bruttokansantuotteeseen jää selvästi pienemmäksi kuin lyhyemmän aikavälin mallitarkasteluissa, jotka sisältävät työmarkkinakitkojen aiheuttaman työttömyyden tai sektorispesifin pääoman.

**Armington-oletus**, jonka mukaan kotimaiset ja ulkomaiset hyödykkeet eivät ole täysin vastaavanlaisia, on yleisesti käytössä YTP-malleissa ulkomaankaupan kuvauksessa. Armington-oletus lieventää hintakilpailukyky muutosten vaikutusta ulkomaankauppaan ja estää täydellisen erikoistumisen. Jos Armington-joustot ovat alhaiset, eri alueiden hyödykkeet ovat erilaisia ja hyödykkeen hinnat voivat eri alueilla poiketa huomattavasti toisistaan. Tällöin päästömaksuja pystytään siirtämään vientihintoihin. Jos taas joustot ovat korkeat, eri alueiden hyödykkeet ovat hyvin samanlaisia, jolloin muiden panoshintojen on joustettava alaspäin, jotta päästöjä aiheuttavan tuotannon kilpailukyky säilyisi. Tällöin vaikutukset vientiin ja tuontiin ovat suuremmat kuin alhaisten joustojen tapauksessa. Armington-oletuksesta seuraa, että ilmastopolitiikan kustannuksia pystytään siirtämään muiden alueiden maksettavaksi. Armington-oletuksella ja joustojen arvoilla on merkitystä erityisesti laskelmissa, joissa ilmastopolitiikan taso eroaa maittain.

GTAP-mallissa alueelliset säästämiset kerätään yhteen **globaaliksi säästämiseksi, joka allokoidaan alueellisten investointien rahoittamiseen pääoman tuottoasteen mukaan**. Tämä voi vaikuttaa merkittävästi investointien määrään. Investointihyödykkeiden tuottaminen nostaa tuotantopanosten kysyntään ja niiden hintaan, millä puolestaan voi olla haitallinen vaikutus vientituotteiden kilpailukykyyn.

## 4.2.2 Vaikutusmekanismit

Aluksi esitellään GTAP-mallin keskeiset mekanismit päästöjen vähentämiseksi. Mallissa päästöjä syntyy polttoaineiden käytöstä. Päästövähennykset saavutetaan siis näiden panosten käyttöä vähentämällä. Mallin ominaisuuksiin perustuvia päästövähennyskeinoja ovat:

1. Siirtyminen vähäpäästöisempiin polttoaineisiin
2. Siirtyminen päästöttömiin sähköntuotantomuotoihin
3. Polttoaineiden korvaaminen sähköllä
4. Energian käytön korvaaminen pääomalla (energiatehokkuus ja energian säästäminen)
5. Pääoman ja energian korvaaminen työvoimalla ja muilla tuotannontekijöillä sekä ei-energiapanoksilla (välituotteilla)
6. Tuotanto- ja kulutusrakenteen muuttaminen
7. Kokonaistuotoksen alentaminen

Nämä päästövähennyskeinot toteutuvat, kun suhteelliset hinnat muuttuvat päästömaksujen seurauksena. Lisäksi polttoaineiden käyttö vähenee energiatehokkuuden myötä eli eksogeenisesti tuottavuusparametrien arvojen noston myötä energiantuotannossa, energiantensiivisessä teollisuudessa ja kuljetussektorilla. Vähäpäästöisempiin polttoaineisiin siirtyminen tarkoittaa energiantuotannossa kivihiilen ja turpeen käytön vähentämistä ja niiden korvaamista maakaasulla. Maakaasun suhteellinen osuus fossiilisten polttoaineiden käytöstä siis kasvaa, vaikka myös sen käyttö alenee selvästi. Mallissa päästöttömiä tuotantomuotoja ovat ydin-, vesi-, tuuli- ja aurinkovoima sekä muu perusvoima, joka käytännössä tarkoittaa biomassaa. Kotimaisen vesivoiman käyttöä ei voida lisätä, mutta ydinvoiman lisääminen on mallissa mahdollista.

Polttoaineiden korvaaminen sähköllä on keskeinen mekanismi lämmöntuotannossa mutta myös teollisissa prosesseissa. Prosessien sähköistäminen alentaa päästöjä sillä edellytyksellä, että sähköntuotanto on riittävän vähäpäästöistä. Koska ilmastopolitiikka ohjaa vähäpäästöiseen sähköntuotantoon ja hillitsee päästöjä aiheuttavaa polttoainekäyttöä, sähköistäminen yleistyy ilmastokestävästi. Sähköistämisen myötä teollisten tuotantoprosessien kansainvälistä kilpailukykyä on mahdollista ylläpitää myös tiukan ilmastopolitiikan vallitessa, kun polttoainekäyttöön liittyvät päästömaksut eivät ole enää rasitteena. Kilpailuvyyn säilymisen edellytyksenä on se, ettei (päästöttömän) sähkön hinta ole liian korkea. Sähkön hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan tasapainon perusteella. Päästömaksu nostaa sähkön päästöllisen tuotannon kustannuksia, mutta korkea substituutiojousto mahdollistaa puhtaiden teknologioiden käyttöönoton ja niissä oletettu tehostuminen puolestaan alentaa niiden tuotantokustannuksia.

Energian käyttöä voidaan mallissa korvata myös pääomalla. Tämä on luontevinta tulkita siirtymänä energiatehokkaampiin tuotantomuotoihin ja energian säästämisinvestointeina. Näillä toimilla on tärkeä merkitys siirtymässä vähäpäästöisempään talouteen. Pääomaa ja energiaa voidaan mallissa korvata työvoimalla ja tietyillä sektoreilla luonnonvaroilla ja maapanoksella. Tuotannontekijämuutosten lisäksi tuotantoprosessissa voidaan muuttaa välituotekäyttöä, eli korvata energiaa ja tuotannontekijöitä panoksilla, jotka eivät liity energiaan.

Laskelmien tuloksia ajavat useat vaikutusmekanismit, joita kuvataan seuraavaksi.

**Päästömaksu** nostaa fossiilisten polttoaineiden hintoja niiden hiilidioksidipitoisuuden mukaisesti. Sähkön ja lämmön tuotannossa tapahtuu siirtymää vähäpäästöisempiin polttoaineisiin ja päästöttömiin tuotantomuotoihin. Siirtymän mittakaava riippuu päästömaksujen suuruudesta ja substituutiojoustojen arvoista. Siirtymää rajoittaa se, että sähkön ja lämmön tuotanto on mallinnettu monitasoista CES-funktiota käyttäen. Funktiomuodosta aiheutuu, että kun tuotanto lähenee nolaa, pienikin muutos panoskäytössä vaatii huomattavan nousun päästömaksussa. Päästömaksulla on sähkön ja lämmön hintaa nostava

vaikutus, koska päästömaksut nostavat tuotantokustannuksia fossiilisiin polttoaineisiin edelleen perustuvassa tuotannossa ja siirtymä tapahtuu lähtökohtaisesti kalliimpiin tuotantomuotoihin. Siirtymän suuruuteen vaikuttavat myös oletukset sähkön tuotantoon ja käyttöön liittyvien tuottavuusparametrien arvoista.

Koska panosten korvaamismahdollisuudet ovat rajoitetut, päästöintensiivisten hyödykkeiden hinnat nousevat. Tuotantosektoreilla ja kulutuksessa tapahtuukin siirtymää työ- ja pääomaintensiivisiin hyödykkeisiin, ja talous palveluvaltaistuu. Päästömaksu alentaa reaalisia tuloja, ja siten kokonaiskysynnän taso alenee.

Tuotantorakennetta koskevat vaikutukset riippuvat lisäksi muiden maiden ilmastopolitiikasta. Jos koko maailma alentaa päästöjä yhtä paljon, kilpailukykyvaikutuksen merkitys jää vähäisemmäksi. Kilpailukyky muuttuu kuitenkin jossain määrin sillä, vaikka päästövähennys olisi sama eri alueilla, päästömaksujen taso vaihtelee. Lisäksi saman päästömaksun talousvaikutukset eroavat alueittain. Jos taas yksittäisellä maalla on muita tiukempi ilmastopolitiikka, sen energiantensiivinen teollisuus kärsii. Muu vientiin suuntautunut teollisuus voi puolestaan jopa hyötyä ilmastopolitiikasta, kun palkat ja pääomapanoksen hinta joustavat alaspäin kilpailukykyä parantaen ja muiden maiden kokonaiskysynnän taso alenee vähemmän tai ei ollenkaan. Vastaavasti löysemmän ilmastopolitiikan maiden energiantensiivinen teollisuus hyötyy.

Sähkön ja lämmön tuotannossa ja käytössä tapahtuu toisaalta **teknistä kehitystä**, jonka vaikutukset ovat monelta osin päinvastaiset kuin edellä. Jos sähkön hinta alenee päästötömään tuotantoon siirryttäessä, energiantensiivisen teollisuuden tuotantokustannukset pienenevät. Teknisellä kehityksellä voi siten olla päinvastainen vaikutus teollisuuden rakenteeseen kuin päästömaksulla.

Fossiilisten polttoaineiden käytön lähes loppuessa talous heikkenee merkittävästi alueilla, joiden talous on pitkälti perustunut polttoaineiden vientiin. Tuotantopanosten kysynnän merkittävä heikkeneminen alentaa näiden panosten hintaa. Tämä puolestaan parantaa selvästi näiden alueiden kilpailukykyä muissa vientituotteissa heikentäen vastaavasti esimerkiksi Suomen vientimahdollisuuksia.

Globaalin säästämisen allokointi alueellisten pääoman tuottoasteiden mukaan vaikuttaa merkittävästi investointihyödykkeen kysyntään ja siten tuotantopanosten kysyntään ja niiden hintaan. Tällä on päinvastainen vaikutus kilpailukykyyn ulkomaan kaupassa.

Edellä mainitut mekanismit vaikuttavat eri suuntiin, ja niiden suhteelliset merkitykset vaihtelevat alueittain ja laskelmittain. Tulokset syntyvät näiden mekanismien yhteisvaikutuksena.

## 4.2.3 Skenaarioiden kuvaus

### 4.2.3.1 Perusura

Perusura on luotu asettaen bkt:n kasvut alueittain OECD:n pitkän aikavälin ennusteen mukaisiksi. Mallin ratkaisuna saadaan työn tuottavuudet siten, että annetut bkt-kasvut toteutuvat. Kalibrointi työn tuottavuuksia käyttäen on luonteva valinta, sillä ne ovat taloustieteellisessä kirjallisuudessa keskeinen kasvun ajuri. Pääomakanta kehittyy investointien ja pääoman kulumisen mukaisesti.

Globaalin tason perusura on tehty karkeasti. Se kuvaa lähinnä Aasian ja myös Latinalaisen Amerikan ja Lähi-idän ja Afrikan talouksien osuuden kasvua globaalissa taloudessa. Suomen talouden osalta talouden rakenne pysyy perusuralla lähes samana kuin lähtövuonna, joten perusura ei kuvaa todellisuudessa käynnissä olevaa talouden palveluvaltaistumista.

### 4.2.3.2 Hillintäskenaariot

Suomi ja EU vähentävät päästöjä kaikissa tarkastelluissa hillintäskenaarioissa saman verran eli noin 80 % perusuraan verrattuna. Lähtökohtana on, että Suomi ja EU saavuttavat päästövähennyssitoutumuksensa kaikissa skenaarioissa. Päästötasot jäävät pitkän aikavälin ilmastotavoitteita korkeammalle tasolle, mutta toisaalta myös perusuralla päästöt ovat melko korkeat. Ilmastovelvoitteisiin pääsemistä tarkastellaan vain fossiilisten polttoaineiden vähentämisen osalta, koska malli ei sisällä muita KHK-päästöjä eikä LULUCF-sektorin päästöjä.

RCP2.6-skenaariossa myös EU:n ulkopuolella päästöjä vähennetään noin 80 %, jotta RCP2.6 vastaava päästövähennys saavutettaisiin. Sen sijaan RCP4.5-skenaarioissa globaali päästövähennys on noin 40 %. Päästövähennykset pohjautuvat IIASA:n ylläpitämästä RCP-tietokannasta laskettuihin fossiilisten polttoaineiden päästövähennyksiin verrattuna RCP6.0- ja RCP8.5-uriiin vuoden 2050 tienoilla. Päästövähennykset saavutetaan laskelmissa päästömaksun ja teknologisen kehityksen avulla. Kuljetuksiin ja kotitalouksiin on kohdistettu selvästi korkeampi päästömaksu kuin sähkön ja lämmön tuotantoon, jotta niiden päästöjä saataisiin vähennettyä.

Suomessa ja EU-alueella on joka skenaariossa oletettu olevan sama erityisesti sähköistymistä tukeva tekninen kehitys, joka mallinnetaan kalibroimalla tuottavuus- ja substitutioparametrit siten, että päästötavoite saavutetaan ja bkt-vaikutuksen suuruusluokka on linjassa aiempien arvioiden kanssa. Se ei siten kytkeydy mallissa investointeihin. EU:n ulkopuolella tekninen kehitys eroaa skenaarioittain. RCP2.6-skenaariossa muualla maailmassa on sama tekninen kehitys kuin EU-alueella. RCP4.5-skenaarioissa on kaksi vaihtoehtoa teknisen kehityksen suhteen. Toisessa tekninen kehitys on heikompaa kuin EU-alueella ja toisessa teknistä kehitystä ei ole ollenkaan.

Sähköistymiseen liittyvän teknologiamurroksen kuvauksessa hyödynnettiin Kuusi ym. (2021) hankkeen mallinnusta, mutta murroksen voimakkuutta kasvatettiin, koska tarkastelun aikajänne on noin vuosi 2050 vuoden 2035 sijaan. Teknologiamurros mallinnettiin erityisesti energian tuotantoteknologioiden substituutiojoustoja muuttamalla, mutta myös kasvattamalla tuottavuuksia sähkön tuotannossa ja käytössä. Keskeisenä lähtökohtana oli näkemys, että sähköntuotannossa ja -kysynnässä tapahtuu teknologista kehitystä. Keskeisessä asemassa on älykkäiden verkkojen tuoma kehitys, jossa kysynnän vaihteluja pysytään tehokkaammin tasaamaan. Tämän katsottiin vähentävän perus- ja huippuvoiman välistä eroa, mikä toteutettiin näiden välistä substituutiojoustoja kasvattamalla. Vastaavasti älykkäissä verkoissa polttoon perustuvien säädettävien ja heikommin säädettävien uusituvien sähköntuotantomuotojen välinen ero pienenee. Tämä toteutettiin mallissa kasvattamalla näiden välistä substituutiojoustoja.

Lisäksi oletettiin, että teollisuuden tuotantoprosesseissa kehitetään teknologioita, jotka mahdollistavat polttoainekäytön korvaamisen sähköllä. Tämä toteutettiin korottamalla polttoainekäytön ja sähkön välistä substituutiojoustoja. Teknologiakuvaus sallii siis pitkän aikavälin tarkasteluissa tuotannon järjestämisen joko polttoaineita tai sähköä käyttäen. Mallissa valinta tehdään polttoaineiden ja sähkön suhteellisten hintojen perusteella. Ilmastopolitiikan nostaessa fossiilisten polttoaineiden hintaa, sähköistäminen minimoi tuotantokustannukset. Joustomuutosten lisäksi kasvatettiin vähäpäästöisten sähköntuotantomuotojen tuottavuutta ja sähkön käytön tuottavuutta teollisuudessa ja liikenteessä. Tuottavuuden lisäys voidaan ymmärtää näiden yhä suhteellisen nuorten teknologioiden kehittymisenä.

Hillintäskenaarioiden toteutusta kuvataan yksityiskohtaisemmin laatikossa L4. Laatikon taulukoissa 2 ja 3 esitetään päästömaksut ja teknologiaa kuvaavien parametrien arvot, joilla päästävähennys saavutetaan mallilaskelmissa.

#### **LAATIKKO L4. HILLINTÄSKENAARIOIDEN TOTEUTUS**

Hillintäskenaarioissa päästövähennysten määrät alueittain on kiinnitetty siten, että EU:n ilmastotavoitteita ja RCP-skenaarioiden keskilämpötiloja vastaavat päästövähennykset saavutetaan. Lisäksi bkt-vaikutuksen suuruusluokka määräytyy aiempien arvioiden perusteella. Lähestymistavan perusteena oli tarve kalibroida teknologisen kehityksen kuvaus. Kalibrointitarve johtui siitä, että malli ei sisällä endogeenista teknistä kehitystä, jonka taso määräytyisi optimoinnissa ilmastopolitiikan seurauksena eikä toisaalta ollut käytössä esimerkiksi insinöörimalleista saatuja tuloksia, joiden avulla kalibroinnin olisi voinut suorittaa.

Päästövähennyksen määrä ja bkt-vaikutuksen suuruusluokka saavutetaan laskelmissa päästömaksun ja teknologiaa kuvaavien parametrien avulla. Päästömaksun suuruus ja teknologisen kehityksen määrä ovat kytköksissä toisiinsa, eli päästömaksu ja sen aiheuttamat taloudelliset kustannukset ovat sitä alempia mitä enemmän päästöjä alentava teknologia kehittyy. Päästötaavoitteen saavuttamiseen tarvittavan päästömaksun suuruus ja teknologisen kehityksen määrä riippuvat paitsi toisistaan myös mallin muista ominaisuuksista ja parametrien arvoista. Talousvaikutusten kannalta merkittävää on myös, miten teknologinen kehitys mallissa tapahtuu. Mitä suurempi osuus toteutetaan tuottavuusparametrien kautta, sitä vähäisemmäksi jää vaikutus bkt:hen ja myös energiaintensiivinen teollisuus kärsii vähemmän.

Mallin kalibrointi ja päästövähennystavoitteen täyttävän ratkaisun löytäminen tehtiin käytännössä siten, että aluksi kasvatettiin päästömaksuja ja substituoitiojoustoja kunnes päästöjä ei saatu juurikaan vähennettyä ja hyvin pienikin päästövähennys kasvatti huomattavasti bkt-tappiota. Loput päästövähennyksestä saatiin aikaan sähköistymiseen kytkeytyvää tuottavuutta lisäämällä. Tällä tavoin bkt-vaikutus osui tavoiteltuun suuruusluokkaan.

Taulukossa 2 esitetään päästömaksut eri hillintäskenaarioissa. Taulukossa 3 esitetään alkuperäiset ja kalibroidut, sähköistymiseen liittyvää teknistä kehitystä kuvaavat substituoitiojoustojen ja tuottavuusparametrien arvot. Suomalaiselle ja muille EU-maille kehittyntä teknologiaa kuvaavat arvot ovat voimassa kaikissa hillintäskenaarioissa. EU:n ulkopuolisille alueille kehittyntä teknologiaa kuvaavat arvot ovat voimassa RCP2.6-skenaariossa, kun taas RCP4.5-skenaariossa, jossa teknistä kehitystä ei ole, ovat voimassa alkuperäiset arvot. RCP4.5-skenaariossa, jossa on matala tekninen kehitys, tuottavuusparametrien muutos on puolet taulukon muutoksesta, kun taas substituoitiojoustot ovat kehittyneen teknologian mukaiset.

**Taulukko 2.** Päästömaksut tuotanto-, kuljetus- ja kotitaloussektoreille (USD vuoden 2014 hinnoissa) jotka mallilaskelmissa yhdessä teknisen kehityksen kanssa toteuttavat annetut päästövähennykset eri skenaarioissa. Päästömaksujen arvot riippuvat mallissa käytetystä numerairesta, joka on globaali panoshintaindeksi.

|                   | RCP2.6-HighTC | RCP4.5-LowTC | RCP4.5-NoTC |
|-------------------|---------------|--------------|-------------|
| Suomessa          | 200-400-400   | 160-320-320  | 186-373-373 |
| EU-alueella       | 200-400-400   | 165-330-330  | 187-375-375 |
| EU:n ulkopuolella | 140-280-280   | 25-50-50     | 65-130-130  |

**Taulukko 3.** Substituutiojoustojen ja tuottavuusparametrien alkuperäistä ja kehittyntä teknologiaa kuvaavat arvot.

|                                  | Alkuperäinen teknologia | Kehittynyt teknologia |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Sähkön ja lämmön tuotanto</b> |                         |                       |
| <i>Substituutiojoustot</i>       |                         |                       |
| sigma_peak                       | 0.472                   | 6.0                   |
| sigma_base                       | 1.386                   | 6.0                   |
| sigma_egen                       | 0                       | 2.0                   |
| sigma_elec                       | 0                       | 0                     |
| sigma_noncoal                    | 1.01                    | 1.01                  |
| sigma_fuel                       | 1.01                    | 1.01                  |
| sigma_energy                     | 1.01                    | 1.01                  |
| <i>Tuottavuusparametrit</i>      |                         |                       |
| lambdaio(lowemis)                | 1                       | 1.5                   |
| lambdaio(CoalBL)                 | 1                       | 0.5                   |
| <b>Liikenne</b>                  |                         |                       |
| <i>Substituutiojoustot</i>       |                         |                       |
| sigma_noncoal                    | 1.01                    | 1.01                  |
| sigma_fuel                       | 1.01                    | 1.01                  |
| sigma_energy                     | 1.01                    | 8.0                   |
| <i>Tuottavuusparametrit</i>      |                         |                       |
| lambda_elec                      | 1                       | 1.2                   |
| lambda_fuel                      | 1                       | 0.98                  |
| <b>Muut toimialat</b>            |                         |                       |
| <i>Substituutiojoustot</i>       |                         |                       |
| sigma_noncoal                    | 1.01                    | 1.01                  |
| sigma_fuel                       | 1.01                    | 1.01                  |
| sigma_energy                     | 1.01                    | 10                    |
| <i>Tuottavuusparametrit</i>      |                         |                       |
| lambda_elec(eite)                | 1                       | 1.1                   |



Substituutiojousto on parametri, joka kuvaa tuotantofunktion kaarevuutta ja siten panosten vaihdettavuutta keskenään.<sup>17</sup>

Julkimo-hankkeessa substituutiojoustoja säädettiin vastaamaan kehitystä, joka on odotettavissa vihreään siirtymään liittyvän teknisen kehityksen myötä. Keskeinen muutos on sähköntuotantomuotojen yhdenvertaisuuden kasvu ja sitä vastaava jouston kasvu (sigma\_peak ja sigma\_base). Tällä kuvataan muutosta, jossa tuuli- ja aurinkoenergian tuotannon heikosti säädeltävä tuotanto tulee saman arvoiseksi säädeltävän sähköntuotannon kanssa, koska tarjontavaihtelua voidaan tasata sähkön varastointikapasiteetin kasvaessa ja älyverkkojen mahdollistaman sähkön kysynnän säädettävyyden parantuessa. Tämä kehitys tasaa myös huippu- ja perusvoiman välistä eroa, mitä kuvaa jouston sigma\_egen lisäys. Sen sijaan sähköntuotannon ja siirtoverkkojen välinen jousto (sigma\_elec) pidettiin nollana. Vastaavasti itse polttoaineiden polttoprosesseissa ei oletettu tapahtuvan kehitystä polttoaineiden vaihdettavuudessa, joten näihin prosesseihin liittyvät joustot (sigma\_noncoal ja sigma\_fuel) pidettiin ennallaan. Energian käytössä oletettiin tapahtuvan siirtymää polttoaineiden polttoon perustuvasta energiankäytöstä sähköenergian käyttöön. Kehityksen oletettiin olevan voimakasta. Muutos tehtiin kaikille toimialoille sähkön ja lämmön tuotantoa lukuun ottamatta, mutta sillä on erityisen suuri merkitys energiaintensiivisessä teollisuudessa ja liikenteessä. Tätä kehitystä vastaavasti nostimme sähkön ja polttoenergian välistä joustoa (sigma\_energy) näillä toimialoilla.

17 Substituutiojousto on määritelty (i) panossuhteen suhteellisen muutoksen ja (ii) samojen panosten rajatuottavuuksien suhteellisen muutoksen suhteena. Kilpailuilla markkinoilla rajatuottavuuksien suhde samaistuu hintojen suhteeksi. Siten substituutiojousto kertoo, paljonko tarkasteltujen panosten hintasuhteen suhteellinen muutos aiheuttaa panoskäytösuhteen suhteellista muutosta. Mitä suurempi arvo joustolla on, sitä joustavammin tuotantopanoksia voidaan sopeuttaa. CES-tuotantofunktion tapauksessa panosten välinen substituutiojousto on annettu vakio (constant elasticity of substitution). Panosten välisten joustojen suuruus on epäselvempi, jos tuotantofunktiota kuvataan sisäkkäisillä CES-funktiolla, jolloin ylemmällä tasolla panosaggregaatit yhdistetään CES-funktiolla, ja panosaggregaatit tuotetaan CES-funktiolla, jossa on alemman tason panosaggregaatteja tai aggregoimattomia tuotantopanoksia. Tällöin alemman tason eri aggregaatteihin kuuluvien panosten välinen substituutiojousto on alemman tason tuotantofunktioiden ja ylemmän tason tuotantofunktion substituutiojoustojen harmoninen keskiarvo (Sato, 1967; Lagomarsino, 2020). Siten jos kaikki kolme tuotantofunktiota ovat joustavia, on myös em. panosten välinen jousto suuri. Toisaalta, jos yksikin tuotantofunktio on hyvin joustamaton, em. panosten välinen substituutiojousto jää matalaksi.

Lambda-parametreilla säädetään panosten suhteellista tuottavuuskehitystä tuotantoprosesseissa. Malliteknisesti parametrit skaalaavat panoksen raja-tuottavuutta kyseisessä CES-kerroksessa. Siten tuottavuuden kasvu alentaa panoksen efektiivistä hintaa seuraavalla CES-tasolla kaavan mukaisesti

$$P = \left[ \sum_i a_i \left( \frac{p_i}{\lambda_i} \right)^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}$$

jossa  $a$  on osuusparametri,  $\lambda$  on tuottavuusparametri ja  $\sigma$  on substituutiojousto.

Arvot yli yhden ovat lisäyksiä tuottavuudessa. Taulukossa siis energiantensiivisessä teollisuudessa (eite) sähkökäytön ajatellaan tehostuvan, mikä kuvaa teknologian kehitystä sähköistettyjen prosessien suuntaan ( $\lambda_{elec}$ ). Vastaava kehitys tapahtuu liikenteessä, jossa sähköautojen voidaan odottaa kehittyvän ominaisuuksiltaan suhteessa polttomoottoriautoihin. Oletamme myös, että matalapäästöiset energiatuotantoteknologiat kehittyvät vielä nykyisestä ( $\lambda_{lowemis}$ ). Tämä muutos on suhteellisen iso ja osaltaan pitää sisällään jo tapahtunutta muutosta vuosien 2014–2022 välillä. Toisaalta mallissa on myös alennettu joitain tuottavuuksia, jottei sektoreiden nettovai-kutus kasva liian positiiviseksi ja vääristä sen takia tuloksia. Siksi liikenteessä on pieni negatiivinen tuottavuusmuutos fossiilisten polttoaineiden käytön suhteen. Hiilivoimaloiden alasajo CES-tuotantofunktiossa ei onnistu täydelli-sesti, joten hiilivoimaa vähennettiin myös alentamalla hiilivoimaloiden tuot-tavuutta ( $\lambda_{CoalBL}$ ).

Tuottavuusparametrien noston vaikutus riippuu substituutiojoustojen suuruudesta. Joustojen nosto tekee CES-funktioista laakeampia, jolloin pienemmät suhteellisten hintojen muutokset johtavat isompiin panoskäyt-tömuutoksiin. Tällöin tuottavuuslisäyksen vaikutukset suhteellisiin hintoihin aiheuttavat huomattavasti suuremman vaikutuksen panoskäyttöön.

## 4.2.4 Tulokset

Alla esitetään ensin keskeiset tulokset ilmastonmuutoksen hillinnän kansantalousvaikutuksista, jonka jälkeen raportoidaan yksityiskohtaisemmat tulokset sektoreittain. Ilmastonmuutoksen hillinnän kansantalousvaikutuksia koskevat tulokset on kirjoitettu Suomen näkökulmasta. **Vaikutusarviot koskevat Suomea, jos muuta ei ole mainittu.** Tulokset esitetään prosenttimuutoksina, joissa verrataan hillintäskenaariota perusuran vastaavaan ajanhetkeen. Tulokset kuvaavat pitkän aikavälin vaikutusta, kun talous on jo sopeutunut tarkasteltuun srokkiin. Päästövähennysten suuruusluokka vastaa noin vuoden 2050 tilannetta. Keskeiset numeeriset tulokset esitetään taulukossa 4.

Keskeisiä ilmastonmuutoksen hillinnän talousvaikutuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat laskelmissa talouden sähköistyminen, fossiilisia polttoaineita vievien maiden bkt:n huomattava aleneminen ja niiden viennin rakenteen muutos sekä pääoman tuottoasteen paraneminen Suomessa suhteessa EU-alueen ulkopuolisiin maihin. Näiden tekijöiden suhteellinen merkitys vaihtelee eri hillintäskenaarioiden välillä.

RCP2.6-laskelmassa Suomen bruttokansantuote alenee hieman yli prosentin perusuraan verrattuna. Bkt-tappion suuruuteen vaikuttaa erityisesti oletukset teknologian kehityksestä. bkt-tappio jää maltilliseksi, koska laskelmassa talouden sähköistyminen nostaa tuotavuutta. Globaali Suomen viennin määräosuuksilla painotettu bkt alenee puolestaan noin 2,3 prosentilla. Bkt alenee erityisesti Venäjällä ja Lähi-idässä, kun taas EU-alueella bkt-vaikutus on samansuuruinen kuin Suomessa. Investoinnit Suomessa ja EU-alueella kasvavat selvästi, kun ulkomaista säästämistä allokoituu Suomeen pääoman tuottoasteen noustessa suhteessa erityisesti Venäjään ja Lähi-itään. Suomen viennin aleneminen aiheutuu sekä tuontikysynnän globaalista alenemisestä että viennin kilpailukyvyyn heikkenemisestä erityisesti suhteessa Venäjään ja Lähi-itään. Tuonti alenee fossiilisten polttoaineiden tuonnin lähes loputtua, kun taas useimpien muiden hyödykkeiden tuonti kasvaa perusuraan verrattuna. Yksityinen kulutus alenee noin prosentin, kun taas julkinen kulutus on suurempi kuin perusuralla.

Energian tuotannossa tapahtuu merkittävä siirtymä päästöttömään energiaan. Sähköistymistä tukeva tekninen kehitys vähentää ilmastopolitiikasta seuraavaa talouden rakennemuutosta. Energiaintensiivinen teollisuuden tuotanto alenee jopa muuta teollisuutta vähemmän, sillä se hyötyy sähköistymiseen liittyvästä teknisestä kehityksestä. Suomen talouden rakenne palveluvaltaistuu, koska kotimarkkinoilla negatiiviset vaikutukset jäävät pienemmiksi kuin ulkomaankaupassa ja palvelut kohdistuvat suurelta osin kotimarkkinoille.

**RCP4.5-skenaarioissa** päästövähennyksen määrä ja tekninen kehitys on Suomen ja EU:n osalta sama kuin RCP2.6-skenaariossa. Erot RCP2.6-skenaariion talousvaikutuksiin Suomelle aiheutuvat siten ulkomaan kaupan ja alueellisten pääoman tuottoasteiden suhteellisten

muutosten aiheuttamien suorien ja kerrannaisvaikutusten kautta. EU:n ulkopuolella päästövähennys on RCP4.5-skenaarioissa selvästi pienempi kuin RCP2.6-skenaariossa, mikä vaikuttaa heikentävästi Suomen ulkomaankaupan kilpailukykyyn, mutta toisaalta kokonaistuonnin taso on EU:n ulkopuolella korkeampi kuin RCP2.6-skenaariossa. Lisäksi sähköistymiseen liittyvä tekninen kehitys on oletettu EU:n ulkopuolella heikommaksi kuin EU-alueella tai sitä ei ole ollenkaan, mikä puolestaan parantaa Suomen energiaintensiivisen teollisuuden kilpailukykyä ceteris paribus. Koska osa yllä mainituista tekijöistä vaikuttaa Suomen ulkomaankauppaan positiivisesti ja osa negatiivisesti verrattuna RCP2.6-skenaarioon, ero ulkomaankaupassa RCP4.5 ja RCP2.6 skenaarioiden välillä määräytyy vasta mallilaskelmien perusteella.

Mallilaskelmien mukaan bkt-tappio jää EU-alueen ulkopuolella RCP4.5-laskelmissa vähäisemmäksi kuin RCP2.6-skenaariossa, mikä kertoo siitä, että alemmilla päästömaksuilla on merkittävämpi vaikutus kuin heikommalla sähköistymiseen liittyvällä teknisellä kehityksellä. Kuitenkin myös teknisen kehityksen määrä EU-alueen ulkopuolella vaikuttaa näiden maiden bkt-tappioon, mikä näkyy erona kahden RCP4.5-skenaarion välillä. Suomen bkt-vaikutus jää hieman vähäisemmäksi kuin RCP2.6-skenaariossa, eli Suomi hyötyy EU-alueen ulkopuolisia maita nopeammasta sähköistymiseen liittyvän teknologian kehitymisestä energiaintensiivisen teollisuuden viennin hintakilpailukykyyn paranemisen ja lisääntyneiden ulkomaisten investointien kautta. Sen sijaan korkeampien päästömaksujen vaikutus kilpailukykyyn jää vähäisemmäksi sähköistymisen seurauksena.

**Taulukko 4.** Keskeiset tulokset ilmastonmuutoksen hillintää koskevista GTAP-laskelmista eri skenaarioissa. Tulokset kuvaavat pitkän aikavälin vaikutuksia suhteessa perusuraan. Päästövähennykset ovat kiinnitetyt.

|                                          | RCP2.6-HighTC | RCP4.5-LowTC | RCP4.5-NoTC |
|------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|
| <i>Päästövähennys, Suomi, %</i>          | -79.2         | -79.2        | -79.2       |
| <i>Päästövähennys, EU</i>                | -79.0         | -79.0        | -79.1       |
| <i>Päästövähennys, EU:n ulkopuolella</i> | -80.7         | -42.8        | -43.2       |
| <br>                                     |               |              |             |
| BKT, Suomi, %                            | -1.2          | -1.2         | -0.9        |
| BKT, globaali vientipainotettu, %        | -2.3          | -0.8         | -1.4        |

|                                                             | RCP2.6-HighTC | RCP4.5-LowTC | RCP4.5-NoTC |
|-------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|
| <b>Suomea koskevia tuloksia</b>                             |               |              |             |
| Yks. kulutus, määrä, %                                      | -1.0          | -1.2         | -0.5        |
| Julk. kulutus, määrä, %                                     | 0.5           | 0.2          | 0.8         |
| Investoinnit, määrä, %                                      | 7.3           | 6.7          | 14.5        |
| Vienti, määrä, %                                            | -14.7         | -13.7        | -17.9       |
| Tuonti, määrä, %                                            | -8.3          | -8.1         | -6.4        |
| Tuotanto,<br>energiantensiivinen<br>teollisuus, %           | -4.7          | -2.8         | -3.2        |
| Tuotanto, muu teollisuus, %                                 | -7.7          | -7.6         | -10.4       |
| Tuotanto, palvelut<br>pl. kuljetukset ja<br>rakentaminen, % | -1.4          | -1.4         | -1.4        |

#### 4.2.4.1 Tulokset RCP2.6-skenaariosta Suomea koskien

##### Energian tuotanto

Päästömaksut aiheuttavat sähkön ja lämmön tuotannossa huomattavan siirtymän fossiiliin polttoaineisiin perustuvasta tuotannosta vähäpäästöiseen ja päästöttömään tuotantoon. Päästömaksun vaikutusta vaimentaa jossain määrin fossiilisten polttoaineiden hinnan aleneminen niiden kysynnän romahtaessa. Tuottavuuden paraneminen päästöttömässä energiassa puolestaan tukee siirtymää. Ydin-, tuuli- ja aurinkovoiman sekä biomassaa käytettävän muun perusvoiman tuotannot kasvavatkin voimakkaasti. Päästöttömän energian tuotanto kasvaakin laskelman mukaan yli 200 prosentilla, kun taas hiili- ja maakaasuvoimaloiden tuotanto alenee noin 70–80 % perusuraan verrattuna. Maakaasun suhteellinen osuus fossiilisten polttoaineiden käytöstä kasvaa, vaikka senkin käyttö laskee selvästi. Mallin rakenteesta (eli CES-tuotantofunktion teknisistä rajoitteista) johtuen fossiilista tuotantoa jää jonkin verran<sup>18</sup>.

18 Hiilivoimaloiden tuotannon vähentäminen lähes nolnaan vaatisi erittäin korkeita päästömaksuja. Tuotanto olisi myös mahdollista asettaa vapaata ratkaisua alemmalle tasolle jopa nollassa. Tämä saattaisi kuitenkin aiheuttaa häiriöitä mallin ratkaisuun, joten tuotannon kiinnittämistä (lähes) nolnaan ei tehty tässä esitettävissä laskelmissa.

Sähkön ja lämmön hinta alenee laskelman mukaan malliin asetetun sähkön ja lämmön päästöttömien tuotantomuotojen tehostumisen seurauksena ja koska päästömaksujen vaikutus jää vähäiseksi. Tämä vähentää päästövähennyksestä aiheutuvia kansantaloudellisia kustannuksia ja hyödyttää erityisesti energiaintensiivisiä toimialoja. Tarkastelussamme ei tarkastella sähköistymistä erikseen, vaan yhdessä muun energiamurroksen ja teknisen kehityksen kanssa. Mallituloksissa hinnan aleneminen johtuu siitä, että energiamurroksen hintaa alentava vaikutus on suurempi kuin sähköistymisen aiheuttamat hintaa nostavat paineet.

Noin 80 prosentin päästövähennykseen tarvittavat päästömaksut jäävät EU:n ulkopuolella alemmiksi kuin EU-alueella. Tämä johtuu siitä, että perusralla talous on päästöintensiivisempi EU-alueen ulkopuolella, kun taas EU-alueella ollaan jo korkeampien rajakustannusten alueella.

### Tuotantosektorit

Tuotanto alenee Suomessa laskelman mukaan kaikilla teollisuus- ja palvelusektoreilla rakentamista ja kaivannaistoimintaa lukuun ottamatta. Tuotantokustannukset nousevat eniten kuljetuksissa, vaikka siellä oletetaan tapahtuvan teknistä kehitystä. Energiaintensiivisten sektorien kustannukset nousevat puolestaan jonkin verran muita sektoreita vähemmän sähköistymisen ja laskelmissa tapahtuvan sähkön hinnan alenemisen seurauksena. Muilla sektoreilla kustannukset nousevat hyvin samantapaisesti. Sektorikohtaisia tuotantovaikutuksia selittävät lisäksi erot kysynnän hintajoustoissa ja kysynnän tasojen muutoksissa eri kysyntäkomponenttien välillä. Tuotantoa alentaa eniten vientikysynnän aleneminen. Vastaavasti myös vientisektoreilla välituotteena käytettävä tuotanto alenee. Lisäksi kotimaista tuotantoa korvataan tuonnilla EU-alueen ulkopuolelta. Ulkomaankauppavaikutuksia kuvataan tarkemmin alla. Kotitalouksien kysynnän väheneminen jää selvästi vähäisemmäksi, ja julkinen kulutus puolestaan kasvaa perusuraan verrattuna. Tämä parantaa palvelusektorien asemaa suhteessa teollisuuteen ja talous palveluvaltaistuu. Investointien selvä kasvu näkyy rakentamisen kasvuna suhteessa perusuraan ja lievennyksenä teollisuuden käyttämien palveluiden tuotannon alenemaan. Energiaintensiivisen teollisuuden tuotanto alenee noin 5 % ja muun teollisuuden vajaa 8 %, kun taas palvelusektorien (pl. kuljetukset ja rakentaminen) tuotannon alenema jää noin prosenttiin perusuraan verrattuna.

Globaalilla tasolla energiaintensiivisten toimialojen tuotanto alenee muita toimialoja enemmän, joten mallilaskelman mukaan EU-alueen ulkopuolella sähköistymisestä ei saada vastaavaa hyötyä kuin EU-alueella.

## Yksityinen kulutus, julkinen kulutus, säästäminen ja investoinnit

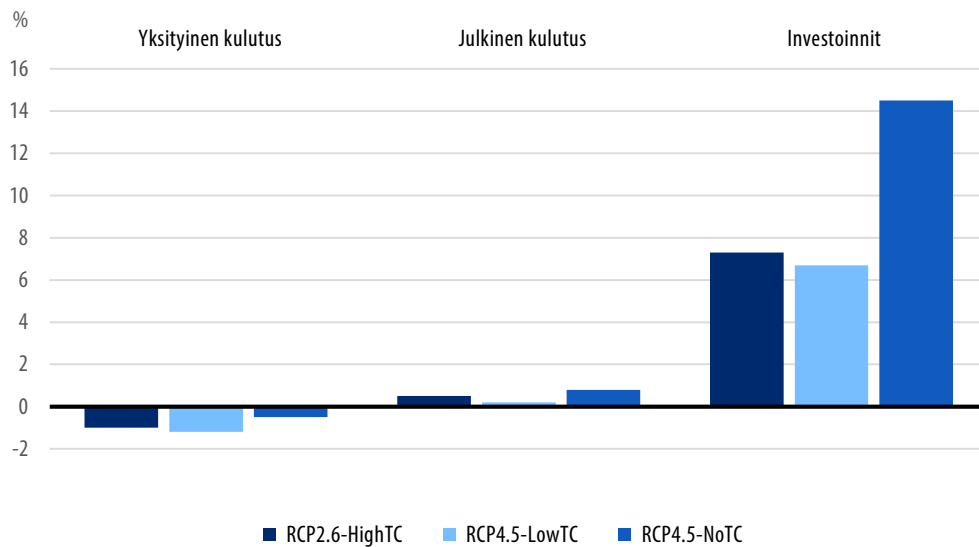
Käytettävissä olevat tulot, jotka mallissa optimoidaan yksityisen kulutuksen, julkisen kulutuksen ja säästämisen kesken, kasvavat laskelmassa sekä tuotannontekijätulojen että verotuottojen noustessa. Nimellisiä tuloja nostaa lähinnä hintatason nousu, joten myös nimelliset menot kasvavat. Nimelliset verotuotot kasvavat lukuun ottamatta yritysten maksamia välillisiä veroja, jotka sisältävät energiaverokertymän. Energiaverokertymä alenee selvästi fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä huomattavasti perusuraan verrattuna. Energiahyödykkeiden arvonlisäverojen tuotto vähenee vielä enemmän, koska myös fossiilisten polttoaineiden hinnat alenevat. Toisaalta sähkön käytön lisäys kasvattaa verotuottoa. Könttäsumatulonsiirtona palautettavat päästömaksutulot puolestaan kasvattavat verotuottoja. Laskelmassa päästömaksutulot ovat noin 3 % koko vero- ja veronluonteisten maksujen kertymästä. Päästömaksutulot ovat todennäköisesti yliarvio, koska kotitalouksien päästöjä ei mallissa saatu merkittävästi vähennettyä. Koska tulo palautetaan könttäsummana, sillä ei ole käyttäytymistä vääristävää vaikutusta.

Yksityinen kulutus alenee reaalisesti noin prosentin perusuraan verrattuna, kun päästömaksu nostaa kulutuksen hintaa ja realitulot alenevat. Koska mallissa kotitalouksien päästöt eivät laskeneet merkittävästi, maksavat ne suoraan noin puolet päästömaksuista. Lisäksi päästömaksuja tulee epäsuorasti kotitalouksien maksettaviksi korkeampina hyödykkeiden hintoina ja alentuneina tuotannontekijätuloina, kuten palkkoina. Kotitalouksien kulusrakenne muuttuu, sillä päästömaksu vähentää päästöintensiivisten hyödykkeiden kulutusta, kun taas muiden hyödykkeiden kulutus kasvaa suhteessa perusuraan. Siirtymää sähköautoihin rajoittaa se, että liikenteen käyttövoimavalintaa ei kotitalouksien osalta mallinnettu erikseen.

Julkinen kulutus kasvaa reaalisesti noin puoli prosenttia perusuraan verrattuna. Julkisen kulutuksen hintaindeksi nousee hieman vähemmän kuin yksityisen kulutuksen, koska julkiseen kulutukseen ei kohdistu päästöjä eikä siten päästömaksuja. Täten alueellisia käytettävissä olevia tuloja allokoituu perusuraa enemmän julkiseen kulutukseen. Myös säästäminen lisääntyy reaalisesti noin 0,8 % perusuraan verrattuna.

Investoinnit kasvavat laskelman mukaan 7 prosenttia perusuraan verrattuna. Globaalilla säästämisellä rahoitetut investoinnit allokoituvat mallissa mm. Suomeen, jossa pääoman tuottoaste paranee suhteessa useimpiin muihin alueisiin.

**Kuvio 5.** Vaikutukset Suomen yksityiseen ja julkiseen kulutukseen sekä investointeihin eri skenaarioissa, %. RCP2.6-HighTC: EU:n ulkopuolella päästövähennykset ovat RCP2.6-uran mukaiset ja niillä on sama sähköistämistä tukeva tekninen kehitys kuin EU-alueella. RCP4.5-LowTC: EU:n ulkopuolella päästövähennykset ovat RCP4.5-uran mukaiset ja sähköistämistä tukeva tekninen kehitys on vähäisempi kuin EU-alueella. RCP4.5-NoTC: EU:n ulkopuolella päästövähennykset ovat RCP4.5-uran mukaiset ja teknistä kehitystä ei ole.



## Ulkomaan kauppa ja vaihtosuhte

Suomen kokonaisviennin määrä alenee laskelmassa lähes 15 % perusuraan verrattuna. Vientiä alentaa sekä substituutio- että tulovaikutus. Ilmastopolitiikka alentaa kokonaiskeyksyntää kaikkialla maailmassa, millä on Suomen vientiä alentava vaikutus. Lisäksi tuotantopanosten hinnoissa ja siten tuotantokustannuksissa tapahtuu huomattava suhteellinen muutos eri alueiden välillä. Tämä johtuu siitä, että fossiilisia polttoaineita vievien alueiden talous romahtaa. Tämä alentaa tuotannontekijäkorvauksia näissä maissa, jolloin hintakilpailukyky muiden hyödykkeiden viennissä paranee huomattavasti. Myös globaalin säästämisen suuntautuminen pois näiden alueiden investoinneista muille alueille, kuten Suomeen, nostaa Suomen panoshintoja suhteessa alueisiin, joilla investoinnit vähenevät. Lisäksi päästömaksut ovat alemmat EU:n ulkopuolella, ja talouksien päästöintensivisyys eroaa erityisesti EU-alueen ja muun maailman välillä, mutta myös EU-alueen sisällä. Ulkomaankaupan kilpailukyky alueiden välillä muuttuu siis laskelmassa merkittävästi, vaikka päästövähennys onkin kaikilla alueilla lähes samansuuruinen. Suomen kilpailukyky heikenee erityisesti suhteessa Venäjään ja Lähi-itään, mutta myös verrattuna muihin EU-alueen ulkopuolisiin maihin.



Vienti alenee erityisesti Venäjälle ja muuhun itäiseen Eurooppaan sekä Lähi-itään. Lisäksi näiden alueiden kilpailukyvyyn paraneminen heikentää Suomen vientiä myös muille alueille. Laskelma mahdollisesti yliarvioi vaikutusta Suomen vientiin, sillä se edellyttää tuotannon uudelleensuuntaamista fossiilisista polttoaineista riippuvaisissa maissa. Laskelma Venäjän ja Lähi-idän teollisuustuotteiden viennit kasvavat jopa 100 %.

Tuonnin määrä alenee laskelmassa 8 prosenttia perusuraan verrattuna. Tuontia alentaa fossiilisten polttoaineiden tuonnin voimakas väheneminen. Sen sijaan muiden hyödykkeiden tuonti kasvaa 2 prosentilla kotimaisen tuotannon hintakilpailukyvyyn heikentyessä.

Vaihtosuhtevaikutus on positiivinen eli vientihinnat nousevat suhteessa tuontihintoihin. Tällä on hyvinvointia kasvattava vaikutus, koska samalla määrällä vientiä pystytään ostamaan enemmän tuontituotteita. Viennin arvoon vaikutukset ovatkin selvästi vähäisemmät.

### Bruttokansantuote ja työllisyys

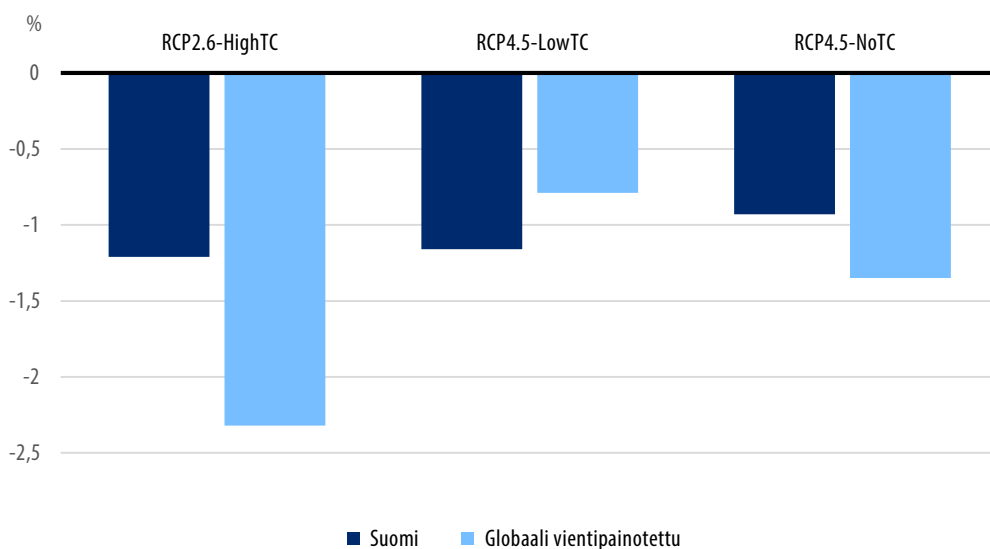
Bruttokansantuote alenee laskelman mukaan 1,2 prosenttia perusuraan verrattuna. Vaikutus on linjassa IPCC:n arviointiraportissa esitetyn EU-alueen bkt-tappion kanssa (IPCC, 2022). Ilmasto- ja energiastrategian valmistelua tukeneessa HIISSI-hankkeessa tarkastellut ilmastopolitiikan toimet aiheuttivat vajaan prosentin aleneman WEM-uraan verrattuna vuonna 2050 (Koljonen ym., 2021). WEM-urassa on jo huomattava määrä ilmastopolitiikan toimia, joten on luonnollista, että bkt-tappio on vähäisempi kuin tämän tutkimuksen arvio.

Globaali vientipainotettu bkt alenee 2,3 % perusuraan verrattuna. EU-alueen bkt alenee saman verran kuin Suomen. Aasiassa bkt alenee laskelman mukaan 2,7 %. Venäjän ja Lähi-idän bruttokansantuotteet alenevat puolestaan huomattavasti öljyn ja kaasun kysynnän romahtaessa. Tulokset ovat linjassa IPCC:n arviointiraportin kanssa, jonka mukaan RCP2.6-skenaariossa globaali bkt alenee 1,3–2,7 %, kun ilmastopolitiikka on koordinoitua.

Työn tarjonta vähenee 0,2 prosenttia perusuraan verrattuna, kun realipalkka alentuu.

**Kuvio 6.** Vaikutukset Suomeen ja globaaliin vientipainotettuun bruttokansantuotteeseen eri skenaarioissa, %.

RCP2.6-HighTC: EU:n ulkopuolella päästövähennykset ovat RCP2.6-uran mukaiset, ja niillä on sama sähköistämistä tukeva tekninen kehitys kuin EU-alueella. RCP4.5-LowTC: EU:n ulkopuolella päästövähennykset ovat RCP4.5-uran mukaiset, ja sähköistämistä tukeva tekninen kehitys on vähäisempi kuin EU-alueella. RCP4.5-NoTC: EU:n ulkopuolella päästövähennykset ovat RCP4.5-uran mukaiset, ja teknistä kehitystä ei ole.



#### 4.2.4.2 Tulokset RCP4.5-skenaarioista Suomen osalta

##### Energian tuotanto

Siirtymä fossiilisiin polttoaineisiin perustuvasta tuotannosta päästöttömään tuotantoon jää jossain määrin vähäisemmäksi kuin RCP2.6-skenaariossa, koska päästömaksut ovat alemmat.

RCP4.5-skenaariossa globaali päästövähennys on noin puolet RCP2.6-skenaariosta päästövähennyksestä, joten päästömaksut ovat EU-alueen ulkopuolella selvästi alemmat kuin RCP2.6-skenaariossa. Päästömaksut ovat alimmat skenaariossa, jossa EU:n ulkopuolella on oletettu olevan jossain määrin sähköistymistä edistävää teknistä kehitystä. Myös Suomessa ja muualla EU-alueella päästömaksut ovat RCP2.6-skenaariota alemmat, vaikka Suomi ja muu EU-alue vähentävät päästöjään molemmissa RCP4.5-skenaarioissa yhtä paljon kuin RCP2.6-skenaariossa. Tämä johtuu siitä, että fossiilisten polttoaineiden hinnat pysyvät korkeammalla tasolla, joten matalampi päästömaksu riittää tuottamaan kannustimet siirtyä päästöttömään energiantuotantoon.

## Tuotantosektorit

Suomen energiantensiivisen teollisuuden tuotanto alenee vähemmän kuin RCP2.6.-skenaariossa, koska viennin heikkeneminen jää pienemmäksi. Sähköistymisen myötä teollisten tuotantoprosessien kansainvälistä kilpailukykyä on mahdollista ylläpitää myös muita alueita tiukemman ilmastopolitiikan vallitessa, kun polttoainekäyttöön liittyvät päästömaksut eivät ole enää kustannusrasitteena. Kilpailukyvyn säilymisen edellytyksenä on se, ettei (päästöttömän) sähkön hinta ole liian korkea.

Muun teollisuuden tuotanto puolestaan alenee saman verran kuin RCP2.6:ssa, kun EU-alueen ulkopuolella on sähköistymistä tukevaa teknistä kehitystä, ja jonkin verran enemmän, jos teknistä kehitystä ei ole. Näitäkin tuloksia selittävät lähinnä vientivaikutukset, joita käsitellään tarkemmin ulkomaankaupan kohdalla. Palvelusektorien tuotanto on samalla tasolla kaikissa hillintäskenaarioissa. Talous palveluvaltaistuu siis myös maltillisemmissa RCP4.5-hillintäskenaarioissa.

## Yksityinen kulutus, julkinen kulutus, säästäminen ja investoinnit

Vaikutukset Suomen yksityiseen kulutukseen riippuvat siitä, oletetaanko EU:n ulkopuolella olevan sähköistymiseen liittyvää teknistä kehitystä. Jos teknistä kehitystä on, yksityinen kulutus alenee Suomessa hieman enemmän kuin RCP2.6-skenaariossa. Jos teknistä kehitystä ei tapahdu, Suomen yksityinen kulutus alenee vähemmän kuin muissa hillintäskenaarioissa. Skenaariossa, jossa muualla maailmassa ei ole teknistä kehitystä, tuotannon tekijätulot nousevat selvästi voimakkaammin kuin muissa skenaarioissa, koska globaalin investointien allokointuminen Suomeen nostaa tuotantopanosten kysyntää ja siten palkkoja ja pääomakorvausta.

Energiaverotuotot ovat jonkin verran korkeammat kuin RCP2.6-skenaariossa, koska fossiilisten polttoaineiden määrät ja erityisesti hinnat muuttuvat vähemmän. Päästömaksutuotot jäävät puolestaan hieman alemmiksi.

Investoinnit kasvavat eniten RCP4.5-skenaariossa, jossa EU:n ulkopuolella ei oleteta olevan teknistä kehitystä. Tällöin pääoman tuottoaste nousee EU-alueella edelleen suhteessa muuhun maailmaan, ja globaalien säästämisen rahoittamia investointeja allokoidaan muuta skenaarioita enemmän Suomeen ja muualle EU-alueelle. Sen sijaan, jos EU-alueen ulkopuolella oletetaan olevan jonkin verran sähköistymistä tukevaa teknistä kehitystä, investoinnit Suomessa kasvavat suunnilleen saman verran kuin RCP2.6-skenaariossa, jossa muun maailman tekninen kehitys oli asetettu suuremmaksi mutta toisaalta päästömaksut ovat selvästi korkeammat kuin RCP4.5-skenaariossa.

Eri alueilla painottuu eri tavoin teknisen kehityksen ja päästömaksujen vaikutus, joten se, missä skenaariossa on pienin tai suurin investointivaikutus, vaihtelee alueittain.

## Ulkomaankauppa

Viennin määrän aleneminen suhteessa RCP2.6-skenaarioon riippuu siitä, oletetaanko EU-alueen ulkopuolella olevan sähköistymistä tukevaa teknistä kehitystä. Jos teknistä kehitystä on, Suomen vienti alenee hieman vähemmän kuin RCP2.6-skenaariossa. Jos EU-alueen ulkopuolella ei ole teknistä kehitystä, viennin määrä alenee enemmän kuin RCP4.5-skenaariossa.

Kokonaisvaikutus aiheutuu useiden eri vaikutuskanavien kautta, ja vientivaikutusten erot skenaarioittain vaihtelevat hyödykekohtaisesti. Energiaintensiivisen teollisuuden vienti vähenee eniten RCP2.6-skenaariossa ja vähiten RCP4.5-skenaariossa, jossa EU:n ulkopuolella on teknistä kehitystä. Tulokset vaihtelevat kuitenkin energiaintensiivisen teollisuuden sisällä. Muun teollisuuden ja palveluiden viennit vähenevät puolestaan selvästi eniten RCP4.5-skenaariossa, jossa EU:n ulkopuolella ei oleteta olevan teknistä kehitystä. Tämä johtuu siitä, että globaalia säästämistä allokoituu Suomeen ja investointihyödykkeiden tuotanto nostaa palkkoja kaikilla sektoreilla.

Tuonnin määrä alenee kummassakin RCP4.5-skenaariossa vähemmän kuin RCP2.6-skenaariossa.

## Bruttokansantuote

Globaali bruttokansantuote jää RCP4.5-skenaarioissa korkeammalle tasolle RCP2.6-skenaarioon verrattuna, koska päästömaksut ovat EU:n ulkopuolella selvästi alemmat, joskin teknistä kehitystä on vähemmän. Vähiten globaali bkt alenee skenaariossa, jossa EU:n ulkopuolella oletetaan olevan jonkin verran teknistä kehitystä.

Suomen ja EU-alueen bkt on myös hieman korkeampi RCP4.5-skenaarioissa. Erot skenaarioiden välillä ovat Suomessa ja muualla EU-alueella selvästi pienemmät kuin EU:n ulkopuolella, koska EU-alueen päästövähennys ja tekninen kehitys on sama kaikissa skenaarioissa.

### 4.2.5 Laskelmien ja käytetyn mallin arviointia

Laskelmissa arvioitiin ilmastomuutoksen hillinnän talousvaikutuksia pitkällä aikavälillä, kun teknologinen siirtymä on jo tapahtunut. Laskelmien tarkoituksena oli kuvata yleisellä tasolla ilmastopolitiikan ja teknologisen kehityksen vaikutuskanavia sekä hahmottaa talousvaikutusten suuntaa ja suuruusluokkaa. Tarkastelu ei sen sijaan kuvaa mitä ilmastopolitiikan hillintäkeinoja tulisi Suomessa toteuttaa ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi, koska käytetty malli ei sisällä yksityiskohtaista kuvausta Suomen energiajärjestelmästä ja hillintätoimista eikä energiaverotuksesta. Tarkastelluissa skenaarioissa pyrittiin Pariisin

sopimuksen mukaisiin päästövähennyksiin tai vaihtoehtoisesti vajaan kolmen asteen skenaariota vastaavaan päästövähennykseen vuoden 2050 ympäristössä. Vertailukohtana laskelmissa oli ns. no policy -skenaario, jossa ilmastopolitiikka on lähtöaineiston eli vuoden 2014 tasolla. Päästövähennys oli siten suurempi kuin ilmasto- ja energiastrategian skenaarioissa, joissa vertailu tehdään uraan, jossa on käytössä enemmän ilmastopoliittisia toimia. Laskelmissa ei otettu huomioon LULUCF-sektorin hiilitasetta, eikä erityisesti sen muuttumista päästölähteeksi. Jos kasvanut päästövähennystarve muilla sektoreilla olisi otettu huomioon, taloudelliset vaikutukset ja bkt-tappio olisivat suuremmat.

Päästöjen vähentäminen lähes nollaan asettaa talousmallitarkastelulle merkittävän haasteen. Käytetty malli sisältää useita päästöttömiä sähkön tuotantomuotoja, mutta teknologian kuvaaminen CES-funktioiden avulla asettaa jäykkyyksiä siirtymään eikä esimerkiksi hiilivoimaloiden energiantuotantoa pystytä kokonaan poistamaan. Suurimmat puutteet liittyvät kuitenkin siihen, että malli ei kuvaa kotitalouksien teknologiavalintoja lämmityksen ja liikenteen osalta. Kotitalouksien päästövähennys jäikin melko pieneksi korkeista päästömaksuista huolimatta.

Hiilineutraalisuus edellyttää päästöttömään sähköön siirtymistä, sähköistymistä tukevaa teknologista kehitystä sekä energiatehokkuuden parantumista. Laskelmissa teknologioiden muutos kuvattiin eksogeenisesti sähköistymiseen liittyvien substituutiojoustojen ja tuottavuusparametrien avulla. Päästöjä vähennettiin Suomessa vajaa 80 prosenttia, joka laskelmissa vastasi 56 milj. hiilidioksiditonnia. Bkt aleni tällöin 1.2 %. Alkuperäisillä GTAP-E-POWER-mallin parametrien arvoilla päästövähennys olisi ollut 29 milj. hiilidioksiditonnia ja bkt olisi alentunut 1.5 % päästömaksujen ollessa RCP2.6-skenaarion mukaiset. Korotettujen substituutiojoustojen seurauksena, mutta ilman tuottavuuden nostoa, päästövähennys olisi 41 Mt CO<sub>2</sub> ja bkt-tappio 2.2 %.

Bkt-vaikutus riippuu merkittävästi siitä, missä määrin teknologinen muutos toteutetaan mallissa substituutiojoustojen ja missä määrin tuottavuusparametrien avulla, kuten edeltävästä kappaleesta ilmenee. Näiden osuuksista ei ollut käytettävissä arvioitua tietoa, joten muutoksen toteuttamisessa tähdättiin päästötavoitteiden lisäksi siihen, että bkt-vaikutus oli linjassa muiden tutkimusten tuottamien arvioiden kanssa. Vaikka bkt-vaikutus oli osin annettu, laskelmat tuottavat kuitenkin hyödyllistä tietoa siitä, miten bkt-vaikutus muodostuu eri huoltotasekomponenttien muutoksista ja ilmastomuutoksen hillinnän vaikutuskanavista talouteen sekä skenaarioiden välisistä eroista.

Laskelmat tukevat käsitystä siitä, että teknologinen kehitys on keskeisessä asemassa ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Jos sähkön tuotannossa kyetään siirtymään päästöttömään ja edulliseen sähköön, tuotannon energiantensiivisyyden ongelmallisuus vähenee. Tällöin talouden rakennemuutosta koskevat tulokset eivät enää riipu sektorien energiantensiivisyydestä vaan muista tekijöistä, kuten suhteellisen kilpailukyvyyn muutoksista.

Laskelmien mukaan muun teollisuuden tuotanto alenikin enemmän kuin energiantensiivisen teollisuuden. Tulos on kuitenkin herkkä sähkön hinnan muutokselle, ja arviot sähkön hinnasta pidemmällä aikavälillä vaihtelevat. Esimerkiksi sähkön hinta voi laskea, kun alhaisen rajakustannuksen omaavien tuotantomuotojen määrä kasvaa (Liski & Vehviläinen, 2016). Toisaalta Forsman ym. (2021) arvioissa sähköistämisen seurauksena kasvava kysyntä nostaa sähkön hintaa tarkastellussa laskelmassa noin 10 €/MWh.

Hankkeen laskelmat havainnollistavat, että kansainvälisen kaupan kautta tulevat vaikutukset ajavat merkittävässä määrin tuloksia. OECD (2021) nostaakin esiin kansainvälisen kilpailukyvyn yhtenä keskeisenä kysymyksenä, jota ilmastonmuutoksen hillintää ja vihreää siirtymää tarkastelevan talousmallinnuksen tulisi pystyä tarkastelemaan.

### 4.3 Ilmastonmuutoksen heijastevaikutukset Suomeen

Hankkeessa hyödynnetään KUITTI-hankkeen laskelmia ilmastonmuutoksen globaalien vaikutusten heijastumisesta Suomeen (Perrels ym., 2022). Ilmastonmuutoksen hillintää ja ilmastonmuutoksen heijastevaikutuksia tarkastellaan erillään, jotta kummankin laskelman vaikutuskanavat hahmottuvat selkeämmin. Julkisen talouden tarkastelussa hyödynnettiin laskelmia heijastevaikutuksista ilmastonmuutoksen vaikuttaessa trendinomaisesti globaaliin teholliseen työvoimaan. Maatalouden osalta heijastevaikutukset olivat merkityksettömiä julkisen talouden kestävyyslaskelmien näkökulmasta.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset työn tuottavuuteen maailmanlaajuisesti perustuivat KUITTI-hankkeessa Dasguptan ym. (2021) artikkeliin ja häneltä saatuun karttapohjaiseen vaikutusarvioaineistoon. Tehollista työpanosta koskevat arviot kattavat vaikutukset tuottavuuteen työtuntia kohden ja työtuntien määrään. Vaikutukset arvioitiin 3 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka suunnilleen kuvaa RCP4.5-skenaarion vuoden 2070 tilannetta, sekä 1,5 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka suunnilleen kuvaa RCP2.6-skenaarion tilannetta vuosina 2040 ja 2070. Vaikutusarviot on eroteltu ulkotyötä auringossa tekeville ja toisaalta sisätyötä tai ulkona suojassa työtä tekeville. Sopeutumistoimia, kuten ilmastoinnin lisäämistä nykytasolta, ei ole huomioitu.

Pitkän aikavälin heijastevaikutukset Suomeen olisivat lievästi positiiviset KUITTI-hankkeessa toteutetun GTAP-mallitarkastelun mukaan. Verrattuna tilanteeseen, jossa teholliset työpanokset olisivat nykytasolla, heijastevaikutus nostaisi Suomen bruttokansantuotetta noin 0,2 prosentilla 3 asteen lämpenemisen tapauksessa, joka kuvaa RCP4.5-skenaarion vuoden 2070 tilannetta. Myös 1,5 asteen lämpeneminen vastaten RCP2.6-skenaarion tilannetta vuosina 2040 ja 2070 aiheuttaa bkt-tappioita, joiden heijastevaikutus Suomen bkt:hen on 0,05 %.

Suomen kilpailuaseman paraneminen johtaa positiiviseen kokonaisvaikutukseen Suomen taloudelle, kun kansainvälisiä investointeja siirryy alueille, joissa ilmastonmuutos ei juurikaan alenna työn tuottavuutta, tai vaikutus on jopa positiivinen. Maailman kokonaistuotanto on puolestaan selvästi alemmalla tasolla ja Suomen vientiosuuksilla painotettu bkt-tappio on vajaa 2 prosenttia 3 asteen lämpenemisen tapauksessa. Tulosta selittää bkt:n aleneminen erityisesti Aasiassa, mutta myös Afrikassa, Lähi-Idässä ja USA:ssa. Suomen kokonaisvienti vähenee 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, kilpailuasema eri maiden välillä sekä kustannusten nousu Suomessa investointien seurauksena vaikuttavat kauppavirtavaikutusten suuntaan.

## 4.4 Ilmastonmuutoksen talousvaikutuksia NiGEM-mallissa

Tässä tutkimuksessa pääasiallinen lähtökohta mallinnukseen on talouden sektoreista kansantalouden tasolle etenevä ilmiölähtöinen tarkastelu. Vastakohtana tällaiselle alhaalta ylös - menetelmälle on estimoida tilastollisesti esimerkiksi keskilämpötilan muutoksen vaikutuksia kansantalouden arvonlisäyksen määrään paneeliaineiston avulla.

Ylätasoisesta näkökulmasta esimerkkinä olemme hyödyntäneet NiGEM-mallia. Seuraavassa kuvaamme ensin mallin ja sen jälkeen keskustelemme bkt-vaikutuksista. Mallin perusteella arvioitiin suuntaa-antavasti, millaisia vaikutuksia IPCC:n määrittelemää skenaariota RCP2.6 vastaava lämpötilaskenaario tuottaisi Suomelle lähivuosikymmeninä.<sup>19</sup>

### 4.4.1 NiGEM-malli

NiGEM on globaalia taloutta kuvaava makromalli, joka sisältää käyttäytymisyhtälöt yli 60 maalle tai alueelle. Mallia ylläpitää englantilainen NIESR-taloustutkimuslaitos. Malli sisältää maiden väliset taloudelliset linkit ulkomaankaupassa sekä rahoitus- ja pääomamarkkinoilla. Malli on ekonometrinen: sen käyttäytymisyhtälöt estimoidaan historiallisen makrodatan perusteella.

---

<sup>19</sup> Tosin skenaariot eivät ole suoraan verrannollisia, sillä IPCC:n skenaariossa lämpeneminen tapahtuu vuoteen 2100 mennessä.

NIESR on lisännyt globaalin makrotalouden NiGEM-malliinsa työkaluja, joiden avulla voidaan analysoida ilmastonmuutokseen liittyvän politiikan ja lämpötilan nousun taloudellisia vaikutuksia. Tätä kehitystyötä on tehty erityisesti Englannin keskuspankin aloitteesta. NiGEM-malli on hyödyllinen tällaisen arvion tekemisessä myös siinä mielessä, että sen avulla voidaan tarkastella taloudellisia vaikutuksia yli ajan, huomioiden myös ns. transitiokustannukset, jotka syntyvät siirryttäessä uuteen talouden tasapainoon.

Toimintaperiaatteeltaan NiGEM on ns. uuskeynesiläinen makromalli. Mallissa kansantalouden toimijoilla on odotuksia talouden tilasta tulevaisuudessa, ja ne ottavat nämä odotukset huomioon tehdessään päätöksiään. Rahoitus- ja pääomamarkkinat reagoivat shokkeihin nopeasti, mutta muun kansantalouden sopeutuminen ulkoiisiin shokkeihin, kuten politiikkamuutoksiin, on uuskeynesiläisen mallinuksen/teorian tapaan hidasta, minkä takia reaalityous ei tasapainotu välittömästi pitkän aikavälin tasapainoonsa. Hinnat ja palkat sopeutuvat hyödykkeiden ja työvoiman kysynnän ja tarjonnan tasapainon muutoksiin vähitellen.

Kaiken kaikkiaan mallia voisi luonnehtia niin, että se on keynesiläinen lyhyellä aikavälillä (ts. kysyntäjohteinen), mutta tarjontapuoli määrittää talouden tasapainon pitkällä aikavälillä. Malli on hyödyllinen lyhyen ja keskipitkän aikavälin sopeutumispolkujen analysoinnissa. Malli voidaan ratkaista rationaalisilla odotuksilla (eteenpäin katsovat kuluttajat) tai adaptiivisilla odotuksilla (nykyhetkeen/taaksepäin katsovat kuluttajat). Seuraavissa simuloinneissa malli on ratkaistu rationaalisilla odotuksilla.

Yritysten toiminnan mallitus on johdettu voitonmaksimointitavoitteesta. Optimaalinen pääomakanta määräytyy pitkällä aikavälillä työvoiman tarjonnan, teknologian kehityksen ja pääomakustannusten mukaan. Nämä kustannukset perustuvat korkotasoon, voittojen verotukseen yritystasolla ja pääoman kulumisvauhtiin. Historiallinen pääomakustannus on arvioitu painotettuna keskiarvona oman pääoman kustannuksista ja velan korosta.

Työmarkkinoiden tasapaino määräytyy pitkällä aikavälillä reaalisista työvoimakustannuksista ja teknisestä kehityksestä. Palkanmääräytyminen noudattaa ns. right-to-manage-periaatetta, jossa työnantajalla on oikeus päättää työllisyydestä, mutta reaalitypalkoista neuvotellaan yrityksen ja ammattiliiton välillä. Palkkaneuvotteluissa voidaan ottaa huomioon odotukset tulevasta inflaatiosta.

Mallissa julkisen talouden menot koostuvat pääosin julkisista investoinneista, julkisesta kulutuksesta, tulonsiirroista ja julkisen velan koroista. Tulonsiirrot määräytyvät työttömyysasteen ja huoltosuhteen muutosten ja osittaisen palkkaindeksoinnin kautta. Julkisen talouden tulot koostuvat pääosin henkilöihin kohdistuvan tuloveron, yhteisöveron,



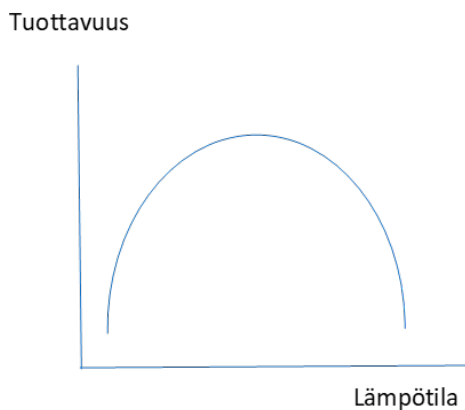
välillisen veron ja sosiaaliturvamaksujen tuotoista. Yhteisöveron veropohjana on mallissa toimintaylijäämä (liikevoitto), joka lasketaan vähentämällä arvonlisäyksestä työvoimakustannukset ja pääoman kuluminen.

#### 4.4.2 Lämpötilan nousun bkt-vaikutukset NiGEM-mallissa

Lämpötilan nousun oletetaan NiGEM-mallissa heijastuvan negatiivisesti globaaliin työn tuottavuuteen. Poliittikkamuutosten tapauksissa julkistalouden vaikutus tulee sekä (välittömästi) politiikkainstrumentin tuomista tuloista että (välillisesti) politiikan aikaansaamista vaikutuksista taloudelliseen aktiviteettiin.

Lämpötilan nousun vaikutusten taustalla on mallissa yhtälö, jossa on estimoitu lämpötilan muutosten sekä muiden kontrollien vaikutusta kunkin maan tuottavuuteen. Lämpötilan muutosten yhteyttä tuottavuuteen kuvataan mallissa polynomifunktiolla, jossa lämpötilan nousun ja tuottavuuden välinen yhteys on käänteisen U:n muotoinen. Lämpötilan ja tuottavuuden yhteyttä voidaan siten havainnollistaa kuviolla 7.

**Kuvio 7.** Lämpötilan ja tuottavuuden välinen yhteys



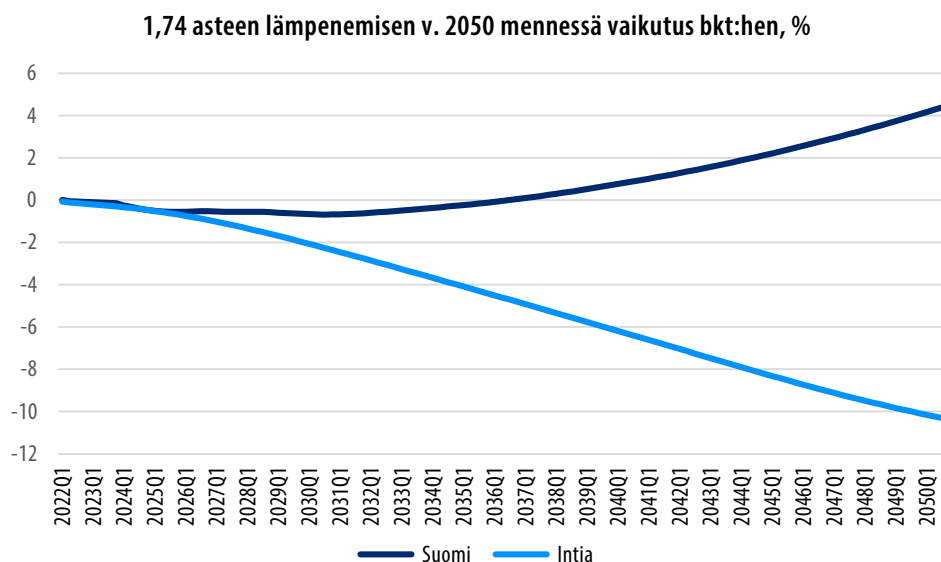
Taustalla on oletus, että on olemassa tietty optimaalinen keskimääräinen lämpötila, joka maksimoi tuottavuuden kussakin maassa. Esimerkiksi kylmässä maassa, kuten Suomessa, vuoden keskilämpötila on selvästi tämän optimaalisen lämpötilan alapuolella, jolloin keskimääräisen lämpötilan nousu johtaa tuottavuuden kasvuun. Tuottavuuden kasvun voidaan ajatella olevan seurausta mm. pidemmästä kasvukaudesta, mistä hyötyvät erityisesti maa- ja metsätaloussektorit. Lämpötilan nousun tuomia mahdollisia haittoja, kuten lisääntyvät sateet, tulvat ja metsäpalot, tällainen yksinkertainen lähestymistapa ei huomioi.

Toisaalta käänteisen U:n muotoinen yhteys lämpötilan ja tuottavuuden välillä tarkoittaa myös sitä, että sellaiset eteläiset maat kuten Intia, jossa keskimääräinen vuosilämpötila on korkea, kärsivät lämpötilan nousun vaikutuksista alenevan tuottavuuden muodossa.

Edellistä analyysiä voidaan havainnollistaa simulaatiolla, jossa on mallinnettu lämpötilan nousun vaikutuksia NiGEMilla Suomen ja Intian bkt:hen. Oletetaan, että maapallon keskilämpötila nousisi 1,74 astetta vuoteen 2050 mennessä. Tämä vastaisi suuruusluokaltaan IPCC:n määrittelemää skenaariota RCP2.6 ilmaston lämpenemiseksi. Tosin skenaariot eivät ole suoraan verrannollisia, sillä IPCC:n skenaariossa lämpeneminen tapahtuu vuoteen 2100 mennessä.

Talousvaikutuksia Suomeen on hieman korjattu NiGEM-simuloinnissa niin, että bkt-vaikutus olisi paremmin linjassa kirjallisuuden löytämien vaikutusarvioiden kanssa (ks. esim. Burke ym., 2015). Silti perustulos simulaatiosta on ilman korjaustakin muuttumaton: mikäli ei huomioida ilmastonmuutoksen takia tehtäviä sopeutumiseen liittyviä politiikkamuutoksia, jotka voivat aiheuttaa kustannuksia, Suomen kaltaiset pohjoiset maat saattavat jopa bkt-mielessä hyötyä ilmastonmuutoksesta.

**Kuvio 8.** 1,74 asteen lämpenemisen v. 2050 mennessä vaikutus bkt:hen, % verrattuna perusuraan



### 4.4.3 Johtopäätöksiä

Kaiken kaikkiaan NiGEM-mallin kaltaisen makroekonometrisen mallin suurimmat hyödyt ovat erilaisten taloudellisten siirtymien ja sokkivaikutusten kansantaloudellisessa mallintamisessa. Itse ilmastonmuutoksen mallintamisessa tarkastelutapa on herkkä oletuksille, sillä lämpötilan vaikutusfunktion pienetkin muutokset voivat johtaa merkittäviin muutoksiin ilmastonmuutoksen vaikutuksissa. Olennaista olisikin tappiofunktion asettaminen tarkasti kuvaamaan ilmastonmuutoksen eri vaikutuskanavia.

Pääpiirteissään NiGEMin tulokset ovat samansuuntaisia kuin muuallakin tässä raportissa: ilmastonmuutos ei tule vaikuttamaan Suomeen yhtä paljon kuin moniin muihin maihin, ja vaikutukset voivat jopa olla positiivisia tulevina vuosikymmeninä.

Käytännössä mallin tuottamien ilmastovaikutusten tulkitseminen nähtiin haastavaksi tässä hankkeessa niiden yleisluontoisuuden vuoksi, ja enemmän painoa annettiin siksi ilmiölähtöiselle tarkastelulle, jossa ilmastonmuutoksen eri puolista koottiin erikseen tietoa ja luotiin niistä kokonaisnäkemys mikrotasolta yhden tappiofunktion käyttämisen sijasta.

Luvussa 5.3 esitellään hiiliveron lyhyen aikavälin vaikutuksia NiGEM-mallissa.

## 5 Julkisen talouden vaikutukset

### 5.1 FOG-mallin yleiskuvaus

FOG on luonteeltaan **dynaaminen yleisen tasapainon malli**. Mallia ratkaistaessa etsitään sellaiset hintojen, palkkojen ja korkojen aikaurat, että talouden työ-, hyödyke- ja pääomamarkkinat tasapainottuvat. Talouspoliittisen toimenpiteen tai ulkoisen sokin jälkeen talous hakeutuu uuteen tasapainotilaan. Malli kuvaa sekä tasapainotilat että siirtymävaiheen niiden välillä. Markkinoiden lisäksi keskeisenä elementtinä on yritysten ja kotitalouksien eteenpäin katsova, optimointiin perustuva päätöksenteko. FOG-malli kuvaa avointa taloutta, joka käy kauppaa ulkomaiden kanssa ja jossa pääomaliikkeet vastaavat vaihtotaseen epätasapainoa. Julkisen sektorin päätöksenteko ei perustu optimointiin, vaan mallin käyttäjän antamiin käyttäytymissääntöihin. Vero- ja sosiaaliturvajärjestelmä on osa näitä käyttäytymissääntöjä. Mallin yhtälöitä ja sen kalibroitua on kuvattu tarkemmin julkaisuissa Valkonen (1999) ja Valkonen ja Lassila (2021).

**Kotitaloussektori** muodostuu eri-ikäisistä kotitalouksista. Ne suunnittelevat tulevaisuuttaan etukäteen: kukin kotitalous päättää kulutuksensa, työn tarjontansa ja antamansa perinnön suuruuden siten, että kotitalouden koko loppuelämää kuvaava odotettu hyöty maksimoituu. Hyödyn maksimoinnin keskeinen rajoite on, että elinkaaren aikainen hyödykekulutus ja annettavaksi suunniteltujen perintöjen suuruus vastaavat tuloja. Lisäksi kotitalouksilla on luottorajoite, joka pakottaa nettovarallisuuden aina positiiviseksi (kotitalous ei voi tasata kulutusta lainaamalla). Kokonaishyöty muodostuu periodeittaisista hyödyistä, jotka riippuvat kulutuksesta ja vapaa-ajan määrästä sekä annetusta perinnöstä. Kotitaloudet ottavat nykyiset ja tulevat hinnat, palkat ja korot annettuina, samoin verot ja muut talouteen vaikuttavat mutta yksittäisen kotitalouden päätösten kannalta eksogeeniset asiat. Kotitaloudet tekevät päätöksensä täydellisen ennakkotietämyksen vallitessa. Mallissa on kolmea koulutusastetta edustavia kotitalouksia, jotka ovat joko työllisiä elinkaarihyödyn maksimoijia, tai tulonsa samalla periodilla kuluttavia työttömiä. Väestönkehitys määrittelee kotitaloussektorin koon ja ikärakenteen. Mallin väestö perustuu Suomen väestöhistoriaan ja Tilastokeskuksen vuoden 2021 väestöennusteeseen.

**Yrityssektori** toimii maailmassa, jossa on vakioiset skaalatuotot ja täydellinen kilpailu. Yritysten samanlaisuuden vuoksi voidaan tarkastella edustavan yrityksen päätöksentekoa. Tavoitteena on maksimoida yrityksen osakemarkkina-arvoa ja siten osakkeenomistajina toimivien kotimaisten kotitalouksien varallisuutta. Yritys kombinoi työ- ja pääomapanosta käyttämällä saatavaa arvonnollista (CES-tuotantofunktio) ja välipanosta (vakio-osuus arvonnollisista). Yritys ottaa annettuna hinnat, tuotannon kysynnän ja panosten tarjonnan eri

hinnoilla, tuotantoteknologian ja verotuksen. Kullakin periodilla tuotannossa käytettävä pääomakanta periytyy edelliseltä periodilta. Periodin päätösmuuttujina ovat välipanosten ja työvoiman käyttö ja seuraavan periodin pääomakantaa lisäävät investoinnit. Työvoiman käyttöä voidaan muuttaa kitkatta, mutta pääomakannan kasvattaminen tai vähentäminen aiheuttaa sen sijaan kustannuksia. Investoinnit rahoitetaan tulorahoituksella (yritysten säästämislä) ja lainoilla.

**Julkinen sektori** koostuu valtiosta, edustavasta kunnasta, julkisen ja yksityisen sektorin eläkevakuutuslaitoksesta ja muita tulonsiirtoja jakavasta laitoksesta (Kela+työttömyysrahoitus). Valtio saa tuloja veroista (kulutuksen, ansiotulojen ja erityyppisten pääomatulojen verot kotitalouksilta ja yhteisövero yrityksiltä) ja omaisuuden tuotosta. Tulot käytetään velan korkoihin, tulonsiirtoihin kunnille ja sosiaaliturvajärjestelmään. Valtiontalous tasapainotetaan tyypillisesti könttösumatulonsiirrolla tai -verolla, mutta myös muita veroja on mahdollisuus käyttää. Myös velan lisäystä voidaan käyttää julkisten menojen rahoitukseen, mutta sen suhde kansantuotteeseen on vakiinnutettava pitkällä aikavälillä.

**Kunnat** rahoittavat toimintansa kunnallisverolla ja kuntien valtionavulla. Tulot käytetään julkisten palvelujen, kuten koulutuksen, terveydenhuollon ja pitkäaikaishoidon rahoittamiseen. Kunnat tuottavat näitä palveluja ja ostavat niitä tarvittaessa yrityksiltä. Tuotannossa tarvitaan työvoiman lisäksi välipanoshyödykkeitä. Hyvinvointialueiden toimintaa ja rahoitusta ei ole erotettu sektorista. Kunnallisvero tasapainottaa sektorin.

**Eläkevakuutuslaitokset** rahoittavat eläkkeet työntekijöiden ja työnantajien maksuilla ja eläkerahaston tuotoilla. Yksityistä ja julkista työeläkesektoria edustaa kumpaakin yksi laitos. Eläke-etuksien määräytymissäännöt on mallitettu suhteellisen tarkasti. Kotitaloudet ottavat nämä eläkesäännöt huomioon työn tarjonta- ja säästämissäätöksissään. Yksityisalojen työeläkejärjestelmä on mallitettu myös rahoitussäännöiltään yksityiskohtaisesti. Työeläkemaksu tasapainottaa sektorin.

**Muu sosiaaliturvassektori** jakaa tulonsiirtoja iän, työttömyyden ja syntyvyyden perusteella. Se tasapainotetaan työntekijöiltä ja työnantajilta perityillä sosiaaliturvamaksuilla.

**Ulkomaat** näkyvät mallissa väestöennusteeseen sisältyvän nettomaahanmuuton, ulkomaankaupan ja pääomaliikkeiden kautta. Kotimaassa tuotetun hyödykkeen vientikysyntä määräytyy ulkomaisen kysynnän kasvumuuttujan ja kotimaisen ja tuontihyödykkeen hintasuhteen (*Armington-jousto*) mukaan, mikä tarkoittaa, että maalla on jonkin verran monopolivoimaa kansainvälillä markkinoilla. Tuontihyödykettä on saatavilla rajatta kiinteään hintaan. Tuontihinta toimii hintajärjestelmän arvonmäärittäjänä (*numeraire*).

**Työmarkkinat** ovat kilpailulliset. Palkka määräytyy siten, että se tasapainottaa työvoiman tarjonnan (työtunnit) ja kysynnän. Kotitaloudet saavat työstä nettopalkan (bruttopalkka – verot ja sosiaaliturvamaksut) ja kartuttavat eläkeoikeuksia, ja yritykset maksavat bruttopalkat sosiaaliturvamuksineen. Osa työvoimasta on julkisen sektorin palveluksessa tuottamassa koulutus-, sosiaali-, terveys- ja hallintopalveluja. Muu työvoima on yritysten käytettävissä. Kotitalouksien tarjoama tehokas työpanos määräytyy iän, koulutustason ja mallin käyttäjän antaman työn tuottavuuden kasvuvauhdin mukaan. Työn tuottavuuden kasvu oletetaan julkisella sektorilla tyypillisesti nollassa, mutta palkka on sama kuin yksityisellä sektorilla. Tästä seuraa, että tuotantokustannukset nousevat julkisissa palveluissa (ns. Baumol-vaikutus),

**Hyödykemarkkinoilla** kotimaassa tuotetun hyödykkeen hinta tasapainottaa kysynnän ja tarjonnan. Hyödykkeen kotimainen kysyntä perustuu siihen, että sitä yhdistetään tuontihyödykkeeseen, jolloin saadaan yhdistelmähyödykkeitä tuotannon välipanoksiksi, kulutukseen ja investointeihin. Kotimaassa tuotetun ja tuontihyödykkeen osuudet yhdistelmähyödykkeissä vaihtelevat eri käyttötarkoituksissa. Osuudet muuttuvat hintasuhteiden muuttuessa substituutiojouston määrittelemällä tavalla. Lisäksi kotimaista hyödykettä viedään sellaisenaan ulkomaille.

**Rahoitusmarkkinat** jakautuvat osake- ja joukkolainamarkkinoihin. Eri sektoreiden omistus- ja velkarakennetta voidaan muuttaa, mutta tyypillisesti se on yksinkertaistettu niin, että kotitaloudet ja yritykset tekevät päätöksensä kiinteän koron ehdoilla. Yritysten lainakannan suhde pääomakannan hankintahintaan on kiinnitetty. Kotimaiset kotitaloudet omistavat yritysten osakkeet ja joukkolainat. Eläkerahastot omistavat ulkomaisia osakkeita ja joukkolainoja. Valtio lainaa ulkomailta ja sijoittaa ulkomaille. Näiden sektoreiden kohtamat tuotot ja lainakorot voivat olla mallissa stokastiset, mutta tässä tutkimuksessa ne ovat kiinteitä. Kansantalouden investoinnit rahoitetaan eri sektoreiden säästämisen summasta muodostuvan kokonaissäästämisen ja ulkomaisen nettoluotonoton avulla.

**FOG-mallin perusajon** eksogeeninen dynamiikka jäljempänä esitellyissä simuloinneissa perustuu väestörakenteen ja koulutusrakenteen muutoksiin, tuottavuuden kasvuun kotimaisessa tuotannossa ja vientimarkkinoiden kasvuun. Tarkempi kuvaus FOG-mallissa tyypillisesti käytetyistä oletuksista ja sen toiminnasta löytyy lähteestä Valkonen ja Lassila (2021).

## 5.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset FOG-mallissa

### 5.2.1 Ilmastonmuutoksen potentiaaliset vaikutuskanavat

FOG-mallissa ei ole suoraan ilmastonmuutoksen vaikutuksia kuvaavia muuttujia, mutta sillä voidaan imitoida muiden mallien tulosten avulla julkisen talouden vaikutuksia. Esimerkiksi DICE-mallin tyyppisen vahinkofunktion käyttäytymistä voidaan matkia tuotantofunktion kokonaistuottavuutta tai työn tuottavuuden kasvuvauhtia muuttamalla, jos tiedetään, millaista bkt-uraa tavoitellaan. Vastaavasti sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia sokkeja pääomakantaan voidaan jäljitellä poistovauhdin väliaikaisilla muutoksilla, kuten tutkimuksessa Catalano ym. (2019).

Edellä mainitut vaikutuskanavat muuttavat yritystoiminnan kannattavuutta. Jos se heikenee, yritysten osakemarkkina-arvo, investoinnit ja tuotanto supistuvat. Tarjontasokin vaikutukset leviävät palkkoihin, työpanokseen ja yksityiseen kulutukseen. Näin ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät kaikissa keskeisissä veropohjissa.

Suorien kotimaiseen tuotantoteknologiaan ja tuottavuuteen kohdistuvien vaikutusten lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat tulla kansainvälisten linkkien kautta. FOG-mallin tapauksessa tämä voisi toteutua vientikysynnän kasvun heikkenemisen, kansainvälisen korkotason muutosten ja maahanmuuton kautta. Näistä kaksi ensin mainittua on helppo tuoda malliin muuttamalla vastaavien eksogeenisten muuttujien arvoja, jos vaikutusten suuruus tiedetään. Sen sijaan ilmastoperusteisen muuttoliikkeen vaikutusten huolellinen tutkiminen edellyttäisi tarkempia oletuksia muuton määrästä ja ajoituksesta ja tulijoiden ikä-, sukupuoli- ja koulutusrakenteesta, sekä sosiaaliturvan tarpeesta. Se olisi oman tutkimushankkeensa vaativa ponnistus.

Ilmastonmuutoksen vaikutusten kohdentaminen julkisiin menoihin edellyttää FOG-mallissa muualta saatua tietoa hyötyjen/vahinkojen suuruudesta ja ajoituksesta. Potentiaalisina vaikutuskanavina ovat esimerkiksi infrastruktuurin ylläpidon kustannukset ja terveysmenot. FOG-mallissa ei ole julkisia investointeja, mutta vahinkojen korjaamismenoja voidaan jäljitellä lisäämällä julkisen kulutuksen vaatimaa yksityisten hyödykkeiden kysyntää. Julkisten investointien puuttuminen mallista tarkoittaa, ettei niitä voida käyttää tuottavuuden kasvattamiseen palvelutuotannossa.

Yksityinen sektori sopeutuu ilmastonmuutokseen myös ilman ilmastopolitiikkaa. Investointeja kasvatetaan ja kohdennetaan uudelleen ja ilmastoinnovaatiot lisääntyvät. Yrityksiä kuolee ja uusia syntyy. Samoin kotitalouksien preferenssit muuttuvat. Näitä ilmiöitä ei ole huomioitu FOG-mallissa.

## 5.2.2 Ilmastosimulaation oletukset

Seuraavassa esitellään esimerkinomaisia laskelmia siitä, miten GTAP-mallista saatuja ilmastomuutoksen reaalitaloudellisia vaikutuksia voidaan siirtää FOG-malliin ja miten mallin julkinen talous reagoi näihin vaikutuksiin. Kun kyse on staattisen yleisen tasapainon mallituloksen vaikutusten siirrosta dynaamiseen malliin, tehdyillä oletuksilla esimerkiksi siitä, mitä tapahtuu alku- ja lopputasapainon välillä, on periaatteessa huomattavaa merkitystä sille, millaisia tuloksia saadaan.

Tutkitussa tapauksessa on kuitenkin niin, että vaikutukset kolmeen keskeiseen vaikutuskanavaan, eli vientikysynnän, Suomeen tulevien ulkomaisten investointien ja kotimaisen tuottavuuden tasoon, ovat huomattavan pienet suhteessa yleisen tuottavuuden kasvun tasovaikutuksiin. Kun lisäksi tutkimuksen kohteena ovat vähitellen kasvavat vaikutukset talouteen, niin erilaisten oletusten merkitys urasta on tässä nimenomaisessa tapauksessa vähäinen.

GTAP-malli on staattinen monen maan malli, jolla voidaan tutkia koko maailman ilmastomuutoksen vaikutuksia talouteen, mutta sen julkisen talouden mallitus on vähemmän yksityiskohtainen kuin dynaamisessa FOG-mallissa. Testasimme mallien vuorovaikutusta siirtämällä KUITTI-hankkeessa laskettuja 3 asteen lämpenemisen GTAP-tuloksia (Perrels ym. 2022) FOGiin. Heijastevaikutuksia koskevia tuloksia on kuvattu luvussa 4.3. Lisäksi Suomen tuottavuuden taso nostettiin 1,4 % korkeammaksi pitkällä aikavälillä. Tämäkin arvio perustuu KUITTI-hankkeen GTAP-tuloksiin ja laskelmissa hyödynnettyihin Dasguptan ym. (2021) arvioihin ja Dasguptan toimittamaan yksityiskohtaiseen karttapohjaiseen aineistoon ilmastomuutoksen vaikutuksista työn tuottavuuteen Suomessa ja muualla maailmassa. Tässä vaiheessa on syytä korostaa, että simulointituloksiin liittyy suurta epävarmuutta, mutta vaikutusten mittakaava vastaa muuta informaatiota.

Ilmeisenä ongelmana on, että staattisen tasapainomallin tulos kuvaa ilmastomuutoksen vaikutuksia pitkän aikavälin tasapainossa, mutta FOG-malli päättyy tasaisen kasvun uralle vasta joskus 2100-luvulla, kun väestömuutos pysäytetään. Seuraavassa kokeilussa on otettu GTAP-mallin tuloksia ja sovitettu niitä FOG-mallissa vuoteen 2050. Ideana on tarkastella vaiheittain kolmen ilmastomuutoksen seurauksen vaikutuksia, joita ovat vientikysynnän muutos, Suomeen tulevat investoinnit ja kotimainen tuottavuuden kasvu.

GTAP uudessa tasapainossa:

Vientimaiden bkt:n taso vientipainoilla -1,9 %

Ulkomaisten investointien kasvu nostaa heijastevaikutukset

kokonaisuudessaan positiiviseksi, ja Suomen bkt:n taso on niiden vuoksi

+0,2 % korkeampi.



## FOG-malliin tehtävät muutokset:

Muutetaan vientikysynnän kasvuvauhtia vuodesta 2030 alkaen niin, että vientikysynnän tavoiteltu muutos vuonna 2050 toteutuu. Jätetään kasvuvauhti vuoden 2050 tasolle siitä eteenpäin.

Lasketaan korkotasoa vuodesta 2030 alkaen niin, että tavoiteltu ulkomaisista investoinneista syntyvä kasvuvaikutus toteutuu vuonna 2050. Pidetään korkotaso pysyvästi alempana tämän jälkeen.

Nostetaan työn tuottavuuden kasvuvauhtia vuodesta 2030 alkaen niin, että tuottavuuden taso on tavoiteltu vuonna 2050. Jätetään kasvuvauhti pysyvästi korkeammaksi.

**Taulukko 5.** Ilmastonmuutoksen vaikutusten tuominen FOG-malliin, eksogeenisten muuttujien arvojen muutokset, prosenttiyksikköä.

|                                          | 2020–<br>2024 | 2025–<br>2029 | 2030–<br>2034 | 2035–<br>2039 | 2040–<br>2044 | 2050–<br>2054 | 2090–<br>2094 |
|------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Vientikysynnän kasvuvauhti               | 0             | 0             | -0,078        | -0,078        | -0,078        | -0,078        | -0,078        |
| Korko                                    | 0             | 0             | -0,07         | -0,07         | -0,07         | -0,07         | -0,07         |
| Kotimainen työn tuottavuuden kasvuvauhti | 0             | 0             | 0,056         | 0,056         | 0,056         | 0,056         | 0,056         |

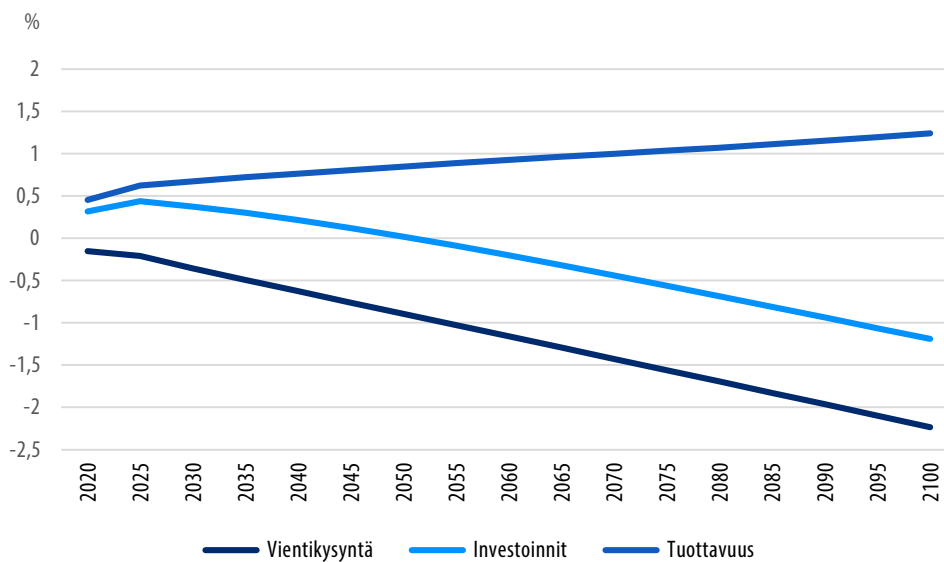
Valtiontalouden menot ja tulot tasapainotetaan tässä simulaatiossa valtion velalla. Muiden verojen käyttö aiheuttaisi monimutkaista dynamiikkaa (esimerkiksi kulutusveron nosto vaikuttaa tulonsiirtojen indeksoinnin kautta julkisiin menoihin ja kasvattaa sitä kautta veroasteen nostotarvetta alkuperäisestä). Sen sijaan muut kokonaisveroasteen komponentit, kuten kunnallisverot ja erilaiset sosiaaliturvamaksut tasapainottavat oman julkis-talouden lohkonsa. Käytämme näitä tasapainotustapoja kaikissa jatkossa esiteltävissä simulaatioissa.

### 5.2.3 Ilmastosimulaation tulokset

Simulaatiot on tehty vaiheittain. Tulokset on esitetty kuviossa 9. Ensin on laskettu vientikysynnän heikkenemisen vaikutukset, jotka vähentävät vientiä niin paljon, että bkt on pari prosenttia matalampi kuin perusajossa vuosisadan lopulla. Seuraavassa simulaatiossa on mukana sekä vientikysynnän lasku että matalampi korkotaso kuin perusajossa. Kuvioista nähdään, että Suomen korkeamman pääoman tuoton tuomat investointivaikutukset, jota jäljitellään koron laskun avulla, kompensoivat pitkään vientimarkkinoiden hitaamman kasvun negatiiviset vaikutukset kotimaiseen bkt:hen, mutta kansainvälisten markkinoiden heijastevaikutukset kääntyvät kokonaisuudessaan vuosisadan loppupuoliskolla hieman negatiivisiksi. Bkt laskee edelleen noin prosenttiyksiköllä.

Kolmannessa vaiheessa huomioidaan lisäksi, että kotimaisen tuottavuuden kasvuvauhti on hieman kiihtynyt. Tämä pieni muutos aiheuttaa sen, että kokonaisvaikutus bruttokansantuotteeseen nousee hieman positiiviseksi. Tulosten mittakaavaa tulkittaessa kannattaa huomata, että bkt lähes kolminkertaistuu perusajossa 80 vuodessa.

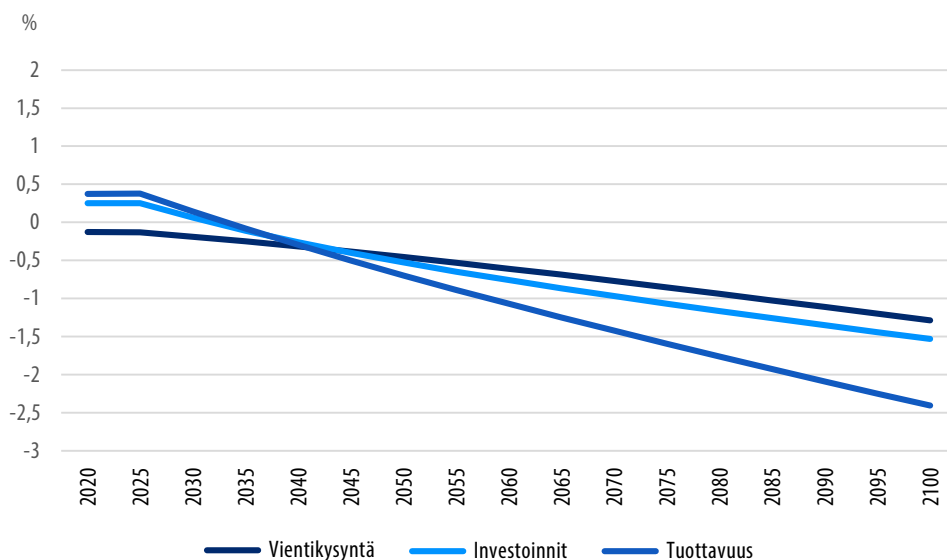
**Kuvio 9.** Bkt:n muutos vaiheittaisissa ilmastosimuloinneissa, prosenttia suhteessa perusajoon



Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

Vaihtosuhteen heikkeneminen vientikysynnän heikentyessä johtuu siitä, että kotimainen kysyntä reagoi tulojen menetykseen voimakkaasti, ja tuotanto jää suuremmaksi kuin kysyntä. Heikentynyttä vientikysyntää kompensoidaan hintaa laskemalla. Ulkomaisien investointien ja kotimaisen tuottavuuden kasvun nopeutumisen myötä paine kasvat-  
taa vientiä lisääntyy entisestään, ja vaihtosuhteen alamäki jyrkkenee. Näin nopeamman talouskasvun hyödyistä osa valuu ulkomaille.

**Kuvio 10.** Vaihtosuhteen muutos vaiheittaisissa ilmastosimuloinneissa, prosenttia suhteessa perusajoon

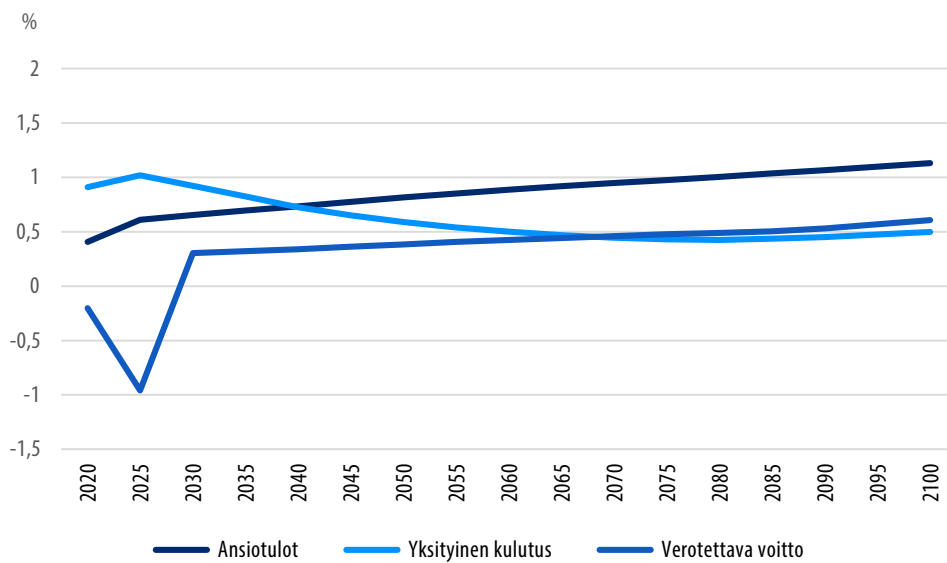


Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

Kokonaisverotulojen kasvuprofiili on samanlainen kuin bruttokansantuotteen, mutta eri veropohjissa on eroja. Kokonaisuudessaan vaikutukset ovat erittäin pieniä. Kuviossa 11 on verrattu veropohjien suuruutta perusajossa ja ilmastonmuutoksen vaikutusten jälkeen. Yritykset ennakoivat tuottavuuden kasvun kiihtymistä jo ennen sen toteutumista kasvattamalla investointejaan ja velanottoa, jolloin korkomenojen kasvu vähentää yhteisöveron

tuottoa väliaikaisesti. Työn tuottavuuden kasvun vuoksi kotitalouksien palkkatulot kasvavat enemmän kuin kotitalouksien kokonaistulot, minkä takia kulutuksen kasvu jää pienemmäksi kuin palkkasumman.

**Kuvio 11.** Veropohjien muutokset ilmastsimuloinnissa, prosenttimuutokset suhteessa perusajoon



Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

Veropohjien tasoerojen ollessa marginaalisen pienet, myös verotuksen tuoton muutos on vähäinen. Alla olevassa taulukossa näkyy kokonaisveroasteen vähäinen lasku, joka syntyy lähinnä kuntien ja sosiaaliturvajärjestelmän saamien vero- ja maksutulojen kasvun seurauksena. Tämä perustuu työn tuottavuuden nousun suurentamiin ansiotuloihin. Toisaalta valtiontalouden alijäämä ja sen myötä valtion velka/bkt kasvaa hieman valtion pitäessä veroasteet ennallaan. Näin pienten muutosten tarkka jäljittäminen on hankalaa, mutta todennäköisesti alijäämän kasvu johtuu siitä, että valtion menojen palkkasidonnaisuus on

suurempi kuin tulojen. Valtion menoissa painottuvat muun muassa kuntien valtionavut ja verotuloissa hitaammin kasvavien yksityisen kulutuksen, voittojen ja pääomatulojen verotamisella on merkittävä rooli.

**Taulukko 6.** Julkisen talouden tunnuslukujen muutos suhteessa perusajoon ilmastonmuutoksen vuoksi, prosenttiyksikköä

|                    | 2020–<br>2024 | 2025–<br>2029 | 2030–<br>2034 | 2035–<br>2039 | 2040–<br>2044 | 2050–<br>2054 | 2090–<br>2094 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Julkiset menot/bkt | 0,003         | -0,002        | -0,027        | -0,045        | -0,045        | -0,049        | -0,025        |
| Kokonaisveroaste   | 0,203         | 0,004         | -0,040        | -0,070        | -0,097        | -0,137        | -0,228        |
| Valtion velka/bkt  | -0,876        | -0,760        | -0,561        | -0,283        | 0,068         | 0,951         | 6,113         |
| Bkt:n tasoero, %   | 0,453         | 0,622         | 0,673         | 0,722         | 0,763         | 0,085         | 1,152         |

Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

Näitä tuloksia voidaan verrata esimerkiksi laskelmiin ilmastonmuutoksen vaikutuksista julkiseen talouteen Itävallassa (Bachner ja Bednar-Friedl, 2019). Tutkimuksessa arvioidiin RCP4.5-skenaarion vaikutuksia staattisella monisektorisella yleisen tasapainon mallilla. Vaikutuksia kuvattiin alhaalta ylöspäin erilaisilla sektorimalleilla ja tulokset yhdistettiin YTP-malliin. Uusi tasapaino laskettiin vuodelle 2050. Tulosten mukaan veropohjamuutokset aiheuttivat pienen menetyksen verotuloissa (0,1 % BKT:stä). Menopuolella kasvoivat merkittävimmin äkillisten sääilmiöiden aiheuttamat menot (0,1 % BKT:stä). Julkisen sektorin tasapainottavia muita menoja piti mallissa laskea 0,3 % BKT:stä. Tulokset kertovat kokonaisvaikutusten olevan varsin vähäiset.

## 5.2.4 Kotimaisten verojen korotukset FOG-mallissa

Kun staattisella yleisen tasapainon mallilla tehdään politiikkasimulaatioita, tulkintana on, että tulokset koskevat tiettyä ajankohtaa riittävän kaukana tulevaisuudessa, kun politiikan kaikki vaikutukset ovat näkyvissä. Kun politiikkasimulaatioita tehdään dynaamisella mallilla, joudutaan ottamaan kantaa siihen, millainen politiikan aikaura toteutuu. Ilmastopolitiikan suhteen kyse on silloin siitä, pidetäänkö hiilen hinta pysyvästi korkealla ja missä aikataulussa ja millä tavalla talous sopeutuu tähän pysyvään muutokseen.

GTAP-mallin tyyppisessä staattisessa mallissa päästömaksun nosto johtaa uuteen tasapainoon, jossa fossiilista energiaa käytetään vähän. Jotta FOG-mallilla voitaisiin jäljitellä samanlaista politiikkapolkua, pitäisi pystyä jäljittelemään sekä hiilen hinnan nousun että fossiilisten polttoaineiden käytön vähenemisen vaikutuksia julkiseen talouteen. Tällaista politiikan ja sen vaikutusten aikauraa ei voida tuottaa GTAP-mallin simulaatioiden tuottaman informaation perusteella.

FOG-mallissa ei ole tällä hetkellä erikseen ympäristöveroja, tai sellaisia veropohjia, joilla olisi suora yhteys päästöjen suuruuteen. Näin siitä puuttuu esimerkiksi energiantuotantoon tai -kulutukseen kohdennetun verotuksen vaikutus energian käyttöön ja suhteellisiin hintoihin. Samoin puuttuu hiilen hinnan nostamismahdollisuus päästökaupan avulla. Lähimmäs ilmastopolitiikan välittömiä taloudellisia vaikutuksia päästään verottamalla/verotukemalla yritysten voittoja ja/tai kotitalouksien kulutusta.

Jotta politiikkamuutokset voitaisiin ankkuroida johonkin mittakaavaan, seuraavassa on otettu lähtökohdaksi sellainen kulutusverotuksen muutos, joka staattisessa laskelmassa vastaisi energiaverotuksen tuoton kaksinkertaistamista. Verotuotto oli vuonna 2020 4,6 mrd. euroa, mikä vastasi vajaata 4 prosenttia yksityisen kulutuksen arvosta. Tämä on myös lähellä GTAP:ssä käytetyn hiilen hinnan noston tulovaikutusten mittakaavaa (RCP2.6 + kehittynyt teknologia -vaihtoehdossa). Simuloinnissa nostetaan kulutusveroastetta vähitellen niin, että se nousee 4 prosenttiyksikköä korkeammaksi vuonna 2035 alkavalla viisivuotisjaksolla. Sen jälkeen se palaa aiemmalle tasolle pysyvästi.

Vaihtoehtoisessa simulaatiossa on tehty oletus, jonka mukaan hiilen hinnan noston kohtaanto osuu osittain yritysten kannattavuuteen. Tätä on jäljitelty yhteisöveroasteen noston avulla. Veroa on nostettu viiden vuoden välein prosenttiyksiköllä, niin että se on periodilla 2035–2039 neljä prosenttiyksikköä nykyistä korkeampi, ja laskettu sen jälkeen pysyvästi ennalleen.

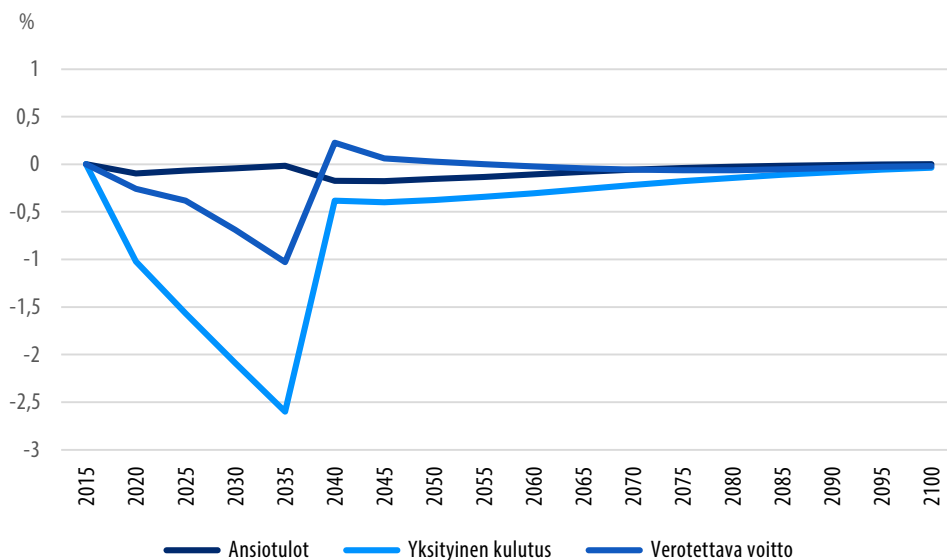
### 5.2.5 Simulointitulokset

FOG-mallissa kotitalouksilla ja yrityksillä on täydellinen ennakkotietämys, joka vaikuttaa olennaisesti siihen, miten ne reagoivat väliaikaisiin veronkorotuksiin. Kotitaloudet tekevät uuden elinkaarisuunnitelman, jossa tasataan uuden tiedon valossa kulutusta ja työvoiman tarjontaa yli ajan. Yritykset reagoivat myös eteenpäin katsovasti investointitoiminnassaan. Investointien suuria kasvumuutoksia vaimentaa investointien sopeutumiskustannus.

Tarkastellaan ensin yksityiseen kulutukseen kohdistuvan **kulutusveron** väliaikaisen korotuksen vaikutuksia. Kun veromuutos on väliaikainen, talous palaa samalla kasvu-uralle hyvin pitkällä aikavälillä. Simuloitu kulutusveron nostopolku tulee yllätyksenä mallin eri ikäisille kotitalouskohorteille, jotka reagoivat sen mukaan, kuinka paljon niillä on työuraa jäljellä, kuinka paljon niillä on varallisuutta ja millaisia tulonsiirtoja ne saavat.

Kulutusveron korotuksesta aiheutuva kuluttajahintojen nousu alentaa reaali-palkkoja ja kertaluonteisesti olemassa olevan varallisuuden ostovoimaa, mutta hintaindeksointi kompensoi työeläkkeiden ja muiden kuluttajahintoihin sidottujen tulonsiirtojen ostovoimamuutoksia. Kulutusta tasataan yli ajan ensin elinkaarisaastamista vähentämällä ja veron laskun jälkeen sitä kasvattamalla. Kotitalouksien tulojen ostovoiman alenemisvaiheessa kulutus joka tapauksessa vähenee. Samoin käy työvoiman tarjonnalle palkan ostovoiman alenemisen vuoksi. Ne palautuvat vähitellen samalle kasvu-uralle, kun veronkorotuksen vaikutukset poistuvat. Yritysten kannattavuus heikkenee ja investoinnit vähenevät väliaikaisesti yksityisen kulutuksen ja tuottajahintojen laskun vuoksi.

**Kuvio 12.** Kulutusveroasteen väliaikaisen noston vaikutukset veropohjiin, prosenttimuutokset suhteessa perusajoon



Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

Palkkojen pieni väliaikainen lasku alentaa julkisia menoja, mutta hintaindeksoidut tulonsiirrot kasvattavat niitä. Kulutusveron nosto alentaa valtion velkaa pysyvästi runsaalla 10 prosentilla suhteessa bruttokansantuotteeseen. Korkomenojen väheneminen tuottaa pienen pysyvän ylijäämän valtiontalouteen.

**Taulukko 7.** Julkisen talouden tunnuslukujen muutos suhteessa perusajoon, kulutusveroasteen väliaikainen nosto, prosenttiyksikköä

|                           | 2020–<br>2024 | 2025–<br>2029 | 2030–<br>2034 | 2035–<br>2039 | 2040–<br>2044 | 2050–<br>2054 | 2090–<br>2094 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Kulutus-<br>veroaste, %   | 1             | 2             | 3             | 4             | 0             | 0             | 0             |
| Kulutus-<br>verotulot/bkt | 0,228         | 0,490         | 0,761         | 1,029         | -0,025        | -0,033        | -0,007        |
| Julkiset menot/<br>bkt    | -0,036        | -0,065        | -0,148        | -0,251        | -0,288        | -0,248        | -0,182        |
| Kokonaisvero-<br>aste     | 0,165         | 0,438         | 0,659         | 0,863         | -0,173        | -0,126        | -0,008        |
| Valtion velka/bkt         | -0,947        | -3,393        | -7,163        | -12,185       | -12,036       | -12,078       | -12,537       |

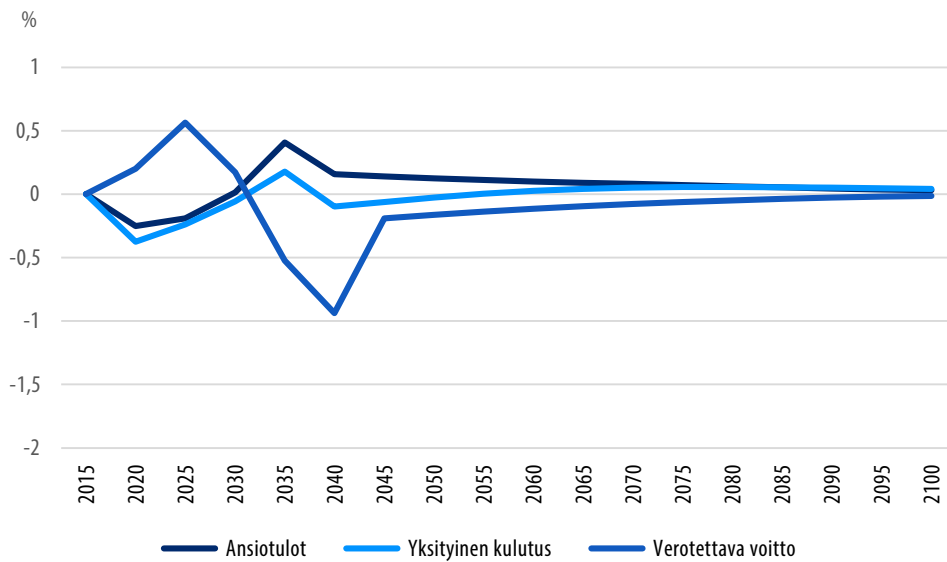
Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

Tarkastellaan seuraavaksi **yhteisöveron** väliaikaisen korotuksen keskeisiä vaikutuksia kansantalouteen ja julkiseen talouteen FOG-mallissa. Tarkempia tuloksia on esitelty julkaisussa Valkonen ym. (2014), jossa kuvataan Suomea koskevan yhteisöveromuutoksen vaikutuksia myös NiGEM-mallissa.

Yhteisöveron korotus alentaa veron jälkeisiä voittoja ja laskee sitä kautta yritysten markkina-arvoa ja omistajien varallisuutta. Se myös nostaa uusien investointien tuottovaatimusta. Investointien väheneminen johtaa kotimaisen kokonaiskysynnän vähenemiseen, mutta kun tarjonta reagoi hitaasti, tuottajahinta laskee, samoin kuin palkat ja yksityinen kulutus. Kun kyseessä ovat pienen avotalouden yritykset, yhteisöveron kohtaannosta huomattava osa on aluksi yritysten omistajilla ja palkkavaikutuksen kautta myös kotitalouksilla. Kun veromuutos on väliaikainen, talous palaa pitkällä aikavälillä aiemmalle kasvu-uralle. Julkisessa taloudessa verotuksen väliaikainen kiristyminen näkyy kokonaisveroasteen nousuna ja valtiontalouden ylijäämänä. Valtion velkasuhde alenee parilla prosenttiyksiköllä, mistä seuraa pieni pysyvä ylijäämä valtiontalouteen.



**Kuvio 13.** Yhteisöveroasteen väliaikaisen noston vaikutuksen veropohjiin, prosenttimuutokset suhteessa perusajoon



Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

**Taulukko 8.** Julkisen talouden tunnuslukujen muutos suhteessa perusajoon, yhteisöveroasteen väliaikainen nosto, prosenttiyksikköä

|                           | 2020–<br>2024 | 2025–<br>2029 | 2030–<br>2034 | 2035–<br>2039 | 2040–<br>2044 | 2050–<br>2054 | 2090–<br>2094 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Yhteisö-<br>veroaste, %   | 1             | 2             | 3             | 4             | 0             | 0             | 0             |
| Yhteisövero-<br>tulot/bkt | 0,054         | 0,306         | 0,478         | 0,607         | 0,013         | -0,009        | -0,315        |
| Julkiset<br>menot/bkt     | 0,005         | -0,008        | -0,035        | -0,085        | -0,036        | -0,025        | -0,016        |
| Kokonaisvero-<br>aste     | 0,165         | 0,142         | 0,191         | 0,215         | -0,077        | -0,015        | 0,008         |
| Valtion velka/<br>bkt     | 0,736         | -0,099        | -1,208        | -2,579        | -2,145        | -1,924        | -1,827        |

Lähde: Etlan FOG-mallilaskelmat

Näiden laskelmien tulokset osoittavat, että kotimaisen hillintäpolitiikan vaikutukset julkiseen talouteen ovat pitkällä aikavälillä positiiviset valtion velkasuhteen alenemisen vuoksi. Lyhyellä aikavälillä kuitenkin kotitalouksien varallisuus, käytettävissä oleva tulo ja kulutus laskevat verotuksen vuoksi. Myös yritysten investoinnit vähenevät. Tuloksien tulkinnassa kannattaa huomata, että vaikka verotuksen kiristämällä saadaan aikaan julkisen talouden tulojen kasvu, se myös heikentää kannusteita investointeihin ja työntekoon. Samankaltaiset makrotason mekanismit ovat toiminnassa myös, kun kotimaisia ympäristöveroja kiristetään.

Se, mikä näissä simuloinneissa jää puuttumaan ovat ulkomailla toteutettavan ympäristöverotuksen vaikutukset, jotka heikentävät Suomen vientikysyntää, mutta parantavat Suomen asemaa investointiympäristönä. Kuten aiemmin todettiin, malli ei huomioi myöskään vihreästä siirtymästä johtuvaa luovaa tuhoa eikä siirtymän synnyttämiä uusia teknologioita, joista valtaosa kehitetään ulkomailla, mutta on kotimaisten yritysten käytössä investointien kautta.

### 5.3 Ilmastonmuutoksen torjunnan vaikutuksia NiGEM-mallissa

Seuraavassa tarkastelussa palataan käyttämään NiGEM-mallia ja tarkastellaan erityisesti ilmastopolitiikan lyhyemmän aikavälin vaikutuksia, joita muut mallit eivät rakenteensa vuoksi pysty hyvin mallintamaan. NiGEM:in sisältämä ilmastonmuutoksen vaikutusmekanismi on varsin karkea, mutta sen rakenne soveltuu paremmin ilmastopolitiikan mallintamiseen. Siksi seuraavassa keskitytään politiikan julkisen talouden vaikutuksiin.

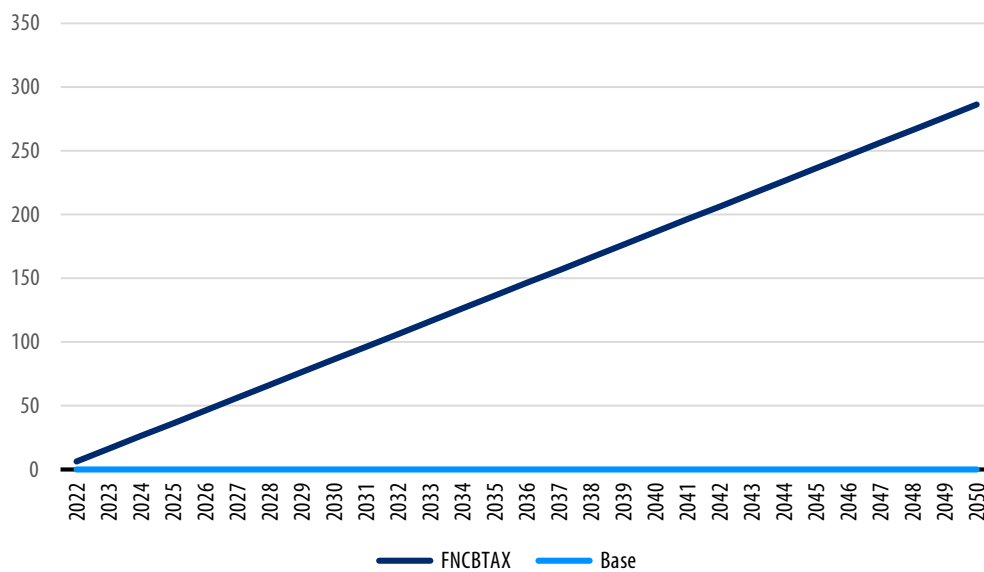
NiGEM-mallilla simuloidaan seuraavaksi politiikkaskenaario, jossa hallitukset onnistuvat sopimaan globaalista verosta hiilidioksidipäästöille ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Veron suorat vaikutukset riippuvat verokannan suuruuden lisäksi toki siitä, paljonko hiilidioksidipäästöjä kustakin fossiilisen energian muodosta syntyy, eli mikä on veropohja. Fossiilienergian muodot NiGEMissa ovat hiili, maakaasu ja öljy.

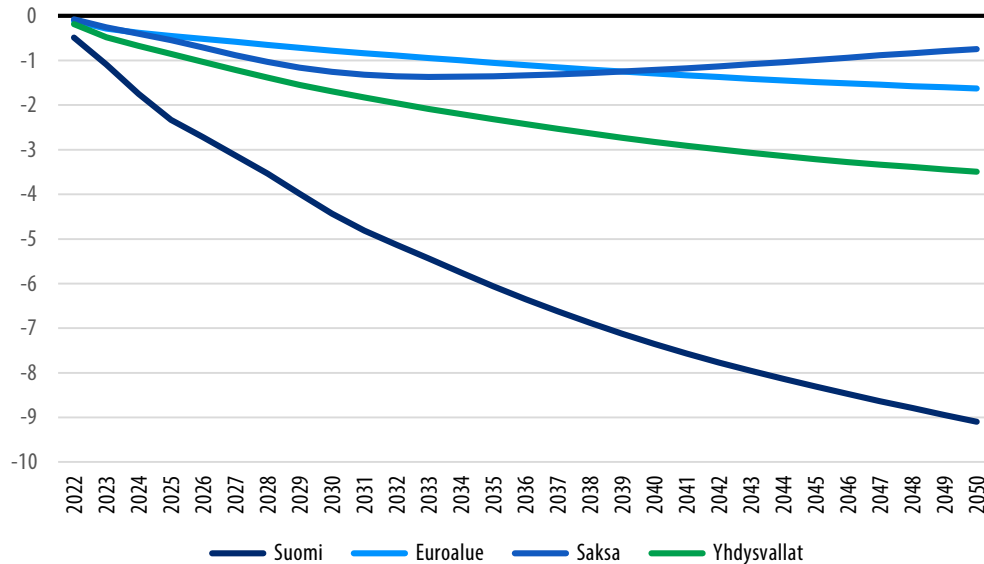
Energia on mallissa yhtenä panoksena tuotantofunktiossa, jossa muut tuotannontekijät ovat pääoma- ja työpanos. Mitä enemmän maa käyttää energiaa tuotannossaan, sen energiaintensiivisempää on tuotanto. Mallissa oletetaan, että energiaintensiteetti on vakioinen, ts. energian suhteellinen käyttö tuotannossa ei muutu ajan myötä. Kun hiilidioksidipäästöille asetetaan vero, fossiilisen energian hinta nousee.

Energian hinnannousu voidaan myös nähdä pysyvänä tarjontashokkina, jonka aiheuttaman hintatason nousun takia keskuspankit nostavat ohjauskorkoja. Mallissa siis inflaatio-tavoitteitaan puolustavat keskuspankit reagoivat endogeenisesti hiilidioksidiveroon. Malli ratkaistaan rationaalisilla odotuksilla (malli voitaisiin ratkaista myös adaptiivisilla odotuksilla, mutta tulosten kannalta sillä ei ole suurta merkitystä).

Oletetaan seuraavassa simuloinnissa, että maat asettavat hiilidioksidiveron, joka on alkuun noin 6 dollaria päästetyltä hiilidioksiditonnilta. Oletetaan kuitenkin samalla, että nimellistä veroa onnistutaan kasvattamaan ajan kuluessa lineaarisesti siten, että vuoteen 2050 mennessä vero olisi jo varsin mittava, lähemmäs 300 dollaria päästetyltä hiilidioksiditonnilta. Vero-oletus on kuvattu kuviossa 14.

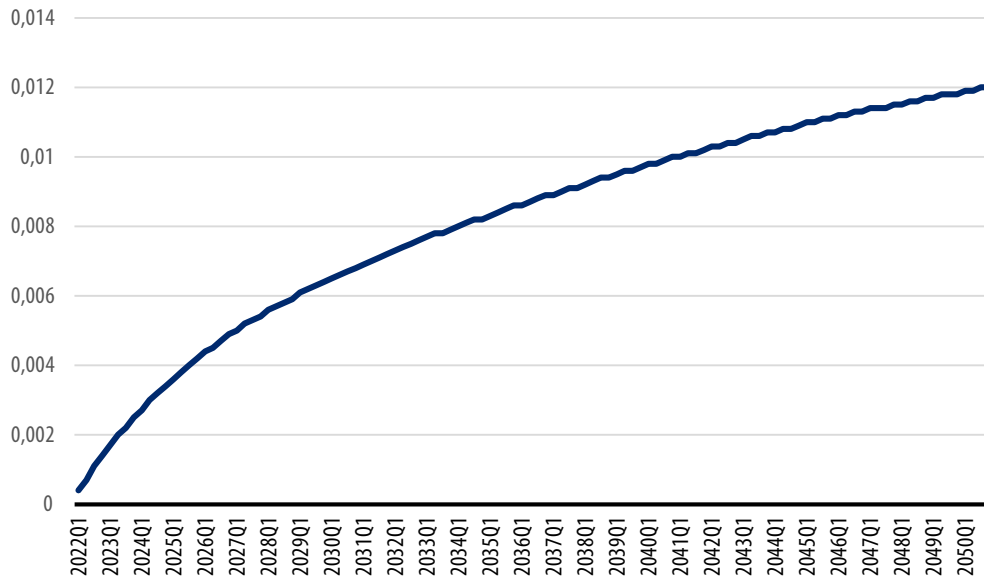
**Kuvio 14.** Hiilidioksidivero per hiilidioksidipäästötonni



**Kuvio 15.** Hiilidioksidiveron vaikutukset bkt:hen valituilla alueilla, % verrattuna perusuraan

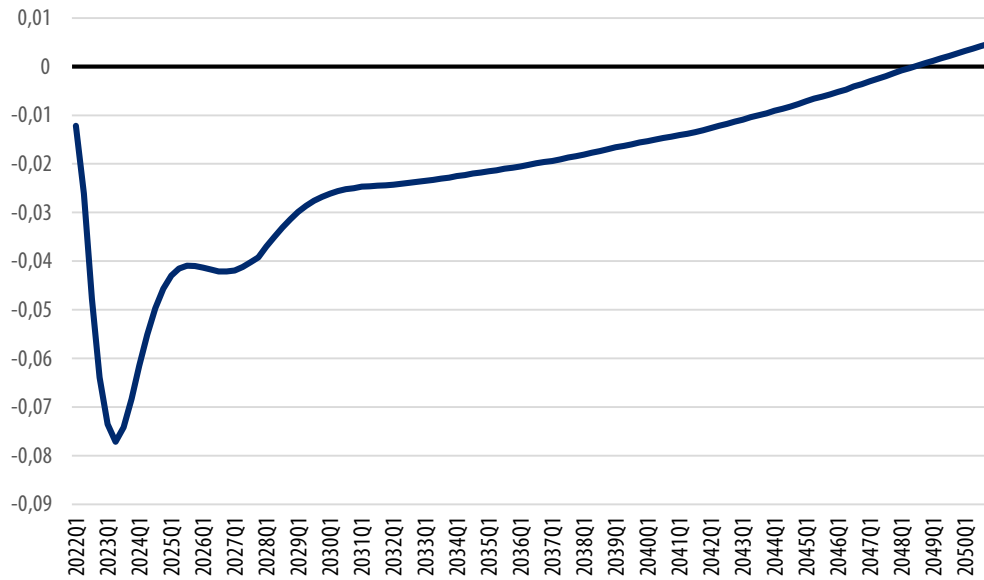
Mallisimuloinnin perusteella tällaisen veron bkt-vaikutukset ovat negatiivisia niin Suomessa, euroalueella, Saksassa kuin Yhdysvalloissakin. Suurimmat negatiiviset vaikutukset ovat simuloinnin perusteella valituista alueista Yhdysvalloissa. Euroalueenkin bkt on vuoteen 2050 tultaessa noin 1,5 prosenttia pienempi kuin se olisi ilman asettua veroa. Suomen bkt supistuu valitusta maajoukosta vähiten, joskin lopputulema on lähellä Saksaa ja euroalueen keskiarvoa: Suomen bkt on vuoteen 2050 tultaessa noin prosentin pienempi kuin se olisi ilman hiilidioksidiveroa. Toinen havainto simuloinnista on kuitenkin se, että bkt-vaikutukset ovat maltillisia suhteessa lopulta varsin mittavaksi asetettuun hiilidioksidiveroon (ks. kuvio 15).

Hiilidioksidivero vähentää fossiilisen energian kysyntää, mikä laskee globaalisti fossiilisen energian verotonta hintatasoa pitkällä aikavälillä. Asetettu hiilidioksidivero luo uuden verokannan fossiiliselle energiatuotannolle, mitä havainnollistetaan kuviossa 16.

**Kuvio 16.** Simuloitu energian veroasteen nousu Suomessa (0.012 = 1,2 prosenttia)

Vaikka hiilidioksidivero tuo verotuloja valtiolle, sen vaikutus Suomen julkisen sektorin budjettitasapainoon on positiivinen vasta erittäin pitkällä aikavälillä, - mallisimuloinnin perusteella vasta vuonna 2050. Tarkastelussa onkin hyvä pitää mielessä, että keskuspankit nostavat korkoja pysyvän tarjontasokin seurauksena, mikä lisää negatiivista vaikutusta aktiviteettiin. Lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä vero vähentää talouden aktiviteettia siinä määrin voimakkaasti, että muiden verotulojen tippumisella on suurempi vaikutus kuin uuden veron tuomilla tuloilla. Pitkällä aikavälillä tilanne kuitenkin kääntyy myös julkisen sektorin kannalta positiiviseksi, mikä nähdään kuviosta 17.

**Kuvio 17.** Asetetun hiilidioksidiveron vaikutus Suomen valtion budjettitasapainoon, %-yksikköä suhteessa bkt:hen, erotus perusuraan nähden.



## 6 Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan vaikutukset ja riskit alueellisesti

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen liittyvät politiikkavalinnat ovat seuraavan vuosikymmenen aikana Suomen julkisen talouden näkökulmasta merkittävämpi asia kuin itse ilmastonmuutos. Reilu vihreä siirtymä ja ilmastonmuutoksen haitallisten talousvaikutusten ehkäiseminen edellyttävät aktiivisia toimia, joissa onnistuminen vaikuttaa merkittävästi julkisen talouden kehitykseen. Tämän siirtymävaiheen politiikkatoimien vaikutusten arviointi on myös julkisen talouden näkökulmasta tärkeää, jotta poliittiset päättäjät voivat tehdä tietoon perustuvia päätöksiä. Osuvat politiikkakeinot sekä mahdollisuuksien vahvistamiseksi että haitallisten vaikutusten ehkäisemiseksi ja rajoittamiseksi ovat keskeinen väline lieventää siirtymävaiheen haasteita. Aktiivista ja tarkoituksenmukaista ilmastopolitiikkaa tarvitaan esimerkiksi elinkeinorakenteen muutuksessa vihreän siirtymän myötä ja ympäristöriskien lisääntyessä ilmaston lämmetessä. Poliittisilla päätöksillä voidaan myös ohjata investointeja vihreän siirtymän tukemiseksi ja kirittämiseksi.

Viimeaikaisissa selvityksissä taloudellisia vaikutuksia on tarkasteltu pääasiassa koko kansantalouden tasolla, jolloin ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudelliset vaikutukset Suomessa arvioidaan maltillisiksi pitkällä aikavälillä. Tässä hankkeessa pyrimme täydentämään tietopohjaa ilmastonmuutoksen talousvaikutuksista tarkastelemalla vaikutuksia myös alueellisella tasolla julkisen talouden näkökulmasta. Julkiseen talouteen kohdistuvat vaikutukset ovat moninaisia, kun puhutaan ilmastonmuutoksen kaltaisesta laajasta ilmiöstä ja haasteesta, ja etenkin sen hillinnän ja siihen sopeutumiseen sekä haittavaikutuksiin varautumiseen liittyvästä politiikasta.

Eriyisen selvästi nämä vaikutukset ja eri riskitekijät näkyvät lyhyen ja keskipitkän aikavälin siirtymävaiheessa, jolloin yksittäisillä tekijöillä ja valinnoilla voi olla huomattavia vaikutuksia esimerkiksi tietyn elinkeinon harjoittajille ja yksittäisille toimialoille. Myös alueelliset erot voivat olla merkittäviä – sekä riskitekijät että mahdollisuudet jakautuvat eri alueille eri tavoin paikallisista erityispiirteistä johtuen. Kuntatalous on merkittävä osa julkista taloutta, ja kunnat käyttävät paljon valtaa julkisen talouden suuntaan politiikkavalinnoillaan. Näiden tekijöiden vuoksi koemme mielekkääksi täydentää kansantalouden tasolla tehtävää analyysia tarkastelemalla tarkemmin ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan ennakoituja vaikutuksia julkiseen talouteen myös alueellisella tasolla.

Ilmastonmuutoksen ja vihreän siirtymän mahdollisia vaikutuksia kuntatalouteen on tässä hankkeessa tarkasteltu mallinnusten lisäksi kuvailevan tilastoanalyysin ja täydentävän laadullisen kyselyn avulla. Erityisesti tarkastelussa ovat elinkeinorakenteen, työllisyyden ja tuotannon kautta mahdollisesti realisoituvat talousvaikutukset kuntatasolla. Lisäksi hankkeessa kartoitettiin kunnan johdon näkemyksiä ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan kuntatalouteen kohdistavista mahdollisista riskeistä, mahdollisuuksista ja investointitarpeista. Tavoitteena on tarkentaa ymmärrystä, miten kansantalouden näkökulmasta keskeisiin toimialoihin mallinnetut ilmastopolitiikan vaikutukset jakautuvat alueellisesti. Selvitimme, millaisiin kuntiin ja miten oletetut tuotanto- ja työllisyysvaikutukset erityisesti osuvat eri alueisiin, millaisia vaikutukset ovat ja miten suurista vaikutuksista suhteessa kunnan elinkeinorakenteeseen on kyse. Esimerkiksi tiettyihin toimiala- tai teollisuudenaloihin kohdistuvat vihreän siirtymän tuotanto- ja työllisyysvaikutukset voivat erilaisten vaikutuskanavien kautta vaikuttaa yksittäisissä kunnissa huomattavasti kunnan tulo- ja yhteisöverotukseen ja siten kuntatalouden kestävyys. Analyysi kuntien näkemyksistä ilmastonmuutoksen riskeistä ja niihin varautumisesta sekä ilmastopolitiikan vaikutuksista ja investointitarpeista yhdessä kuntatason kokonaistaloudellisia vaikutuksia avaavan tilastollisen analyysin kanssa tuottaa tietoa tukemaan valtioneuvoston tavoitetta edistää julkisen talouden kestävyttä.

Työpaketti toteutettiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa toteutettiin kysely kunnille. Tämän jälkeen tehtiin kuvaileva tilastollinen analyysi ilmastopolitiikan vaikutuksista kuntatalouteen tarkastelemalla toimialakohtaisia työllisyysvaikutuksia kuntien elinkeinorakenteen näkökulmasta. Kolmannessa vaiheessa molempien työvaiheiden tuloksia tarkasteltiin yhdessä koko hankkeen muiden työpakettien tulosten kanssa kokonaiskuvan hahmottamiseksi ja keskeisten havaintojen kirkastamiseksi.

## 6.1 Tulosten taustalla huomioitavia oletuksia

Tässä hankkeessa tehdyn kuvailevan tilastoanalyysin tulokset perustuvat VNTEAS VITO-hankkeen (Kuusi ym., 2021) mallinnoille, joiden avulla lasketut arviot eri skenaarioissa tulee ymmärtää suuntaa antavina, ei täsmällisinä ennustuksina tulevaisuudesta. Mallin vaikutusarviot ovat yleistyskäyttöä koskien koko Suomen taloutta, mutta todellisuudessa toimialakohtaisissa vaikutuksissa on oletettavasti eroja myös alueellisesti.

Tilastoanalyysin perustana toimivissa mallinnoissa ilmastonmuutoksen hillinnän keskeisenä ohjauksena ovat päästömaksut. Työvoima ja pääoma liikkuvat vapaasti sektorien välillä, ja hinnat ovat samat kaikilla. Säästäminen allokoituu globaalisti alueellisen pääoman tuottoasteen mukaan (ks. luku 4.2.1.).



VITO-hankkeen (Kuusi ym., 2021) mallissa ilmastopolitiikan vaatimat päästövähennykset saavutetaan polttoaineiden käyttöä vähentämällä. Keinoja tämän saavuttamiseksi ovat siirtyminen vähäpäästöisempiin polttoaineisiin ja päästöttömiin sähköntuotantomuotoihin, polttoaineiden korvaaminen sähköllä, energian käytön korvaaminen pääomalla, pääoman ja energian korvaaminen muilla panoksilla, tuotanto- ja kulutusrakenteen muuttaminen sekä kokonaistuotoksen alentaminen (ks. luku 4.2.2.).

On myös huomioitava, että tausta-aineistona käytetyt VITO-hankkeessa arvioidut ilmastopolitiikan vaikutukset ovat maltillisempia kuin tässä hankkeessa, mutta vaikutukset ovat saman suuntaiset.

Uusiutuvan energian tuotannon ja siihen liittyvän teknologiamurroksen katsotaan usein tuottavan uusia työpaikkoja kansantalouden tasolla. Nämä työpaikat eivät välttämättä kuitenkaan jakaudu tasaisesti, vaan ne voivat tuotantomuotojen vaihdella ja monesta muustakin syystä keskittyä alueellisesti, mikä tekee taloudellisten vaikutusten tarkastelusta myös alueellisesti tärkeää.

## 6.2 Tilastoanalyysin tulokset ilmastopolitiikan vaikutuksista kuntatalouteen

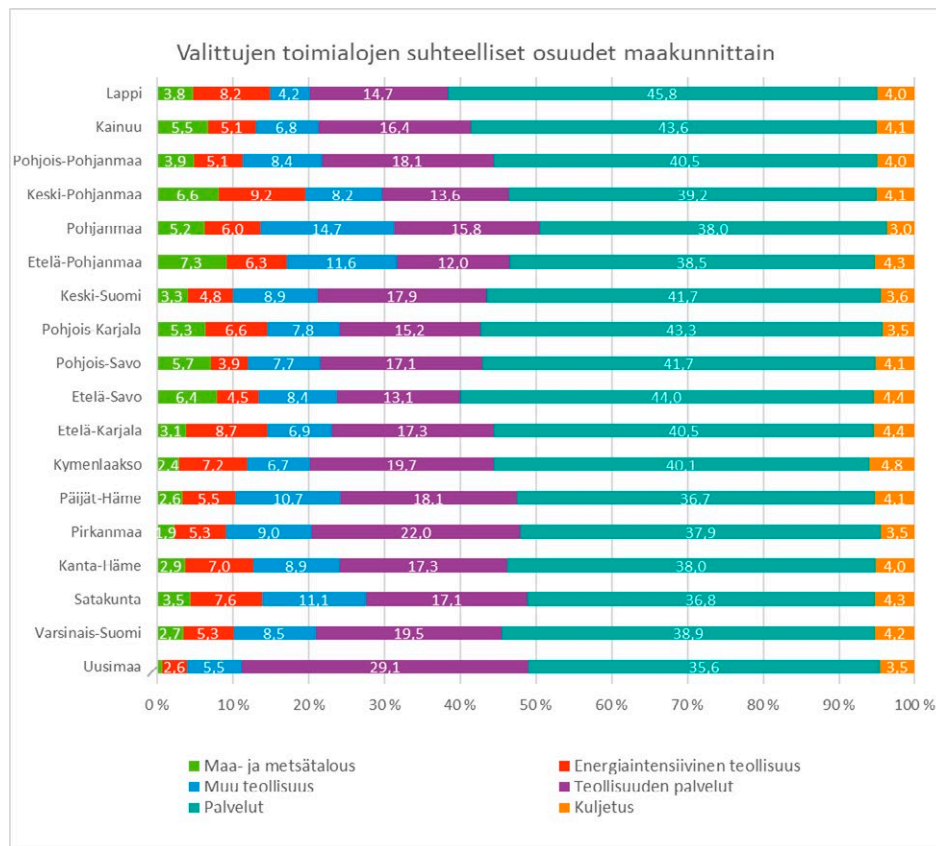
### Tilastoanalyysin taustaa

Kuvailevassa tilastoanalyysissä selvitettiin ilmastopolitiikan taloudellisten vaikutusten jakautumista alueellisesti Suomessa kuntatalouden näkökulmasta. Julkiseen talouteen kohdistuvien vaikutusten arviointia lähestyttiin epäsuorasti alueellisten työllisyysvaikutusten kautta. Aineistona käytettiin VNTEAS Vihreät toimet (VITO) -hankkeessa mallinnettuja ilmastopolitiikan vaikutuksia työllisyyteen ja tuotantoon (Kuusi ym., 2021). Tilastoanalyysin laskelma toteutettiin siten, että VITO-hankkeen simulaatioista erotettiin eri toimialoille syntyvät työllisyysvaikutukset, jonka jälkeen laskettiin eri kunnille, kuinka paljon näillä aloilla on työntekijöitä. Analyysiä tulkitessa on tärkeä huomioida, että kyseessä on suunta-antava tapa laskea vaikutuksia alueille ja tavoitteena oli hahmottaa vaikutusten suuntaa ja suuruusluokkaa tarkkojen tuloslukujen sijaan.

Tarkastelu tehtiin sekä kunta- että maakuntatasolla. Mukaan otettiin kuusi keskeistä toimialaa: 1) maa- ja metsätalous, 2) energiaintensiivinen teollisuus, 3) muu teollisuus, 4) teollisuuden palvelut, 5) palvelut ja 6) kuljetus. Yhdessä nämä toimialat edustavat yli 75 prosenttia kaikista Suomen työpaikoista (Suomen virallinen tilasto, 2020). Vaikka rakennusten energiatehokkuuden parantamisen katsotaan usein synnyttävän uusia työpaikkoja,

on rakentaminen jätetty toimialakohtaisesta tarkastelusta pois, sillä nämä työpaikat on arvioitu tilapäisiksi eikä niiden vaikutus pitkäaikaiseen kokonaistyöllisyyteen ole siksi merkittävä. Tarkempi toimialakohtainen jaottelu löytyy liitteestä 2.

**Kuvio 18.** Tarkasteluun valittujen toimialojen työllisten jakauma maakuntatasolla



Tilastoanalyysin tarkastelu tehtiin kuntien työllisyyslukujen näkökulmasta. Työllisyydellä on merkittävä vaikutus julkisen talouden tasapainoon (ks. esim. Andersen, 2015). Alueellinen työllisyys vaikuttaa suoraan kunnan asukkaiden veronkantokykyyn ja kunnan keräämään kunnallisveron määrään, mikä muodostaa kunnan verotuloista merkittävimmän erän. Työllisyyden vaikutusmekanismi toimii myös toiseen suuntaan kuntatalouden tarkastelussa, sillä työttömyys lisää kuntien julkisia menoja verotulojen samanaikaisesti vähentyessä. Tässä tarkastelussa työllisillä viitataan kunnan työssäkäyviin asukkaisiin. Työllisen työpaikka voi sijaita toisessa kunnassa. Tarkastelemalla ilmastopolitiikan vaikutuksia

kuntien työllisten määrään voidaan arvioida kunnallisverotuksen kautta koituvia vaikutuksia kunnan julkiseen talouteen. Sama analyysi tehtiin myös alueella työssäkävien suhteen, eikä tuloksissa ollut merkittäviä eroja.

Tilastoanalyysin vaikutusarvioiden pohjaksi valittiin VNTEAS VITO-hankkeen Maailma-skenaariossa (Kuusi ym., 2021, s. 42–55) mallinnetut toimialakohtaiset työllisyysvaikutukset (taulukko 9). Maailma-skenaariossa Suomi toteuttaa EU:ta tiukempaa ilmastopolitiikkaa samalla, kun muu maailma noudattaa EU:n tasoista ilmastopolitiikkaa. Keskeiset ilmastopolitiikan vaikutusmekanismit Maailma-skenaariossa ovat viennin tehostuminen, muun teollisuuden saaman kustannusedun väheneminen maailmanmarkkinoilla ja palvelukäytön lisääntyminen.

**Taulukko 9.** Tilastoanalyysissä käytetyt arviot VNTEAS VITO Maailma-skenaariossa ilmastopolitiikan toimialakohtaisista työllisyysvaikutuksista

| Toimiala                        | Mallinnetut työllisyysvaikutukset (%) |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Maa- ja metsätalous             | -3,5                                  |
| Energiaintensiivinen teollisuus | -2,0                                  |
| Muu teollisuus                  | -4,2                                  |
| Teolliset palvelut              | -0,9                                  |
| Muut palvelut                   | +0,5                                  |
| Kuljetus                        | +2,4                                  |

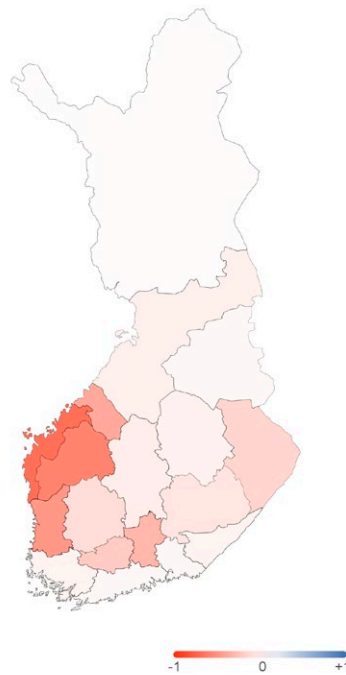
Kuvailevassa tilastoanalyysissä on laskettu työvoiman toimialakohtaiset suhteelliset muutokset kussakin kunnassa ja tulokset aggregoitu maakuntatasolla. Aineistona käytettiin Tilastokeskuksen kuntien Elinkeinorakenne ja työssäkäynti -tietokantaa ja vuoden 2020 tietoja (Suomen virallinen tilasto, 2020). Esimerkiksi valitussa skenaariossa energiantensiivisen teollisuuden kohdalla työllisyyden on arvioitu alenevan noin 2,0 %. Uudellamaalla energiantensiivisen teollisuuden työpaikkoja on 19 822, jolloin muutos kaikkiin työpaikkoihin suhteutettuna olisi noin -0,05 %. Kokonaisvaikutus on saatu laskemalla toimialakohtaiset muutokset kaikilta kuudelta toimialalta yhteen. Kokonaisvaikutus on laskettu jokaisen kunnan osalta erikseen ja lopulta aggregoitu maakuntatasolle.

Suomen harjoittaessa muuta maailmaa tiukempaa ilmastopolitiikkaa voidaan koko maassa arvioida työllisyyden laskevan noin 0,4 % keskipitkällä aikavälillä kyseisen mallinuksen mukaan. Kuntien elinkeinorakenteen kautta tarkasteltuna vaikutukset vaihtelevat -0,04 ja -2,02 % välillä, kun taas maakuntatasolla tarkasteltuna vaikutukset jakautuvat lievempinä -0,28 ja -0,80 % välille.

Kuntien elinkeinorakenteen ja kuuden keskeisen toimialan kautta tarkasteltuna ei ole havaittavissa kovin merkittäviä maantieteellisiä eroja ilmastopolitiikan mallinnetuissa vaikutuksissa kuntien työllisyytlukuihin ja tämän kautta kuntatalouteen. Kun ilmastopolitiikan työllisyysvaikutukset valituilla toimialoilla aggregoidaan maakuntatasolle, jakautuvat vaikutukset Manner-Suomen maakuntien kesken varsin tasaisesti (ks. kuvio 19). Yhteenlasketut työllisyysvaikutukset ovat koko maan osalta lievästi negatiivisia.

Aineiston perusteella kuntien julkiseen talouteen elinkeinorakenteen kautta kohdistuvat yhteisvaikutukset ovat lievimpiä Uudellamaalla ja Lapissa, missä työllisyyden voidaan arvioida laskevan aineiston perusteella hieman alle 0,3 %. Suurin arvioitu alenema työllisyydessä taas paikallistuu Pohjanmaalle, Etelä-Pohjanmaalle, sekä Keski-Pohjanmaalle ja Satakuntaan, missä laskua työllisyydessä voidaan arvioida tapahtuvan enimmillään noin 0,8 %:n verran. Selkeimmät yhdistävät tekijät maakuntakohtaisessa vertailussa ovat muun teollisuuden suhteellinen osuus kuntien elinkeinorakenteessa sekä kuntien oma energiantuotanto ja työllisyys. Pohja-aineistossa työllisyyden ja tuotannon arvon on arvioitu laskevan eniten juuri muussa teollisuudessa (Kuusi ym., 2021), mikä selittää tässäkin tarkastelussa saatuja tuloksia.

**Kuvio 19.** Ilmastopoliitiikan elinkeinorakenteen kautta kohdistuvien vaikutusten jakautuminen maakuntatasolla



Tilastoanalyysin kuntakohtaisessa vertailussa parhaiten pärjäävät kunnat, joiden työllisestä väestöstä suuri osa on työllistynyt palvelualoille. Parhaiten vaikuttavat pärjäävän sellaiset kunnat, joissa palveluiden työpaikkojen osuus suhteessa valittuihin toimialoihin on suuri, keskimäärin noin 60 %. Heikoimmin pärjäävissä kunnissa palveluiden osuus on keskimäärin noin 36 %. Palveluiden merkitys ei kuitenkaan korostu samalla tavalla, kun alueita verrataan maakunnittain, vaan tällöin vaikutukset alkavat lähentyä maan keskiarvoa. Esimerkiksi juuri Uudellamaalla ja Pohjanmaalla palveluiden suhteellinen osuus valituista toimialoista on lähes sama.

Kuntien elinkeinorakenteita vertaillessa korostuu vaikutuksissa selvästi myös muun teollisuuden työpaikkojen suhteellinen osuus. Vähiten kunnallisverotuksen kautta ilmeneviä negatiivisia vaikutuksia vaikuttavat kokevan sellaiset kunnat, joiden työpaikoista muun teollisuuden toimialojen suhteellinen osuus jää keskimäärin alle 4 %:n. Eniten negatiivisia vaikutuksia kokevat kunnat, joissa muun teollisuuden osuus suhteessa valittuihin toimialoihin on jo yli 23 %.

Energiaintensiivinen teollisuus ei erotu merkitsevästi kuntien välisessä vertailussa. Energiaintensiivisen teollisuuden työpaikkojen osuus on myös koko maassa vähäisempi, kuin esimerkiksi muun teollisuuden toimialojen, mistä johtuen työllisyysvaikutusten kautta tarkasteltuna vaikutukset eivät ole yhtä merkittäviä.

Maa- ja metsätalouteen kohdistuvat vaikutukset korostuvat yksittäisissä kunnissa, mutta toimialaan kokonaisuudessaan kohdistuvat vaikutukset ovat varsin moninaiset ja siksi myös johtopäätösten teossa tulee huomioida epävarmuudet. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttamat mahdolliset positiiviset vaikutukset maa- ja metsätalouteen voivat muuttaa tässä selvityksessä saatujen vaikutusten suuntaa. Ilmastopolitiikan lisäksi toimialaan vaikuttavat ilmaston lämpeneminen ja muuttuvat sääolot esimerkiksi satokauden pituuden, tulevaisuuden sademäärien ja uusien lajien leviämisen kautta.

Myöskään kuntakohtaisessa vertailussa ei ole havaittavissa selkeää maantieteellistä säännönmukaisuutta ilmastopolitiikan työllisyysvaikutusten suhteen, vaikka hienoista keskittymistä onkin havaittavissa Pohjanmaan ja Savon maakuntiin. Isommat kaupungit, joiden elinkeinorakenne on palveluvaltainen ja monimuotoinen, pärjäävät tässä vertailussa parhaiten. Heikoimmin pärjäävät pienet kunnat, joiden työllisestä väestöstä merkittävä osa on työllistynyt muun teollisuuden toimialoille.

Tämä tilastoanalyysi ei kuitenkaan itsessään näytä ilmastopolitiikasta mahdollisesti aiheutuvia tilanteita, joissa esimerkiksi iso teollisuuslaitos suljetaan tai kokonainen ala, kuten turvetuotanto, lopetetaan. Jos merkittävä osa kunnan työllisistä on yksittäisen yrityksen tai alan palveluksessa, voivat ilmastopolitiikkaan liittyvät päätökset tuoda hyvinkin merkittäviä taloudellisia vaikutuksia työpaikkojen menetyksen ja työttömyyskustannusten kautta.

Maakuntatasolle aggregoituja tuloksia tarkastellessa on tärkeää huomioida arvioihin liittyvät epävarmuustekijät. Tulosten tarkoituksena on ensisijaisesti havainnollistaa, miten eri tavalla ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan julkistaloudelliset vaikutukset kohdistuvat Suomen eri alueilla erinäisten vaikutuskanavien kautta käytetyn pohja-aineiston perusteella. Ilmastonmuutos ja ilmastopolitiikka vaikuttavat eri toimialoihin eri tavoin. Elinkeinorakenteen ja mallinnettujen työllisyysvaikutusten kautta tehdyllä tarkastelulla voidaan havainnollistaa mahdollisia elinkeinorakenteen kautta ilmeneviä riskejä ja niitä hillitseviä toimia.

## 6.3 Kuntien näkemyksiä ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan vaikutuksista

Alueellisten vaikutusten analyysia täydentämään lähetettiin kunnille kysely ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudellisista vaikutuksista<sup>20</sup>. Kyselytulosten perusteella merkittävimpiä vaikutuksia odotetaan kunnissa tulevan siirtymäaikana ja lähitulevaisuudessa energiankulutuksen ja -tuotannon kautta. Energiakulujen odotetaan kasvavan ja energian saatavuuden epävarmuuden lisääntyvän erityisesti talvisin. Toisaalta siirtymä uusiutuviin energiantuotantomuotoihin koetaan taloudellisesti järkevänä investointina: niiden avulla pyritään vähentämään energiantuotannon ja -kulutuksen kuluja ja niiden nähdään myös tuovan suoria tuloja muuttuvan energiantuotannon kautta.

Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan vaikutuksia kuntatalouteen ei ole vielä laajamittaisesti arvioitu kunnissa. Suhteellisen heikko ennakoinnin ja varautumisen taso näkyy kyselyvastauksissa: vain osa vastaajista koki voivansa vastata koko kyselyyn, sillä erityisesti ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudellisiin vaikutuksiin varautumisen ja niiden hallinnan suunnitelmia ei vielä ole laajamittaisesti tehty. Kaiken kaikkiaan vastauksissa korostuu kuitenkin talousvaikutusten arvaamattomuus, mikä osaltaan selittyy myös kuntien suhteellisen vähäisellä varautumisen ja ennakoinnin tasolla.

### 6.3.1 Kuntien arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista kuntatalouteen

Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudellisia vaikutuksia koskeva kysely toteutettiin kesällä 2022. Sähköinen kysely lähetettiin suomeksi 309 kuntaan Ahvenanmaata lukuunottamatta. Kunnille tehtiin kaksi muistutuskierrosta ja otoksen kattavuuden vahvistamiseksi tehtiin yksilöityjä yhteydenottoja puhelimitse ja sähköisesti elinkeinorakenteen, maantieteellisen sijainnin ja väestömäärän osalta erilaisiin kuntiin. Vastauksia saatiin 58 kunnasta, eli 19 % prosentista Suomen kunnista. Vastaukset painottuivat erityisesti pienten asukaslukujen kuntiin (53 % vastaajista <10 000 asukkaan kuntia) ja Etelä- ja Keski-Suomen kuntiin.

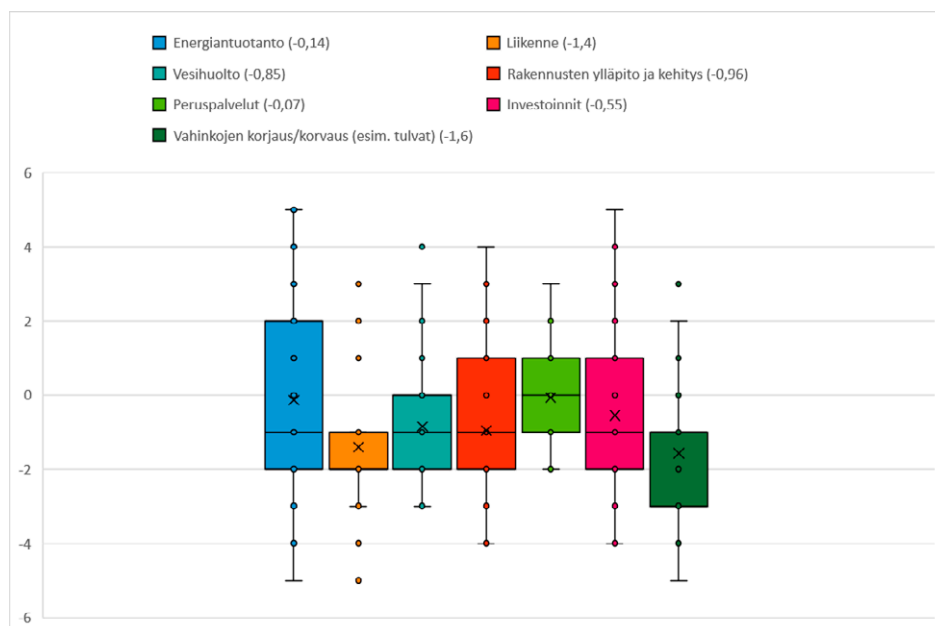
---

20 Kyselyn taustaa ja tarkat kysymykset löytyvät liitteestä 1.

Kunnat arvioivat, että ilmastonmuutoksella tulee olemaan sekä haitallisia että hyödyllisiä vaikutuksia kuntatalouteen. Yleisesti kunnat arvioivat, että vaikutukset menojen kautta ovat julkista taloutta heikentäviä, mutta vaikutukset tuloihin positiivisia. Lisäksi kunnat odottavat, että vaikutukset varallisuuteen voivat olla sekä vahvistavia että heikentäviä.<sup>21</sup>

Menojen osalta ilmastonmuutoksen odotetaan aiheuttavan kielteisiä vaikutuksia kuntien julkiseen talouteen. Menoja kasvattaisivat erityisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamien vahinkojen kuten muuttuvien tulvien korjaaminen ja korvaaminen, liikenne, sen ylläpitokustannukset ja liikenteen muuttamisen edellyttämät investoinnit. Lisäksi rakennusten ylläpito ja esimerkiksi rakennusten vauriot ja energiankulutuksen kasvu sekä puutteellinen ennakointi siitä, miten kiinteistöjä olisi tarve kehittää ilmastonmuutoksen takia, kasvattavat potentiaalisesti menoja. Arviot vaikutusten suuruusluokasta ovat kuitenkin maltilliset.<sup>22</sup>

**Kuvio 20.** Kuntien arvioita siitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa kunnan menoihin keskeisten vaikutuskategorioiden kautta asteikolla -5 (hyvin negatiivinen) +5 (hyvin positiivinen). Vastausten keskiarvot suluissa.



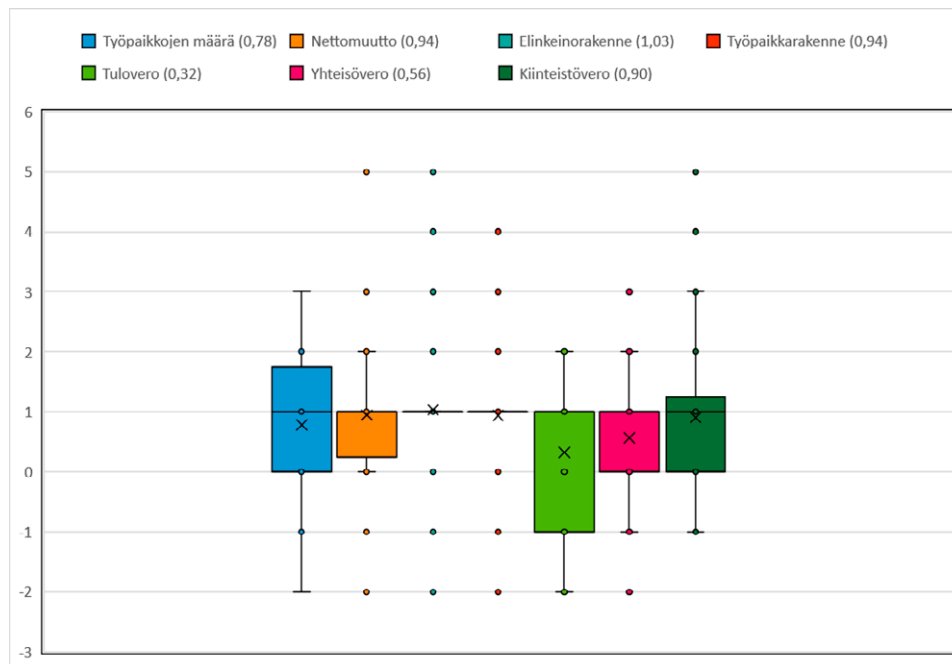
21 Kuviot 20, 21 ja 22. Arviot vaikutusten suunnasta ja suuruusluokasta tehtiin asteikolla -5 (hyvin negatiivinen) +5 (hyvin positiivinen). Vastausten keskiarvot ja jakaumat on kuvattu laatikko-janakuviolla, joissa X merkitsee vastausten keskiarvon ja laatikoiden sisällä oleva viiva merkitsee vastausten mediaanin.

22 Kuvio 20



Tulojenkin osalta kuntien arviot vaikutusten suuruusluokasta ovat maltilliset, mutta suunta on myönteinen. Kyselyyn vastanneet kunnat odottavat ilmastonmuutoksen saavan aikaan kunnan tulojen kannalta positiivisia vaikutuksia elinkeinorakenteeseen, työpaikkojen määrään ja työpaikkarakenteeseen. Kuntataloudelle tärkeiden verojen näkökulmasta positiivisimpia vaikutuksia odotetaan kiinteistöveroon. Vastauksissaan kunnat odottavat erityisesti ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan ohjaavan elinkeinorakennetta vihreämmäksi ja monipuolisemmaksi<sup>23</sup>.

**Kuvio 21.** Kuntien arvioita siitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa kunnan tuloihin keskeisten vaikutuskanavien kautta asteikolla -5 (hyvin negatiivinen) +5 (hyvin positiivinen). Vastausten keskiarvot suluissa.



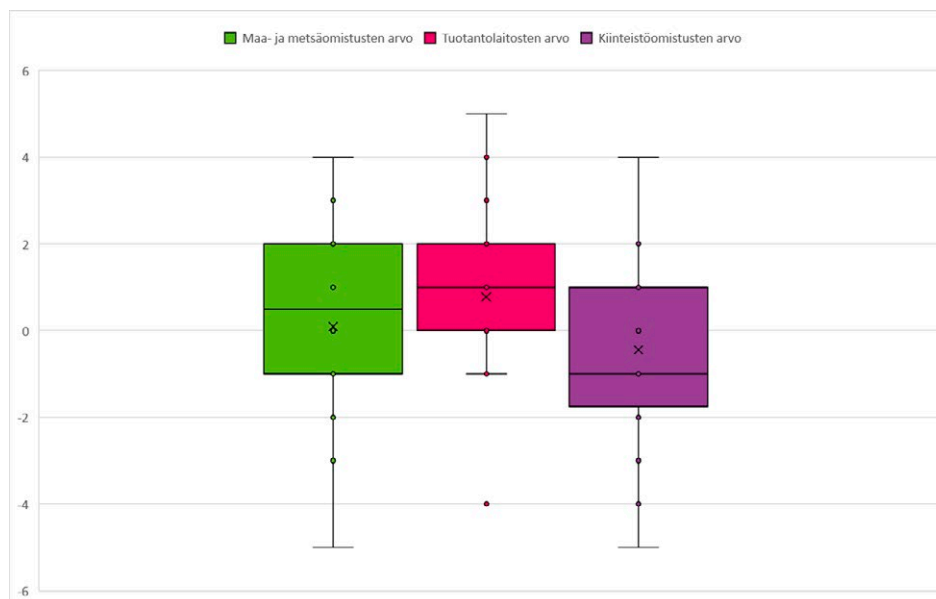
Kuntien arviot vaikutuksista varallisuuteen ovat hajanaisemmat<sup>24</sup>. Kunnat tunnistavat, että varallisuuden kohdistuvien talousvaikutusten suuntaan ja suuruusluokkaan vaikuttaa ilmastonmuutoksen lisäksi niin kotimaisen kuin EU-tason politiikan kehitys. Keskimääräiset arviot ovat hyvin maltillisia, mikä kuvastaa taloudellisten vaikutusten arvioimisessa

23 Kuvio 3

24 Vastausten yhteenveto on kuvattu kuviossa 22 ja vastausten keskiarvot ovat maa- ja metsätaloudessa +0,10; kiinteistöjen osalta -0,44 ja tuotantolaitosten 0,78. Vastaavat keskihajonnat ovat 1,97; 1,79 ja 1,79.

koettua epävarmuutta. Keskimäärin vaikutukset kunnan kiinteistöjen arvoon nähdään lievästi negatiivisina, kun taas vaikutukset maa- ja metsäomistusten arvoon voisivat olla jopa lievästi positiiviset. Syiksi mainittiin mahdolliset muutokset hiilinielujen markkinoiden kehityksessä, mutta myös talouskäytön mahdollinen rajoittuminen politiikkamuutosten takia ja tämän myötä tulojen väheneminen. Kuntien tuotantolaitosten arvoon kohdistuvien vaikutusten taas odotetaan hieman selkeämmin olevan positiivisia erityisesti, koska uusiutuvan energian kannattavuus on kasvussa ja kasvun ennustetaan jatkuvan.

**Kuvio 22.** Kuvaaja kuntien arvioista siitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa kunnan kolmeen keskeiseen varallisuusluokkaan asteikolla -5 (hyvin negatiivinen) +5 (hyvin positiivinen). X merkitsee vastausten keskiarvon ja viiva mediaanin.



### 6.3.2 Kuntien arvioita ilmastonmuutoksen hillintään ja siihen sopeutumiseen liittyvistä investoinneista

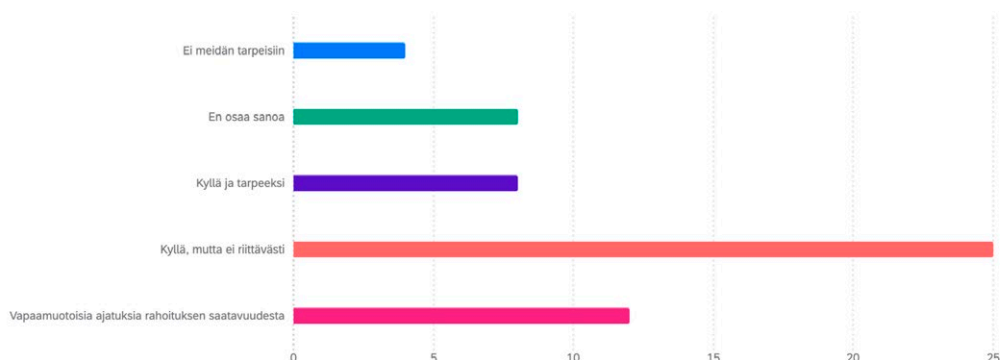
Kunnissa tunnistetaan ja tehdään investointeja ilmastonmuutoksen vaikutusten hillitsemiseksi ja niihin sopeutumiseksi. Tulevan vuosikymmenen aikana ilmastonmuutoksen vaikutuksia hillitseviä investointeja kohdistetaan erityisesti uusiutuvan energiantuotannon ja olemassa olevien tuotantolaitosten kapasiteetin kasvattamiseen, kiinteistöjen saneeraukseen erityisesti energiatehokkuuden parantamiseksi sekä energian kulutuksen vähentämiseen. Myös liikenteen päästöjä ollaan vähentämässä, on jo päätetty vähentää tai aiotaan vähentää. Sen sijaan ilmastonmuutokseen sopeutumiseen kohdistuvia investointeja

tunnistettiin ja on suunnitteilla vähemmän. Yleisimpänä investointikohteena nousi esiin hulevesien hallintaan sekä olemassa olevan infrastruktuurin kehitykseen ja ylläpitoon liittyvät investoinnit.

Kunnat näkevät, että ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tulisi investoida erityisesti energiajärjestelmän kehittämiseen ja sen päästöjen vähentämiseen, kestävän rakentamisen edistämiseen ja kiinteistökannan kehittämiseen sekä liikenteen päästöjen vähentämiseen tulevan vuosikymmenen aikana. Sopeutumiseen liittyviä investointeja toivotaan lisäksi erityisesti hulevesien hallinnan kehittämiseen.

Investointeja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tehdään jo jossain määrin, samoin siihen sopeutumiseksi. Kuntien kokemus kuitenkin vaikuttaa olevan, että investointeja haittojen ehkäisemiseen ja sopeutumiseen tarvitaan vielä enemmän. Lisäksi investointeja on vaikea tehdä, ellei vaikutuksia ole ensin kartoitettu. Valtaosa kunnista arvioi, että rahoitusta on tällä hetkellä saatavilla investointeihin, mutta ei riittävästi heidän tunnistamiinsa tarpeisiin<sup>25</sup>. Yleisimpinä investointien ja rahoituksen saamisen pullonkauloina tuotiin esiin henkilöstöressurssien ja osaamisen puute rahoituksen hakemisessa, ilmastoinvestointien nopeuttamiseen tähtäävien kohdennettujen tukien vähyys sekä sopeutumiseen liittyvien tukien ja rahoituksen epäselvyys.

**Kuvio 23.** Kuntien arvioita rahoituksen saatavuudesta ilmastonmuutosta ehkäiseviin ja siihen sopeutumisen investointeihin.



25 Kuvio 23

## 6.4 Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan tärkeimmät alueelliset vaikutukset ja riskit

Ilmastonmuutoksen suorien vaikutusten, kuten kuivuuden, lämpöaaltojen ja muuttuvien tulvien lisäksi ilmastopolitiikka vaikuttaa kuntien talouteen epäsuorasti myös elinkeinorakenteen ja kuntien varallisuuden kautta. Kun tarkastellaan ilmastopolitiikan taloudellisten vaikutusten kohdentumista huomataan, että vaikutukset jakautuvat kohtuullisen tasaisesti maakuntatasolla, mutta kuntatasolla tarkasteltuna huomataan vaikutusten mittaluokan vaihtelevan huomattavasti enemmän. Tämän tarkastelun pohjalta voidaan todeta, että ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudellisten vaikutusten suuruusluokan ja kohdentumisen ymmärtämiseksi on olennaista tulevaisuudessa tarkastella vaikutuksia myös kuntatasolla, jotta voidaan paremmin hahmottaa vaikutusten alueellinen jakautuminen ja mahdolliset vaikutusten keskittymät. Nämä erot tulisi ottaa huomioon myös mahdollisia tukitoimenpiteitä pohdittaessa – vaikutusten jakautuessa kuntatasolla hyvinkin vaihtelevasti voi olla tarkoituksenmukaista kohdentaa tukitoimia myös kunta- ja tapauskohtaisesti.

Isommat kaupungit, joiden elinkeinorakenne on palveluvaltainen ja monimuotoinen, pärjäävät tässä tehdyssä vertailussa parhaiten. Heikoimmin pärjäävät pienet kunnat, joiden työllisestä väestöstä merkittävä osa on työllistynyt muun teollisuuden toimialoille. Elinkeinorakenteen monipuolistaminen ja kehittäminen aktiivisesti vihreämmäksi voidaan tunnistaa keinoksi parantaa kuntien kilpailukykyä ja vahvistaa ilmastopolitiikan mahdollisia positiivisia taloudellisia vaikutuksia.

Tilastoanalyysissä korostuu ilmastopolitiikan vaikutusten alueellinen merkitys ja ennen kaikkea erot yksittäisten kuntien välillä. Maakuntien väliset erot työllisyysrakenteissa ja sitä kautta myös ilmastopolitiikan arvioituissa vaikutuksissa ovat melko vähäisiä, mutta yksittäisten kuntien välillä erot työllisyysrakenteissa voivat olla huomattavia myös saman maakunnan sisällä. Ilmastopolitiikan vaikutusten alueellisessa tarkastelussa ei ole havaittavissa selkeää maantieteellistä ulottuvuutta, vaan erot selittyvät pikemminkin työllisyysrakenteen kautta. Ilmastopolitiikan vaikutuksia arvioitaessa ja konkreettisia tukitoimia suunniteltaessa on otettava kuntien eriarvoiset asemat huomioon sen sijaan, että ilmastopolitiikan vaikutuksia pyrittäisiin tasoittamaan esimerkiksi maakunnittain. Maakuntien välillä toki on myös eroavaisuuksia, mutta ne eivät nouse esiin yhtä selkeästi.

Kiinnostava huomio tilastoanalyysin ja kyselytulosten välillä on, että mallinnustulosten perusteella ilmastopolitiikan työllisyysvaikutusten voidaan odottaa olevan negatiivisia, mutta kunnissa ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan odotetaan tuovan jopa lievästi positiivisia vaikutuksia kunnan tuloihin esimerkiksi elinkeinorakenteessa, nettomuutossa ja työpaikkojen kasvussa tapahtuvien muutosten myötä. Tämä korostaa tarvetta myös tarkastella laajemmin vihreän siirtymän mahdollisesti tuomia positiivisia talousvaikutuksia paikallisella tasolla.

Energiantuotannon muutosten vaikutukset korostuvat sekä tilasto- että kyselyanalyysissa: ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan taloudellisia vaikutuksia ennakoidaan erityisesti ja nopeiten energiantuotannon ja sen muutosten kautta kuntatasolla. Kuitenkin sekä vaikutukset että mahdollisuudet tehokkaaseen varautumiseen jakautuvat epätasaisesti kuntien välillä ja asettavat osat alueista selkeästi riskialttiimpaan asemaan.

Kunnissa on vahva usko, että uusiutuviin energialähteisiin tehdyt investoinnit vaikuttavat positiivisesti kuntatalouteen. Kansallisella tasolla uusiutuva energiantuotanto näyttääkin synnyttävän positiivisia julkistaloudellisia vaikutuksia, mutta alueitasolla mahdollisuudet niiden saavuttamiseen vaihtelevat. Oletettavasti uusiutuvan ja kestäväen energian tuotanto ei tule jakautumaan tasaisesti kuntien välillä, vaan kuntien välillä syntyy riippuvuussuhteita. Analyysimme perusteella suurin riski haitallisille taloudellisille vaikutuksille syntyy varautumattomuudesta ja tiedon puutteesta. Useilta kunnilta puuttuu laajamittainen ymmärrys ja kokonaiskuva ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista ja niihin varautumisesta, jolloin myös elinkeinorakenteen kautta ilmeneviä vaikutuksia voi olla vaikea ennakoita sekä investointeja vaikea perustella.

Kuntatasolla riskejä liittyy myös elinkeinorakenteen kehitykseen. Ilmastonmuutoksen tai ilmastopolitiikan johtaessa esimerkiksi merkittävän yksittäisen työllistäjän, kuten tehtaan lopettamiseen tai yksittäisen alan kuten turvetuotannon minimoimiseen, voivat työpaikkojen kautta realisoituvat taloudelliset riskit ja vaikutukset olla hyvinkin merkittäviä yksittäisissä kunnissa. Tämänkaltaiset vaikutukset on tärkeä huomioida ja ennakoita ilmastopolitiikan julkisen talouden vaikutuksia arvioitaessa, jotta negatiiviset taloudelliset vaikutukset voidaan minimoida. Kuntien osalta elinkeinorakenteen laajemman kehityksen ennakointi ja aktiivinen paikallinen elinkeinopolitiikka voivat tarjota työkaluja varautua haitallisiin vaikutuksiin.

Kuntien tunnistamista riskeistä suurimmat liittyvät vesien hallintaan ja energiavarmuuden ennakoinnattomuuteen. Erityisesti hulevesien, myrskyjen ja sään ääri-ilmiöiden kunnallistekniikkaan ja rakennettuun infrastruktuuriin kohdistuvien vaikutusten odotetaan vaikuttavan lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä kunnan talouteen. Nämä vaikuttavat kuntien menojen lisäksi useisiin eri elinkeinoihin, kuten maa- ja metsätalouteen sekä liikennesektoriin, mikä osaltaan voimistaa ilmastonmuutoksen muuttamien sään ääri-ilmiöiden ja vesienhallinnan riskejä ja kielteisiä tai arvaamattomia vaikutuksia kuntien talouteen.

Kunnat tunnistivat keskeiseksi riskiksi myös energiavarmuuden ennakoinnattomuuden eli energian saatavuuteen, hintaan ja esimerkiksi sähkökatkojen vaikutuksiin liittyvät taloudelliset riskit. Vastauksissa korostuivat sään ääri-ilmiöistä, kuten kuivuudesta ja lämpöaalloista johtuvat kiinteistöjen muuttuvat lämmitys- ja jäähdytystarpeet sekä sähkönkulutus esimerkkeinä tällaisista riskeistä. Lisäksi ilmastopolitiikan aiheuttamista riskeistä kunnallistaloudelle on tunnistettu ainakin teollisuuden kilpailukyyn heikkeneminen, yleinen

kustannusten nousu sekä mahdollinen verotulojen lasku tehtyjen päätösten seurauksena. Toisaalta samaan aikaan osassa kuntia tunnustetaan myös ilmastopolitiikan tuomat mahdollisuudet parantaa kilpailukykyä sekä ja uudistaa tai monipuolistaa elinkeinorakennetta ilmastopolitiikan näyttäessä suotuisan kehityksen suuntaa.

Kunnissa on myös varauduttu riskeihin. Joissain kunnissa on jo tehty riskikartoituksia, ja riskit on huomioitu erilaisissa olemassa olevissa strategioissa, kaavoituksessa ja rakennustoiminnassa sekä kunnallistekniikan kehityksessä. Myös energiavarmuutta on pyritty ja pyritään parantamaan. Kyselyn perusteella voidaan kuitenkin kokonaisuutena todeta, että tietoisuus julkiseen talouteen kohdistuvista riskeistä ja niihin varautumisen merkityksestä on kasvamassa, mutta konkreettisia toimia on toistaiseksi vielä verrattain vähän.

Ilmastopolitiikan osalta haasteet liittyvät toimien tehokkaaseen kohdistamiseen. Ilmastopolitiikan taloudellisissa vaikutuksissa on eroja erityisesti yksittäisten kuntien välillä, joten politiikkatoimia tulisi punnita mahdollisesti myös tapauskohtaisesti. Miten esimerkiksi siirtymäaikana voidaan tehokkaasti tukea sellaisia kuntia, jotka valittu ilmastopolitiikka asettaa epäedullisempaan asemaan, tai millaisia työllisyystoimia tarvitaan kunnissa, joiden työllisyysrakenne on yksipuolinen ja painottuu aloille, joiden tulevaisuuteen ilmastopolitiikka vaikuttaa eniten.

Toisaalta kansallisella tasolla haasteet liittyvät myös uusiutuvan energian tuotantoon ja sähköistämiseen. Päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi on kyettävä tuottamaan riittävästi kestävää uusiutuvaa energiaa kilpailukykyiseen hintaan, jotta riipeä ja reilu siirtymä pois fossiilisista energialähteistä on mahdollinen. Alueellisesti tarkasteltuna varsinkin pienemmillä kunnilla ei välttämättä ole edellytyksiä vastata yksin tähän haasteeseen, vaan tavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan johdonmukaista ja ennustettavaa energiapolitiikkaa sekä alueellista yhteistyötä.

## 6.5 Johtopäätökset

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen liittyvä politiikka yhdessä ilmastonmuutoksen aiheuttamien paikallisten ja globaalien suorien vaikutusten seurauksien kanssa tulee vaikuttamaan kuntien talouteen suorasti ja epäsuorasti tulevien vuosikymmenten aikana. Näiden suorien pysyvien vaikutusten voidaan odottaa keskimäärin olevan lieviä ja maltillisia lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Aktiivinen ja onnistunut viherää siirtymää edistävä politiikka on taas keskeisessä roolissa siinä, minkälaisia ja -suuruisia taloudellisia vaikutuksia kuntatalouteen syntyy siirtymävaiheen aikana.

Siirtymävaihe on aktiivisten toimijoiden ja toimien aikaa, ja ilmastonmuutoksen sekä ilmastopolitiikan taloudellisten vaikutusten tulevaan kehityskulkuun vaikutetaan positii-visesti nimenomaan päätöksillä ja teoilla, epäaktiivisuus ja varautumattomuus aiheuttaa riskin kuntien taloudelle ja kehitykselle. Kunnissa tunnistetaankin tarve varautua, mutta toimien suuntaa ja laajuutta vielä haetaan. Talousvaikutusten syvempi ymmärtäminen lisääisi tietopohjaa vaikuttavien ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ehkäisevien ja lieventävien politiikkatoimien suunnittelulle ja negatiivisten talousvaikutusten ehkäise-miselle ja hallinnalle. Teoilla on väliä: julkiseen talouteen kohdistuvien vaikutusten aktii-vinen ja laajamittainen ennakointi niin omassa kunnassa kuin yhdessä muiden kuntien kanssa auttaa ennakoimaan ja ehkäisemään ilmastonmuutoksen ja vihreään siirtymään liittyvän politiikan epäsuotuisia talousvaikutuksia, sekä tukee suotuisiin mahdollisuuksiin tarttumista.

## 7 Johtopäätökset

Tässä hankkeessa luotiin kokonaiskuva ilmastonmuutoksen vaikutuksista julkisen talouden kestävyyyteen ja riskeihin. Hanke kävi lävitse keskeisen tutkimuskirjallisuuden sekä hyödynsi makrotaloudellisia kokonaistasapainomalleja, joiden avulla tarkasteltiin ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän globaaleja vaikutuksia, ja lopulta Suomeen kohdistuvia suoria ja heijastevaikutuksia.

Mallinnustyön avulla pyrittiin erottelamaan, mitkä vaikutuskanavat, myös globaalit vaikutukset, ovat julkisen talouden näkökulmasta Suomen kannalta keskeisimpiä. Samalla arvioitiin, mitkä ovat ilmastonmuutoksen julkisen talouden vaikutusten mallintamisen haasteet ja mikä menetelmällinen lähestymistapa tarjoaisi parhaat mahdollisuudet mallintamiselle.

Mallinnustulosten avulla saatiin myös haarukoitua ilmastonmuutoksen sekä sen hillintään ja siihen sopeutumiseen suunniteltujen politiikkatoimien julkisen talouden vaikutusten suuruusluokkaa.

Tässä luvussa hankkeen tuloksia esitellään keskeisten tutkimukselle hankehaussa asetettujen tutkimuskysymysten kautta:

### **Miten ilmastonmuutos vaikuttaa julkisen talouden kestävyyyteen ja riskeihin?**

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista julkiseen talouteen sekä varautumisen ja sopeutumisen kustannuksista on vielä vähän tutkimuksia ja tieto niistä on epävarmaa. Tutkimus vaatii kokonaisnäkemystä, jossa yhdistyvät arviot ilmaston muuttumisen ja hillintä- ja sopeutuspolitiikan vaikutuksista kansantalouteen ja julkiseen talouteen. Vaikutusketju ilmasto muuttavista voimista julkiseen talouteen on pitkä ja täynnä epävarmuuksia. Kuinka talouskasvu muuttaa energiantarvetta ja kasvihuonekaasupäästöjä, miten päästöt puolestaan muuttavat ilmasto, millaisia uusia teknologioita tulee markkinoille ja millaiset ovat vaikutukset kansantalouteen ja erityisesti julkiseen talouteen? Miten kotitaloudet ja yritykset sopeutuvat ilmastonmuutokseen ilman politiikkainterventioita?

Kirjallisuuden perusteella välittyy joka tapauksessa kuva siitä, että ilmastonmuutoksen fyysiset seuraukset tulevat vaikuttamaan Suomen kansantalouteen, ja siten myös julkiseen talouteen, vähemmän kuin valtaosassa muita maita. Samalla voidaan ennakoida



kielteisten vaikutusten kiihtyvää kasvua lämpötilan nousun myötä, joka samalla kasvattaa muutenkin suurta vaikutuslaskelmiin liittyvää epävarmuutta. Vihreä siirtymä on todennäköisesti vielä lähivuosikymmenen ajan Suomen talouden kannalta tärkeämpi asia kuin ilmastonmuutos.

Hillintä- ja sopeutumiskäytännön julkistaloudellisia vaikutuksia arvioitaessa keskeiseksi nousevat käytettävien politiikkavälineiden lisäksi yritysten ja kotitalouksien käyttäytymisen muutosta säätelevät joustot ja teknologian muutokset, jotka vaikuttavat myös verotuksen lopulliseen kohtaantoon ja verotulojen määrään.

Valtioilla on laaja valikoima välineitä käytettäväksi ilmastonmuutoksen hillintään. Verot, päästöoikeuksien huutokauppa ja hiilitullit edustavat hintaohjausta, joka tuo myös tuloja valtiontalouteen. Toisaalta valtion tulojen vastapainona ovat yksityisen sektorin maksamat verot ja maksut, jotka vähentävät yritysten ja kotitalouksien käytettävissä olevia reaalituloja ja siten alentavat muiden verojen ja maksujen kertymistä. Samalla kannusteet tehdä työtä ja säästää heikkenevät.

Uusien ympäristöverojen ongelmalliset kannustevaikutukset ovatkin sitä suuremmat, mitä korkeammat ovat jo olemassa olevat työn ja pääoman veroasteet. Siksi optimaalinen hiiliverotus on lähtökohtaisesti kevyempää ennestään kireän verotuksen maissa.

Numeeristen sukupolvimallien perusteella vihreän siirtymän ja ilmastonmuutoksen sopeutumisen rahoittaminen julkisella velanotolla, eli siirtämällä kustannuksia tulevien sukupolvien maksettavaksi, voi olla optimaalista. Toisaalta muista syistä johtuva julkisen sektorin velkaantuminen voi tehdä lisävelanotosta kalliimpaa ja heikentää mahdollisuuksia sukupolvinäkökulmasta reiluun velkavetoiseen vihreään siirtymään.

Hiilen hintaan perustuvaa ohjausta pidetään talouden tehokkaan toiminnan kannalta hyvänä välineenä, koska se jättää yksityisen sektorin päätettäväksi, millä keinoilla (teknologia- ja kulutusvalinnat) päästötavoitteisiin päästään.

EU:n kilpailukykyä voidaan parantaa myös asettamalla tuontitavaroiden elinkaari- ja ympäristö- ja terveysverot tulli. Hiilitullia tullaankin kokeilemaan suppealla tuotevalikoimalla tulevina vuosina. Paras vaihtoehto olisi kuitenkin saada myös EU:n ulkopuoliset maat hinnoittelemaan päästönsä mahdollisimman kattavasti.

Valtion tuet suurentavat lähtökohtaisesti yritysten ja kotitalouksien tuloja, mutta ne on rahoitettava yleensä verotusta kiristämällä, mikä vähentää nettotuloja ja aiheuttaa kannustehaittoja. Siksi tukien käytössä markkinapuutteiden korjaaminen on etusijalla.

Tutkimuksessa selvitettiin myös paikallistason haasteita ja toimenpiteitä vihreän siirtymän edetessä ja ilmastonmuutokseen sopeutumisessa. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja siihen sopeutumiseen liittyvä politiikka yhdessä ilmastonmuutoksen aiheuttamien paikallisten ja globaalien suorien vaikutusten seurausten kanssa tulee vaikuttamaan kuntien talouteen suorasti ja epäsuorasti tulevien vuosikymmenten aikana.

Kuntien tunnistamista ilmastonmuutoksen riskeistä suurimmat liittyvät vesien hallintaan ja energiavarmuuden ennakoimattomuuteen. Lisäksi ilmastopolitiikan aiheuttamista riskeistä kunnallistaloudelle on tunnistettu ainakin teollisuuden kilpailukyvyn heikkeneminen, yleinen kustannusten nousu ja mahdollinen verotulojen lasku tehtyjen päätösten seurauksena. Samaan aikaan osassa kuntia tunnistetaan myös ilmastopolitiikan mahdollisuudet kilpailukyvyn parantamiselle ja elinkeinorakenteen uudistamiselle tai monipuolistamiselle.

### **Mitkä vaikutuskanavat ovat julkisen talouden näkökulmasta Suomen kannalta keskeisimpiä?**

Mallinnuksen pohjaksi hankkeessa kehitettiin kolme ylätasoa skenaariota. Skenaariot poikkeavat toisistaan pääosin oletuksien suhteen Pariisin sopimuksen toteutumisesta sekä sähköistymisen mahdollistavasta teknologisesti kehityksestä. Lähtökohtana tutkimuksessa oletetaan, että Suomi ja EU täyttävät ilmastositoumuksensa kaikissa vaihtoehdoissa. Lisäksi EU-maissa tapahtuva teknologinen kehitys olisi kaikissa skenaarioissa myös samanlainen. Eroavaisuudet skenaarioiden välillä syntyvät siten EU:n ulkopuolisten maiden hillintäpolitiikan ja hillinnän kustannuksien kehityksen suhteen. Skenaarioiden avulla saadaan haarukoitua erityisesti ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän aiheuttamia kansainvälisen kaupan heijastevaikutuksia Suomen talouden rakenteisiin ja sitä kautta julkiseen talouteen. Ilmastonmuutoksen hillintää tarkastellaan vain fossiilisten polttoaineiden vähentämisen osalta, koska käytetyt mallit eivät sisällä muita kasvihuonekaasupäästöjä ja maankäyttösektorin päästöjä.

Tarkasteltujen hillintäskenaarioiden keskeisiä vaikutusmekanismeja kansantalouteen ovat GTAP-mallinnuksissamme energiantuotannon murros, talouden sähköistyminen sekä fossiilisia polttoaineita tuottavien maiden bruttokansantuotteen huomattava aleneminen. Pitkän aikavälin talousvaikutukset riippuvat siitä, millä tasolla sähköntuotannon teknologioiden kustannukset ja siten sähkön hinta ovat. Jos edullista sähköä on saatavissa kuten esitetyissä laskelmissa, energiaintensiivisen teollisuuden kilpailukyky säilyy ja talouden rakennemuutos jää vähäisemmäksi. Sähköistymiseen liittyvä tuottavuuden paraneminen hillitsee osaltaan bruttokansantuotteen laskua. Raportin laskelmissa Suomen ulkomaankauppaan vaikuttavat erityisesti hintakilpailukyvyn heikkeneminen suhteessa fossiilisia

polttoaineita tuottaviin maihin sekä kysynnän romahtaminen näissä maissa. Laskelmat voivat kuitenkin yliarvioida hintakilpailukyvyyn muutoksen voimakkuutta ja sen vaikutusta ulkomaankauppaan eivätkä ne sisällä ilmastoteknologiaan liittyvää vientipotentialia.

Hillinnän ohella ilmastonmuutoksella on heijastevaikutuksia Suomen talouteen, erityisesti jos ilmastonmuutos vaikuttaa laajalti maailmantalouteen. Ilmastonmuutos vaikuttaa merkittävästi työn tuottavuuteen etenkin päiväntasaajan lähellä olevissa maissa. Ulkomaankaupan ja kansainvälisten investointien suuntautumisen seurauksena syntyvä maailmanlaajuisten työn tuottavuusmuutosten aiheuttama heijastevaikutus Suomeen oli mallilaskelmien mukaan heikosti positiivinen.

Tärkeänä vaikutusmekanismina sekä ilmastonmuutoksen hillintää että vaikutuksia koskeissa laskelmissa oli kansainvälisten investointien suuntautuminen Suomeen. Jos tätä vaikutusta ei otettaisi huomioon, heijastevaikutuksia dominoisi viennin väheneminen ja taloudelliset kustannukset olisivat suuremmat.

FOG-mallin ilmastonmuutoksen vaikutuksia kuvaavissa simuloinneissa otettiin lähtökohdaksi GTAP-mallin ilmastosimuloinnin makrotaloudelliset tulemat. Simuloinnit toivat esille kotimaisen tuottavuuden kasvun keskeisen roolin kokonaisvaikutuksille. Suurin osa tuotannon kasvusta saaduista tuloista jaetaan mallissa korkeampina palkkoina, jolloin palkkaverotuksen tuotto on merkittävin kasvava tulonlähde. Toisaalta sama vaikutuskanava kasvattaa julkisia menoja, kun palvelutuotannossa palkat nousevat. Tulonsiirtojen osalta keskeistä on niiden yhteys ansiotasoon indeksointien kautta. Ehkä yllättävin tulos onkin kulutusverotuksen tuoton jääminen jälkeen palkkatuloista saaduista verotuloista, joka FOG-mallissa kertoo siitä, etteivät maksussa olevat eläkkeet kasva samaa vauhtia ansioiden kanssa.

### **Mitkä ovat ilmastonmuutoksen julkisen talouden vaikutusten mallintamisen haasteet ja mikä menetelmällinen lähestymistapa tarjoaa parhaat mahdollisuudet mallintamiselle?**

Hahmotettaessa *ilmastonmuutoksen* vaikutuksia julkiseen talouteen on ensin pyrittävä arvioimaan sen vaikutukset muuhun kansantalouteen. Arviointiin liittyvät mallittamisen ongelmat välittyvät suoraan julkisen talouden tulojen ja menojen ennusteita koskevaan epävarmuuteen. Suomen julkiselle taloudelle keskipitkällä aikavälillä on toisaalta tärkeämpää, miten *vihreä siirtymä* toteutuu ja millaista politiikkaa sen edistämiseksi tullaan harjoittamaan. Vaikutusmahdollisuutemme ovat siirtymässä myös osittain rajalliset muun muassa sen vuoksi, että energian hinta määräytyy laajemmilla markkinoilla, suurin osa teknisistä innovaatioista tehdään muualla ja EU on ottamassa suuremman roolin ilmasto-politiikan määrittelemisessä.

Ilmastonmuutoksen julkistaloudellisten vaikutusten arvioinnin ensimmäinen keskeinen haaste on mittava epävarmuus, joka liittyy ilmastonmuutoksen etenemiseen ja sen globaaleihin kansantaloudellisiin vaikutuksiin. Suomi on pieni avotalous, jolle on tärkeää, miten ulkomaankauppa, pääomaliikkeet ja muuttoliike reagoivat muissa maissa tapahtuvaan ilmastonmuutokseen. Globaaleissa ilmastonmuutoksen ja maailmantalouden vuorovaikutusta käsittelevissä malleissa on tästä näkökulmasta merkittäviä puutteita. Niissä ulkomaankauppa on melko yksityiskohtaisesti mallitettu, mutta pääomaliikkeet ja muuttoliike on kuvattu heikommin, tai jätetty pois. Lisäksi väestöltään ja talouksiltaan pienten maiden erityispiirteitä ei ole mallitettu tarkasti. Muun muassa meille tärkeä maankäyttösektori jää vähälle huomiolle.

Toinen keskeinen epävarmuustekijä on ilmastonmuutoksen suora vaikutus tuottavuuteen Suomessa. Tiedetään, että keskilämpötila Suomessa on erilaisten aggregatiivisten optimaalisen tuottavuuden laskelmien näkökulmasta nyt matala. Toisaalta keskilämpötilan nousun ja muiden ilmastonmuutoksen seurausten tuottavuusvaikutukset ovat osittain erisuuntaisia ja erilaisia eri toimialoilla ja eri alueilla. Lisäksi pääosin yksityisen sektorin toimesta tapahtuvalla sopeutumisella on suuri merkitys lopputulokselle.

Ilmastonmuutoksen seurausten tutkiminen edellyttää, että kansantaloudellisia vaikutuksia jäljittelevissä mallissa on oltava riittävän tarkka hyödyke- ja toimialarakenne. Nykyisissä malleissa oletetaan lisäksi tyypillisesti, että vaikutukset koskevat tuottavuuden ja tuotannon tasoa, mutta ei kasvuvauhtia. Mallien ulkopuolelta mukaan tyypillisesti tuotu tuottavuuden trendikasvu on kuitenkin keskeinen elintaso ja julkisen talouden tilaa pitkällä aikavälillä määrittävä tekijä.

Kolmas enemmän vihreään siirtymään liittyvä tekijä on teknologisten muutosten vaikutusten ennakoiminen. Esimerkiksi puhtaan energian tuottamiseen, siirtämiseen ja varastointiin liittyvien keksintöjen vaikutukset hintasuhteisiin ja elinkeinorakenteeseen ovat hankalasti mallitettavissa. Niillä on kuitenkin suuri vaikutus sille, kuinka suuret kansantaloudelliset kustannukset siirtymästä aiheutuvat.

Iso kysymys sekä ilmastonmuutoksen vaikutusten että vihreän siirtymän kuvausten kannalta on se, miten malleissa pystytään kuvaamaan tuotannon ja kulutuksen murrosta silloin, kun teknologiassa, preferensseissä, hintasuhteissa ja sääntelyssä tapahtuu suuria muutoksia. Silloin esimerkiksi substituutiojoustot, jotka on estimoitu historiallisten aikasarjojen perusteella muuttuvat epävarmoiksi.

Murroksessa myös yritysten poistuminen markkinoilta ja uusien syntyminen kiihtyy. Tämä ilmiö ei ole tyypillisesti käytetyissä malleissa mukana. Vaikutukset eivät ole myöskään aina odotetun mukaiset. Suomessa luova tuho on heikentänyt teollisuuden hiilitehokkuutta, ja tehokkuuden mittava paraneminen on perustunut toimintaansa jatkavien jo ennestään vähäpäästöisten yritysten toimiin (Kuosmanen ja Maczulskij, 2022).

Vaikutuslaskelmiin käytetyissä nykyisissä malleissa on myös muita käyttäjien kannalta ongelmallisia piirteitä. Yksi niistä on ilmastonmuutoksen vaikutukset varallisuuteen. Malleilla voidaan matkia tuotannollisen pääomakannan äkillisiä arvon alenemisiä, mutta niissä ei ole usein eroteltu asuntovarallisuutta tai ulkomaista varallisuutta. Suurten vihreiden investointien rahoittamisen pullonkaulat liittyvät yritysten vakavaraisuuteen ja rahoitusmarkkinoiden kykyyn arvioida investointeihin liittyvät riskit.

Käytetyissä kansantaloudellisissa malleissa ei ole myöskään ilmastonmuutokseen, tai vihreään siirtymään (politiikka, teknologia) liittyvää epävarmuutta tyypillisesti huomioitu tulosten käyttäjän kannalta informatiivisella tavalla. Vaihtoehtoisten skenaarioiden tuottaminen ja päivittäminen on varsin työlästä, ja niistä, samoin kuin herkkyyyslaskelmista, puuttuu todennäköisyystulkinta. Mallien logiikan näkökulmasta on myös ongelmana, että kotitalouksien ja yritysten päätöksenteossa ei ole yleensä mukana riskejä. Ensimmäisiä yrityksiä yhdistää energiassektori konsistentisti epävarmuuden sisältäviin DSGE-malleihin on olemassa, mutta nämä mallit ovat muutoin hyvin aggregatiivisia.

Keskeinen ilmastonmuutoksen vaikutuskanava julkisen talouden tuloihin ovat veropohjien muutokset, joiden ennakoidaan olevan hitaita. Tuottavuuden kasvulla ja siihen liittyvällä epävarmuudella on arvioille suuri merkitys. Kun tuottavuuden tulevasta muutoksesta on vain vähän tietoa, käytetään usein mallin ulkopuolelta tulevia arvioita tuottavuustrendistä.

Toinen julkisen talouden tuloihin vaikuttava asia on kansainvälisiltä markkinoilta (tai suomalaisista monikansallisista yrityksistä) saatava sijoitusten tuotto, joka on meille merkittävä verraten suurten eläkerahastojen vuoksi. Sen mallittamiseksi tarvitaan väline arvioida pääoman tuottoa teollisuusmaissa. Julkinen sektori omistaa myös energiaa tuottavia yhtiöitä ja metsiä, mutta tälle yksityiskohtaisuuden tasolle julkistaloudellisten vaikutusten laskelmissa on vaikea mennä.

Ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset julkisiin menoihin liittyvät osin sään ääri-ilmiöiden vaikutuksiin, joita on hankala mallittaa. Esimerkkeinä ovat infrastruktuurille aiheutuvien vahinkojen korjaaminen ja lämpöaaltojen vaikutukset terveydenhuollon palvelujen kysyntään.

Vihreän siirtymän julkistaloudellisten vaikutusten mallittamisen haasteet perustuvat pääosin politiikkavälineiden vaikutuslaskemilta vaadittavien ominaisuuksien saamiseen mukaan malliin. Kohdennetut verot edellyttävät vastaavien veropohjien olemassaoloa, ja sääntelyn, tai tukien, vaikutusten kuvaaminen niitä vastaavien valintojen mallittamista. Sama koskee substituutiomahdollisuuksia, jotka vaikuttavat osaltaan verojen kohtaantoon.

Jos vihreä siirtymä muuttaa verraten nopeasti elinkeinorakennetta, mallituksessa on huomioitava myös muun muassa työmarkkinoiden jäykkyydet, joilla on yhteys työttömyysmenoihin, ja rahoitusmarkkinoiden kyky rahoittaa investoinnit. Viimeaikaiset kokemukset osoittavat myös energian tarjonnan hitaan sopeutumisen keskeisyyden hintojen määräytymisessä.

Mallitekniisten ongelmien lisäksi on ratkaistava, miten suhtaudutaan politiikkamuutoksiin, jotka ovat sidoksissa vihreän siirtymän etenemiseen. Näitä muutoksia voivat olla esimerkiksi energian hinnan nopean nousun kompensointi kotitalouksille tai keskuspankkipolitiikan reaktio kuluttajahintojen nousuun.

Edellä kuvattu taloudellisten mallien toivottavien ominaisuuksien lista ei ole tyhjentävä, mutta antaa kuvan siitä, kuinka haastavasta tehtävästä on kyse. Jos ilmastonmuutoksen ja vihreän siirtymän taloudellisia vaikutuksia halutaan tutkia yhdellä mallilla, sen on kuvattava hyvin sekä pitkän aikavälin uusi tasapaino että erilaiset mahdolliset siirtymäpolut tasapainoon.

Ilmastonmuutoksen ja kansantalouden vuorovaikutuksen mallittaminen on lähtenyt liikkeelle yksinkertaisista integroiduista ilmasto- ja kasvumalleista, joissa julkista taloutta on kuvattu lähinnä politiikan kustannusten ja hillintävaikutusten näkökulmasta. Toinen myöhemmin yleistynyt toimintatapa on lisätä ilmastopolitiikan tutkimisen kannalta relevantteja ominaisuuksia olemassa oleviin makrotaloudellisiin malleihin. Näistä esimerkkinä ovat kansainvälisen kaupan yleisen tasapainon mallit, joita on täydennetty ilmastopolitiikan tutkimisen välineistöllä. Viime aikoina on käytetty myös muita makromalleja, joihin on rakennettu jälkeenpäin energian tuotantoa ja välipanoskäyttöä koskevia osia. Hiilen varastoinnin ja ilmakehästä poistamisen käsittely jää edelleen tyyppillisesti erillisten mallien varaan, joista on esimerkkinä Kalkuhl ym. (2022).

Kehittynein ratkaisu on rakentaa mallikehikko, jossa makromallin yhteyteen on liitetty erilaisia satelliittimalleja. Näistä hiilen kiertoa kuvaava osa on keskeinen, jos halutaan tutkia myös politiikan vaikutuksia ilmastoon. Satelliittimallit kuvaavat tyyppillisesti tarkemmin keskeisten toimialojen teknisiä ja taloudellisia toimintatapoja. Vaikeasti ratkaistava kysymys

on, miten saadaan mallin ratkaisusta konsistentti, jos satelliitteja ja makromallia joudutaan ratkaisemaan vuorotellen. Sama mallien vuorovaikutuksen ongelma koskee ilmastopolitiikan tulonjakovaikutusten tutkimista mikrosimulaatiomalleilla.

Ilmastonmuutoksen ja erityisesti politiikan julkistaloudellisia vaikutuksia tutkittaessa julkisen talouden mallilohkon on käytännössä oltava osa makrotaloudellista mallia, koska yhteydet ovat niin moninaiset. Ilmastopolitiikan tutkiminen edellyttää julkisen talouden kehikon yksityiskohtaisuutta erityyppisten energialähteiden verotuksen ja päästökaupan osalta. Verotulojen kierrättämisen vaikutuksia varten on perusteltua tehdä oma analyysinsä. Tulosten ymmärtämisen kannalta vaihteellinen politiikkapakettien analyysi on muutoinkin suositeltavaa.

Laajojen mallikehikoiden rakentamiseen ja käyttöön vaadittava työ- ja osaamispanos on monitieteinen ja mittava. Niiden ylläpitoon ja päivittämiseen on sitouduttava hyvin pitkäksi aikaa. Mallien monimutkaisuuden kasvaessa niiden tulosten jäljittäminen ja tulkinta vaikeutuu, mikä puoltaa sitä, että mallin loppukäyttäjät myös osallistuvat niiden rakentamiseen. Ilmastonmuutoksen julkistaloudellisten vaikutusten arvioimisen nykytilaa, mallien rakentamisen vaiheita ja käytännön ongelmia on kuvattu laajasti Sitran tutkijoiden valtiovarainministerien ilmastokoalitiolle tekemässä raportissa (Tamminen ym., 2022).

### **Mikä on ilmastonmuutoksen ja sen hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi suunniteltujen politiikkatoimien julkisen talouden vaikutusten suuruusluokka?**

Hankkeessa tehtiin myös eri skenaarioita koskevia laskelmia siitä, mikä on ilmastonmuutoksen ja sen hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi suunniteltujen politiikkatoimien julkistaloudellisten vaikutusten suuruusluokka Suomessa. Arvioita tehtiin koko maan tasolla sekä pohdittiin alueellisia eroja vaikutuksissa. Suuruusluokka-arviot ovat hyvin epävarmoja, mutta ne auttavat hahmottamaan kokonaisuuden mittaluokkaa. Samalla arvioitiin, millainen olisi mallinnuksen haasteet huomioiden paras vaikutusten laskentakehikko.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia julkiseen talouteen tutkittiin dynaamisen FOG-mallin avulla. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia jäljiteltiin siirtämällä FOG-malliin GTAP-mallin uutta ilmastonmuutoksen jälkeistä tasapainotilaa kuvaavien keskeisten kansantaloudellisten muuttujien arvot. Näitä muuttujia olivat vientimaiden kasvuvauhdin muutos, investoinnit Suomessa ja työn tuottavuuden muutos.

Jo GTAP-tulosten perusteella voidaan päätellä, että ilmastonmuutoksen kansantaloudelliset vaikutukset jäävät vähäisiksi, jolloin myös julkisen talouden vaikutukset ovat pienet ja toteutuvat erittäin pitkän ajan kuluessa. Ulkomailta tulevat heijastevaikutukset vähentävät vientiä, koska vientimaiden talouskasvu hidastuu, mutta kasvattavat investointeja, ja niiden yhteisvaikutus tuotantoon jää vähäiseksi.

Myös kotimaisen väestökehityksen ja ilmastonmuutoksen vuorovaikutus jää nyt tehtyjen laskelmien perusteella vähäiseksi. Tämä johtuu ilmastonmuutoksen verraten pienistä vaikutuksista. Johtopäätös muuttuu olennaisesti, jos ilmastoperusteinen muuttoliike osoittautuu ennakoitua suuremmaksi ja ulottuu myös Suomeen.

FOG-mallin julkinen talous on ilmastonmuutoksen vaikutuksia kuvaavissa simuloinneissa tasapainotettu niin, että sosiaaliturvasektori ja kunnat rahoittavat menonsa maksuilla ja veroilla niin, että menojen ja tulojen tasapaino säilyy kaikilla periodeilla. Sen sijaan valtio tasapainottaa tulot ja menot velkaa muuttamalla ja pitää veroasteet ennallaan. Simulointitulosten mukaan ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat koko julkiseen talouteen marginaalisesti positiiviset. Työn tuottavuuden ja sitä kautta palkkasumman kasvu parantaa sosiaaliturvarahastojen ja kuntien taloutta ja mahdollistaa pienen verojen kevennyksen pitkällä aikavälillä. Sen sijaan valtiontalouteen syntyy pieni alijäämä, joka johtuu todennäköisesti siitä, että hitaammin kasvava kulutus ja yritysten voitot muodostavat merkittävän osan veropohjista, kun taas menoista valtaosa on ansiosidonnaisia.

Hillintäpolitiikasta aiheutuvia kansataloudellisia ja julkisen talouden mekanismeja olisi voitu periaatteessa kuvata laskelmilla, joissa GTAP-mallin tuloksia on yhteensovitettu FOG-mallin syötteeksi. Käytännössä yhteensovittaminen olisi vaatinut huomattavan määrän lisäoletuksia mallien erilaisten rakenteiden vuoksi.

Sen sijaan FOG-mallinnuksessa lähdettiin ensin oletuksesta, että yritykset siirtävät ympäristöverotuksen kustannukset suurelta osin kuluttajahintoihin. Siksi nostettiin vähitellen kulutusveroastetta 2030-luvun lopulle asti ja palautettiin se sen jälkeen alkuperäiselle tasolle. Tämä siksi, että verotuksen kiristymisen julkisen talouden vaikutukset ovat pääosin väliaikaiset, koska vihreä siirtymä vähentää fossiilisten polttoaineiden verottamisesta saatavia tuloja pitkällä aikavälillä.

Toinen verotuksen mekanismeja kuvaava simulaatio tehtiin ajatuksella, että osa yritysten välipanoksiin kohdennetun ympäristöveron kohtaannosta osuu yritysten voittoihin. Tätä jäljiteltiin nostamalla edellisen kokeilun tavoin vähitellen väliaikaisesti yhteisöveroastetta. Tässäkin tapauksessa politiikkapolun tunteminen etukäteen vaikuttaa merkittävästi siihen, millaisia ovat lyhyen aikavälin tulokset. Veron kiristäminen laskee yritysten arvoa ja siten niitä omistavien kotitalouksien varallisuutta. Osa veron kohtaannosta siirtyy kotitalouksille myös alhaisempien palkkojen muodossa. Lisäksi uusien investointien tuottovaatimus kasvaa, mikä vähentää investointeja.

Julkisen talouden tasapainon näkökulmasta yhteisövero vaikutukset ovat samankaltaiset kuin kulutusverotuksen kiristämisen: lisäverotulojen käyttö valtion velan pienentämiseen vähentää marginaalisesti mutta pysyvästi valtion menoja. Vaikka talous palaa verotusmuutosten jälkeen aiemmalle kasvu-uralleen, yksityisen sektorin näkökulmasta matalamman



valtion velan vastapainona ovat menetykset varallisuudessa ja yksityisessä kulutuksessa, jotka osuvat veromuutosten aikaan eläneille kotitalouksille eri tavoin niiden työmarkkina-aseman ja elinkaaren vaiheen mukaan.

Kuntatasoisen analyysimme perusteella merkittävä alueellinen riski liittyy ylipäätään varautumattomuuteen ja tiedon puutteeseen. Useilta kunnilta puuttuu laajamittainen ymmärrys ja kokonaiskuva ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista ja niihin varautumisesta. Osa kunnista on kuitenkin jo tehnyt riskikartoituksia, ja riskejä on alettu huomioida esimerkiksi erilaisissa olemassa olevissa strategioissa, kaavoituksessa ja rakennustoiminnassa sekä kunnallistekniikan kehityksessä ja myös energiavarmuutta on pyritty ja pyritään parantamaan alueellisten ominaispiirteiden puitteissa. Kunnat antavat myös heikon signaalin siitä, että ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan voidaan myös odottaa mahdollisesti tuovan positiivisia taloudellisia vaikutuksia tulojen ja jopa varallisuuden lisääntymisen kautta, mikäli vihreään siirtymän politiikkatoimissa onnistutaan.

Kysymys energiantuotannosta korostuu sekä tilasto- että kyselyanalyysissa: sekä nykyinen elinkeinorakenne (teollisuus) että tunnistetut varautumiskeinot painottavat energiantuotannon vaikutuksia. Ne vaihtelevat kuitenkin merkittävästi eri kuntien välillä. Ilmastonmuutoksen ja ilmastopolitiikan talousvaikutusten ennakointi myös elinkeinorakenteen osalta tarjoaa mahdollisuuden kunnille kirittää vihreää siirtymää ja minimoida kielteisiä vaikutuksia.

Ilmastonmuutoksen suorien vaikutusten lisäksi ilmastopolitiikka vaikuttaa kuntien talouteen epäsuorasti myös elinkeinorakenteen ja kuntien varallisuuden kautta. Elinkeinorakenteen monipuolistaminen ja kehittäminen vihreämmäksi tunnistetaan keinoiksi parantaa kilpailukykyä ja siten vahvistaa mahdollisia ilmastopolitiikan positiivisia taloudellisia vaikutuksia. Aktiivinen ja onnistunut vihreää siirtymää edistävä politiikka on keskeisessä roolissa siinä, minkälaisia ja -suuruisia taloudellisia vaikutuksia kuntatalouteen syntyy siirtymävaiheen aikana.

Kaiken kaikkiaan arvioiden epävarmuus on suurta. Esimerkiksi äkillisistä ääri-ilmiöistä aiheutuneet lyhyen aikavälin heijastevaikutukset voivat olla selvästi suurempia, erityisesti yksittäisille alueille ja niiden tuotannolle. Lisäksi muun muassa ilmastonmuutoksen aiheuttama siirtolaisuus voi aiheuttaa huomattavia pysyviä taloudellisia vaikutuksia, joita laskelmamme eivät huomioi.

# Liitteet

## Liite 1: Kuntakyselyn taustaa ja kysymykset

Liite 1 julkaistaan erillisenä liitetiedostona. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-165-0>

## Liite 2

### Energiantuotanto

- fossiilinen
- päästötön

### Energiaintensiivinen teollisuus

- 05 Kivihiilen ja ruskohiilen kaivu
- 06 Raakaöljyn ja maakaasun tuotanto
- 07 Metallimalmien louhinta
- 08 Muu kaivostoiminta ja louhinta
- 09 Kaivostoimintaa palveleva toiminta
- 17 Paperin, paperi- ja kartonkituotteiden valmistus
- 19 Koksen ja jalostettujen öljytuotteiden valmistus
- 20 Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus
- 21 Lääkeaineiden ja lääkkeiden valmistus
- 22 Kumi- ja muovituotteiden valmistus
- 23 Muiden ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus
- 24 Metallien jalostus
- 25 Metallituotteiden valmistus (pl. koneet ja laitteet)

### Muu teollisuus

- 10 Elintarvikkeiden valmistus
- 11 Juomien valmistus
- 12 Tupakkatuotteiden valmistus
- 13 Tekstiilien valmistus
- 14 Vaatteiden valmistus
- 15 Nahan ja nahkatuotteiden valmistus

- 16 Sahatavaran sekä puu- ja korkkituotteiden valmistus (pl. huonekalut); olki- ja punontatuotteiden valmistus
- 18 Painaminen ja tallenteiden jäljentäminen
- 26 Tietokoneiden sekä elektronisten ja optisten tuotteiden valmistus
- 27 Sähkölaitteiden valmistus
- 28 Muiden koneiden ja laitteiden valmistus
- 29 Moottoriajoneuvojen, perävaunujen ja puoliperävaunujen valmistus
- 30 Muiden kulkuneuvojen valmistus
- 31 Huonekalujen valmistus
- 32 Muu valmistus
- 33 Koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus

### **Teollisuuden palvelut**

- 35 Sähkö-, kaasu- ja lämpöhuolto, jäähdytysliiketoiminta
- 38 Jätteen keruu, käsittely ja loppusijoitus; materiaalien kierrätys
- 39 Maaperän ja vesistöjen kunnostus ja muut ympäristöhuoltopalvelut
- 52 Varastointi ja liikennettä palveleva toiminta
- 61 Televiestintä
- 62 Ohjelmistot, konsultointi ja siihen liittyvä toiminta
- 63 Tietopalvelutoiminta
- 64 Rahoituspalvelut (pl. vakuutus- ja eläkevakuutustoiminta)
- 65 Vakuutus-, jälleenvakuutus- ja eläkevakuutustoiminta (pl. pakollinen sosiaalivakuutus)
- 66 Rahoitusta ja vakuuttamista palveleva toiminta
- 68 Kiinteistöalan toiminta
- 69 Lakiasiaain- ja laskentatoimen palvelut
- 70 Pääkonttorien toiminta; liikkeenjohdon konsultointi
- 71 Arkkitehti- ja insinööripalvelut; tekninen testaus ja analysointi
- 72 Tieteellinen tutkimus ja kehittäminen
- 73 Mainostoiminta ja markkinatutkimus
- 74 Muut erikoistuneet palvelut liike-elämälle
- 77 Vuokraus- ja leasingtoiminta
- 78 Työllistämistoiminta
- 80 Turvallisuus-, vartiointi- ja etsiväpalvelut
- 81 Kiinteistön- ja maisemanhoito
- 82 Hallinto- ja tukipalvelut liike-elämälle

## **Palvelut**

- 36 Veden otto, puhdistus ja jakelu
- 37 Viemäri- ja jätevesihuolto
- 55 Majoitus
- 56 Ravitsemistoiminta
- 79 Matkatoimistojen ja matkanjärjestäjien toiminta; varauspalvelut
- 84 Julkinen hallinto ja maanpuolustus; pakollinen sosiaalivakuutus
- 85 Koulutus
- 86 Terveyspalvelut
- 87 Sosiaalihuollon laitospalvelut
- 88 Sosiaalihuollon avopalvelut
- 90 Kulttuuri- ja viihdetoiminta
- 91 Kirjastojen, arkistojen, museoiden ja muiden kulttuurilaitosten toiminta
- 92 Rahapeli- ja vedonlyöntipalvelut
- 93 Urheilutoiminta sekä huvi- ja virkistyspalvelut
- 94 Järjestöjen toiminta
- 95 Tietokoneiden, henkilökohtaisten ja kotitaloustavaroiden korjaus
- 96 Muut henkilökohtaiset palvelut

## **Kuljetus**

- 49 Maaliikenne ja putkijohtokuljetus
- 50 Vesiliikenne
- 51 Ilmaliikenne
- 53 Posti- ja kuriiritoiminta

## **Maa- ja metsätalous**

- 01 Kasvinviljely ja kotieläintalous, riistatalous ja niihin liittyvät palvelut
- 02 Metsätalous ja puunkorjuu
- 03 Kalastus ja vesiviljely

## LÄHTEET

- Acemoglu, D., Acikcigit, U., Hanley, D. (2016). Transition to Clean Technology. *Journal of Political Economy*, 2016, vol. 124, no. 1.
- Alimov, N., Godenhielm, M., Honkatukia, J., Kinnunen, J., Ruuskanen, O-P. (2020). Ilmastopolitiikan tulonjako-vaikutukset, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja. 2020:49.
- Andersen, T. M. (2015). The welfare state and economic performance: Bilaga 4, Långtidsutredningen. Statens Offentliga Utredningar.
- Andersen, T. M. (2015). The welfare state and economic performance: Bilaga 4, Långtidsutredningen. Statens Offentliga Utredningar.
- Andersson, M., Baccianti, C., Morgan, J. (2020). Climate change and the macro economy. Occasional Paper Series 243. European Central Bank.
- Annicchiarico, B., Carattini, S., Fischer, C., Heutel, G. (2021). Business Cycles and Environmental Policy: Literature Review and Policy Implications. National Bureau of Economic Research. Working Paper 29032.
- Armington, P. (1969). A Theory of Demand for Products Distinguished By Place of Production. International Monetary Fund Staff Papers.
- Arrow, K. J., Cropper, M. L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G. M., Newell, R. G., Nordhaus, W. D., Pindyck, R. S., Pizer, W. A., Portney, P. R., Sterner, T., Tol, R. S. J., Weitzman, M. L. (2013). How Should Benefits and Costs Be Discounted in an Intergenerational Context? The Views of an Expert Panel. Resources for the Future Discussion Paper No. 12-53.
- Auffhammer, M. (2018). Quantifying Economic Damages from Climate Change. *Journal of Economic Perspectives*. 32 (4): 33-52.
- Bachner, G., Bednar-Friedl, B. (2019). The Effects of Climate Change Impacts on Public Budgets and Implications of Fiscal Counterbalancing Instruments. *Environ Model Assess*. 24. 121–142.
- Barrage, L. (2020a). Optimal Dynamic Carbon Taxes in a Climate–Economy Model with Distortionary Fiscal Policy, *The Review of Economic Studies*. Volume 87, Issue 1, January 2020, Pages 1–39,
- Barrage, L. (2020b). The Fiscal Costs of Climate Change. *AEA Papers and Proceedings*, American Economic Association, vol. 110, pages 107-112, May.
- Barrios, S., Pycroft, J., Saveyn, B. (2013). The marginal cost of public funds in the EU: the case of labour versus green taxes. *Taxation papers 35 – 2013*. European Commission.
- Batten, S. (2018). Climate change and the macro-economy: a critical review. Bank of England working papers 706. Bank of England.
- Batten, S., Sowerbutts, R., Tanaka M. (2020). Climate change: Macroeconomic impact and implications for monetary policy. *Julkaisussa Ecological, Societal, and Technological Risks and the Financial Sector*.
- 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. ym. (2020). D2.7. Macroeconomic, spatially-resolved impact assessment. Deliverable of the H2020 COACCH project.
- Bosello, F., Ramiro, P. (2020). Macro-economic assessment of climate change impacts: methods and findings. *EKONOMIAZ. Revista vasca de Economía, Gobierno Vasco / Eusko Jaurlaritza / Basque Government*, vol 97(01), pages 45-61.
- Bowen, A., Kuralbayeva, K., Tipoe, E.L. (2018). Characterising green employment: The impacts of ‘greening’ on workforce composition. *Energy Economics*, 72, pp.263-275.
- Burke, M., Hsiang, S.M., Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, October 2015, 527(7577).
- Burniaux, J.M., Truong, T.P. (2002). “GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model.” Global Trade Analysis Project (GTAP), Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN, GTAP Technical Paper No. 16.
- Böhringer, C., Rosendahl, K. E. (2020). Europa beyond Coal – An Economic and Climate Impact Assessment. CESifo working papers 8412.
- Böhringer, C., Rutherford, T. (2005). Integrating Bottom-Up into Top-Down: A Mixed Complementarity Approach. ZEW Discussion Paper No.05-028. (etsi journal-julkaisu)
- Calel, R., Dechezlepretre, A. (2016). Environmental policy and directed technological change: evidence from the European carbon market. *Rev. Econ. Stat.* 98 (1), 173–191.
- Capros, P., Van Regemorter, D., Paroussos, L., Karkatsoulis, P., Fragkiadakis, C., Tsani, S., Charalampidis, I., Revesz, T., Perry, M., Abrell, J., Ciscar Martinez, J., Pycroft, J., Saveyn, B. (toim.). (2013). GEM-E3 Model Documentation. EUR 26034. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union JRC83177

- Carter, T. R., Benzie, M., Campiglio, E., Carlsen, H., Fronzek, S., Hildén, M., Reyer, C. P. O., West, C. (2021). A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. *Global Environmental Change* 69, 102307, doi:10.1016/j.gloenvcha.2021.102307
- Carter, T. R., Kankaanpää, S. (2003). "Eiselytitys ilmastonmuutokseen sopeutumisesta Suomessa / A preliminary examination of adaptation to climate change in Finland."
- Catalano, M., Lorenzo, F., Pezzolla, E. (2019). Climate-change adaptation: The role of fiscal policy. *Resource and Energy Economics*, 59(C).
- Charpentier, A., Barry, L., James, M.R. (2022). Insurance against natural catastrophes: balancing actuarial fairness and social solidarity. *Geneva Pap Risk Insur Issues Pract* 47, 50–78.
- Chen, Y.-H. H. (2017). The Calibration and Performance of a Non-homothetic CDE Demand System for CGE Models. *Journal of Global Economic Analysis*, 2(1): 166-214 (doi:10.21642/JGEA.020103AF) (<http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.020103AF>)
- Ciscar, J. C., Feyen, L., Soria, A., Lavallo, C., Raes, F., Perry, M., Nemry, F., Demirel, H., Rozsai, M., Dosio, A., Donatelli, M., Srivastava, A., Fumagalli, D., Niemeyer, S., Shrestha, S., Ciaian, P., Himics, M., Van Doorslaer, B., Barrios, S., Ibáñez, N., Forzieri, G., Rojas, R., Bianchi, A., Dowling, P., Camia, A., Libertà, G., San Miguel, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Barredo, J. I., Paci, D., Pycroft, J., Saveyn, B., Van Regemorter, D., Revesz, T., Vandyck, T., Vrontisi, Z., Baranzelli, C., Vandecasteele, I., Batista e Silva, F., Ibarreta, D. (2014). Climate Impacts in Europe. The JRC PESETA II Project. JRC Scientific and Policy Reports, EUR 26586EN.
- 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.
- Cvijanovic, D., Van de Minne, A. (2021). Does Climate Change Affect Investment Performance? Evidence from Commercial Real Estate (November 4, 2021). MIT Center for Real Estate Research Paper No. 21/15
- Darvas, Z., Wolff, G. (2021). 'A green fiscal pact: climate investment in times of budget consolidation', Policy Contribution 18/2021, Bruegel.
- Dasgupta, P. (2021). *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. (London: HM Treasury)
- 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
- Dell, M., Jones, B. F., Olken, B. A. (2008). Climate Change and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century, National Bureau of Economic Research Working Paper Series, No. 14132.
- Dellink, R. ym. (2017). International trade consequences of climate change, OECD Trade and Environment Working Papers, 2017/01, OECD Publishing, Paris.
- Dietz, S., Rising, J., Stoerk, T., Wagner, G. (2021). Economic impacts of tipping points in the climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(34).
- Dietz, S., Stern, M. (2015). "Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions," *Economic Journal*, Royal Economic Society, vol. 0(583), pages 574-620, March.
- EC (2020). 2030 Climate Target Plan Impact Assessment, SWD(2020) 176 final. Brussels.
- Ferris, E. (2020). Research on climate change and migration where are we and where are we going?, *Migration Studies*, Volume 8, Issue 4, December 2020, Pages 612–625
- Finkelstein Shapiro, A., Metcalf, G. E. (2021). The Macroeconomic Effects of a Carbon Tax to Meet the U.S. Paris Agreement Target: The Role of Firm Creation and Technology Adoption. NBER working paper No. 28795.
- Forsman, J., Närhi, J., Uimonen, H., Semkin, N., Miettinen, V., Toivola, S. (2021). Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:4
- Freire-González, J. (2018). Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review, *Journal of Policy Modeling*, 40(1): 194-223.
- Fried, S. (2021). "Seawalls and Stilts: A Quantitative Macro Study of Climate Adaptation," Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper 2021-07.
- Fullerton, D., Heutel, G. (2007). The general equilibrium incidence of environmental taxes, *Journal of Public Economics*, Volume 91, Issues 3–4, Pages 571-591.
- Gagliardi, N., Arévalo, P., Pamies, S. (2022). The Fiscal Impact of Extreme Weather and Climate Events: Evidence for EU Countries, *European Economy, Discussion Paper 168*, European Commission.
- Gillingham, K., Nordhaus, W., Anthoff, D., Blanford, G., Bosetti, V., Christensen, P., McJeon, H., Reilly, J. (2018). Modeling uncertainty in integrated assessment of climate change: A multimodel comparison. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), 791-826.
- Gregow, H., Mäkelä, A., Tuomenvirta, H., Juhola, S., Käyhkö, J., Perrels, A., Kuntsi-Reunanen, E., Mettiäinen, I., Näkkäläjärvi, K., Sorvali, J., Lehtonen, H., Hildén, M., Veijalainen, N., Kuosa, H., Sihvonen, M., Johansson, M., Leijala, U., Ahonen, S., Haapala, J., Korhonen, H., Ollikainen, M., Lilja, S., Ruuhela, R., Särkkä, J., Siiriä, S.-M. (2021). Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjaukeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021.
- Hakala, K., Hannukkala, A., & Huusela-Veistola, E. (2011). Pests and diseases in a changing climate a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science*, 20(1), 3–14.

- Harju, J., Kyyrä, T., Kärkkäinen, O., Matikka, T., Ojala, L. (2018). Työn tarjonnan mallintaminen osana talouspolitiikan vaikutusarviointia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 72/2018.
- Hausfather, Z., Peters, G. P. (2020). Emissions – the ‘business as usual’ story is misleading. *Nature*. 577, 618-620.
- He, Y., D, X., Yang, C. (2021). Do environmental regulations and financial constraints stimulate corporate technological innovation? Evidence from China. *Journal of Asian Economics* 72, 101265.
- Hertel, T.W. (2012). Global Applied General Equilibrium Analysis using the GTAP Framework by Contributed Chapter for the Handbook of Computable General Equilibrium Modeling, Peter B. Dixon and Dale W. Jorgenson (eds) Elsevier Publishers. GTAP Working Paper No. 66
- Hildén, M., Groundstroem, F., Carter, T. R., Halonen, M., Perrels, A., Gregow H. (2016). Ilmastonmuutoksen heijastevaikutukset Suomeen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2016.
- Hildén, M., Tikkakoski, P., Sorvali, J., Mettiäinen, I., Käyhkö, J., Helminen, M., Määttä, H., Berninger, K., Meriläinen, P., Ahonen, S. and Kolstela, J. (2022). Adaptation to climate change in Finland: Current state and future prospects.
- Honkatukia, J. (2021). Kansantalouden skenaariot — Hiilineutraali Suomi 2035 -ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:65.
- Hsiang, S., Kopp, R., Jina, A., Rising, J., Delgado, M., Mohan, S., Rasmussen, D.J., Muir-Wood, R., Wilson, P., Oppenheimer, M., Larsen, K., Houser, T. (2017). Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science*. 356. 1362-1369.
- IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A. (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- Jacobs, L., Quack, L., Mechtel, M. (2021). Distributional Effects of Carbon Pricing by Transport Fuel Taxation, No 405, Working Paper Series in Economics, University of Lüneburg, Institute of Economics.
- Jensen, F., Schäfer, D., Stephan, A. (2019). Financial constraints of firms with environmental innovation. *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung* 88(3), 43-65.
- Jäntti, M., Pirttilä, J., Selin, H. (2015). Estimating labour supply elasticities based on cross-country micro data: A bridge between micro and macro estimates. *Journal of Public Economics*, 127, 87–99.
- Kahn, M.E., Mohaddes, K., Ng, R.N., Pesaran, M.H., Raissi, M. and Yang, J.C. (2021). Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis. *Energy Economics*, 104, p.105624.
- Kalkuhl, M. and Wenz, L. (2020). The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 103, p.102360.
- Kalkuhl, M., Franks, M., Gruner, F., Lessmann, K., Edenhofer, O. (2022). Pigou’s Advice and Sisyphus’ Warning: Carbon Pricing with Non-Permanent Carbon-Dioxide Removal, CESifo Working Paper Series 10169.
- Keller, W.J.(1980). Tax Incidence: A General Equilibrium Approach.,Amsterdam: North Holland”, chp. 8 “Public Consumption”.
- Kirkinen, J., Martikainen, A., Holttinen, H., Savolainen, I., Auvinen, O., Syri, S. (2005). Impacts on the energy sector and adaptation of the electricity network business under a changing climate in Finland. FINADAPT Working Paper 10, Finnish Environment Institute Mimeographs 340, Helsinki, 36 pp.
- Kleimeier, S., Viehs, M. (2021). Pricing carbon risk: Investor preferences or risk mitigation?, *Economics Letters*, Volume 205, 2021,109936,
- Koljonen, T., Honkatukia, J., Maanavilja, L., Ruuskanen, O-P., Similä, L., Soimakallio, S.( 2021). Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI) Synteesiraportti – Johtopäätökset ja suositukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:62
- Konrad, K. A., Thum, M. (2014). The Role of Economic Policy in Climate Change Adaptation, CESifo Economic Studies, Volume 60, Issue 1, March 2014, Pages 32–61,
- Koski, H., Ollikka, K., Ylhäinen, I. (2019). Environmental policy, green innovation and market developments. Publication series of the Government’s analysis, assessment and research activities, 2019:3.
- Kotamäki, M. (2016). Participation tax rates in Finland, Earned-Income Tax Credit Investigated. Aboa centre for economic discussion paper no.107
- Kotlikoff, L. J., Kubler, F. Polbin, A., Scheidegger, S. (2021). Can Today’s and Tomorrow’s World Uniformly Gain from Carbon Taxation?, NBER Working Papers 29224, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Kotlikoff, L. J., Polbin, A., Zubarev, A. (2016). “Will the Paris Accord Accelerate Climate Change?,” NBER Working Papers 22731, National Bureau of Economic Research, Inc.



- Krogstrup, S., Oman, W. (2019). Macroeconomic and Financial Policies for Climate Change Mitigation: A Review of the Literature. IMF Working Papers WP/19/185
- Kuosmanen, N., Maczulskij, T. (2022). "Mikä selittää Suomen teollisuuden kasvihuonekaasupäästöjen vähene-  
misen?". ETLA Muistio No 117. <https://pub.etla.fi/ETLA-Muistio-Brief-117.pdf>
- Kuusi, T., Björklund, M., Kaitila, V., Kokko, K., Lehmus, M., Mehling, M., Oikarinen, T., Pohjola, J., Soimakallio, S.,  
Wang, M. (2020). Carbon Border Adjustment Mechanisms and Their Economic Impact on Finland and the  
EU. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2020:48.
- Kuusi, T., Pohjola, J., Kaskinen, T., Kaitila, V., Karhinen, S., Kauhanen, A., Lintunen, J., Reinikainen, T., Savolainen,  
H., Sillanauke, O., Suikkanen, H. (2021). Vihreät toimet – ilmastopoliitiikan vaikutuksia työllisyyteen. Valtio-  
neuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:22.
- Lagomarsino, E. (2020). Estimating elasticities of substitution with nested CES production functions: Where  
do we stand?. *Energy Economics*, 88, 104752.
- Lee, J.-Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J.P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J. C., Jones, C., May-  
cock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S., Zhou, T. (2021). Future Global Climate: Scenario-Based Proje-  
ctions and Near-Term Information. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of  
Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Mas-  
son-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis,  
M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R.,  
Zhou, B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553–  
672, doi:10.1017/9781009157896.006.*
- Levinson, A. (2010). Offshoring pollution: is the U.S. increasingly importing polluting goods? *Review of Envi-  
ronmental Economics and Policy* 4(1), 63–83.
- Lintunen, J., Kuusela, O.P. (2018). Business cycles and emission trading with banking. *European Economic  
Review*, 101, 397-417.
- Lintunen, J., Vilmi, L. (2021). Optimal Emission Prices Over the Business Cycles. *Environmental and Resource  
Economics*, 80(1), 135-167.
- Liski, M., Vehviläinen, I. (2016). The impact of renewable energy on the Nordic electricity market.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2022). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta ilmastomuutokseen sopeutu-  
missuunnitelmasta vuoteen 2030. VNS 15/2022 vp.
- Metcalfe, Gilbert E., and James H. Stock. 2020. "Measuring the Macroeconomic Impact of Carbon Taxes." *AEA  
Papers and Proceedings*, 110: 101-06.
- Michaux, S. (2021). Assessment of the Extra Capacity Required of Alternative Energy Electrical Power Systems  
to Completely Replace Fossil Fuels. GTK Open report (in review).
- Mongelli, F. P., Pointner, W., van den End, J. W. (2022). The Effects of Climate Change on the Natural Rate of  
Interest: A Critical Survey (October 1, 2022). ECB Working Paper No. 2022/2744.
- Naumann, G., Cammalleri, C., Mentaschi, L. ym. (2021). Increased economic drought impacts in Europe with  
anthropogenic warming. *Nat. Clim. Chang.* 11, 485–491.
- Newell, R.G., Prest, B.C., Sexton, S.E. (2021). The GDP-temperature relationship: implications for climate change  
damages. *Journal of Environmental Economics and Management*, 108, p.102445.
- Nikas, A., Doukas, H., Papandreou, A. (2019). A Detailed Overview and Consistent Classification of Clima-  
te-Economy, teoksessa Doukas, H., Flamos, A., Lieu, J. (toim.) *Understanding Risks and Uncertainties in  
Energy and Climate Policy Multidisciplinary Methods and Tools for a Low Carbon Society*. Springer.
- Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., Villamizar, A. (2014).  
Adaptation needs and options. *Julkaisussa Field, C.B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea,  
M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacC-  
racken, S., Mastrandrea, P. R., White, L. L. (toim.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerabi-  
lity. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report  
of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United King-  
dom and New York, NY, USA, pp. 833-868.*
- Nordhaus, W. (2019). Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics. *American Economic Review*,  
109 (6): 1991-2014.
- Nordhaus, W. D. (2002). *Modeling Induced Innovation in Climate Change Policy*. Teoksessa Grubler, A. (toim.)  
*Technological Change and the Environment*. Routledge New York.
- Nordhaus, W. D., Moffat, A. (2017). "A Survey of Global Impacts of Climate Change: Replication, Survey Met-  
hods, and a Statistical Analysis," NBER Working Papers 23646, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Nordhaus, W. D., Satorc, P. (2013). *DICE 2013R: Introduction and User's Manual*.
- O'Neill, B.C., Carter, T.R., Ebi, K. ym. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario fra-  
mework. *Nat. Clim. Chang.* 10, 1074–1084.
- OBR. (2019). *Fiscal Risks Report*. Office for Budget Responsibility.
- OECD (2021). *Introductory note on integrating climate into macroeconomic modelling: Drawing on the  
Danish experience*. GOV/PGC/SBO(2021)9.
- OECD. (2015). *The Economic Consequences of Climate Change*, OECD Publishing, Paris.



- Osberghaus, D., Reif, C. (2010). Total Costs and Budgetary Effects of Adaptation to Climate Change: An Assessment for the European Union, CESifo Working Paper Series 3143, CESifo.
- Palanne, K., Sahari, A. (2021). Henkilöautoliikenteen CO<sub>2</sub>-päästöt ja päästöjen vero-ohjaus. VATT Muistiot 63.
- Perrels, A. ym. (2022). Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUIITTI). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:37.
- Perrels, A., Haakana, J., Hakala, O., Kujala, S., Lång-Ritter, I., Lehtonen, H., Lintunen, J., Pohjola, J., Sane, M., Fronzek, S., Luhtala, S. (2022). Kustannusarviointi ilmastonmuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUIITTI).
- Perrels, A., Rajala, R. and Honkatukia, J. (2005). Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland. FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs 342, Helsinki, 30 pp.
- Peters, J.C. (2016). The GTAP-Power Data Base: Disaggregating the Electricity Sector in the GTAP Data Base. *Journal of Global Economic Analysis*, 1(1) 209-250.
- Peters, J.C. (2016b). GTAP-E-POWER: An Electricity-detailed Economy-wide Model. *Journal of Global Economic Analysis*, Vol.1, No.2, 156-187.
- Peters, J.C., Hertel, T. (2017). Achieving the Clean Power Plan 2030 CO<sub>2</sub> Target with the New Normal in Natural Gas Prices. *The Energy Journal*, 2017, Vol.38 No.5, 39-66.
- Pindyck, R. (2019). The social cost of carbon revisited, *Journal of Environmental Economics and Management*, 94, 140-160.
- Pindyck, R. S. (2017). The Use and Misuse of Models for Climate Policy. *Review of Environmental Economics and Policy*. 11. 100-114.
- Prokkola, E.-K., Niemi, S., Lépy, É, Palander, J., Kulusjärvi, O., Lujala, P. (2021). Climate migration: Towards a better understanding and management: Finland and a Global Perspective. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:42.
- Romanello, M. ym. (2021). The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future, *The Lancet*, 398(10311) 1619-1662.
- Roson, R., Sartori, M. (2016). Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP9 Database. Policy Research Working Paper;No. 7728. World Bank, Washington, DC.
- Sato, K. (1967). A two-level constant-elasticity-of-substitution production function. *The Review of Economic Studies*, 34(2), 201-218.
- Schneider-Mayerson, M., Leong, K. L. (2020). Eco-reproductive concerns in the age of climate change. *Climatic Change*, 163(2), 1007–1023.
- Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M. and Veijalainen, N. (2006). Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute. Mimeographs 336, Helsinki, 52 pp.
- Sinn, H.-W. (2008). "Public policies against global warming: a supply side approach," *International Tax and Public Finance*, Springer; International Institute of Public Finance, vol. 15(4), pages 360-394,
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stern, N. (2013). The Structure of Economic Modeling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already Narrow Science Models. *Journal of Economic Literature*, 51 (3): 838-59.
- Stern, N. (2021). A time for action on climate change and a time for change in economics. Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper 397/Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper 370. London: London School of Economics and Political Science
- Sterner, T., Coria, J., (2013). *Policy instruments for environmental and natural resource management*. Routledge.
- Stroebel, J., Wurgler, J. (2021). What do you think about climate finance? *Journal of Financial Economics*, 142(2) 487-498.
- Suomen virallinen tilasto: Elinkeinorakenne ja työssäkäynti. (2020). [tietokanta]. [viitattu 15.12.2022]. Saantitapa [https://www.tilastokeskus.fi/tup/vaesto\\_tyossakaynti/index.html](https://www.tilastokeskus.fi/tup/vaesto_tyossakaynti/index.html).
- Suomen virallinen tilasto: Elinkeinorakenne ja työssäkäynti. (2020). [tietokanta]. [viitattu 15.12.2022]. Saantitapa [https://www.tilastokeskus.fi/tup/vaesto\\_tyossakaynti/index.html](https://www.tilastokeskus.fi/tup/vaesto_tyossakaynti/index.html).
- Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change: no action not an option.
- Tagliapietra, S., Veugelers, R. (2020). A green industrial policy for Europe. Bruegel, blueprint series 31
- Tamminen, S., Leinonen, T., Haanperä, O., Honkatukia, J. (2019). How to implement a larger environmental tax reform in Finland. Potential instruments and impacts. SITRA Technical report.
- Tamminen, S., Leinonen, T., Haanperä, O., Puroila, S., Puroila, T. (2022). How to Scope the Fiscal Impacts of Long-Term Climate Strategies? A Review of Current Methods and Processes. Coalition of Finance Ministers for Climate Action, Washington, DC.

- Tuomenvirta H., Haavisto R., Hildén M., Lanki T., Luhtala S., Meriläinen P., Mäkinen K., Parjanne A., Peltonen-Sainio P., Piili-Sihvola K., Pöyry J., Sorvali J., Veijalainen N. (2018). Sää- ja ilmatoriskeit Suomessa - Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018
- Valkonen, T. (1999). The Finnish Corporate and Capital Income Tax Reform: a General Equilibrium Approach. ETLA, A 29 Helsinki. Taloustieto.
- Valkonen, T., Kauppi, E., Suni, P. (2014). Simulointeja yhteisöveron alennuksen dynaamisista vaikutuksista Suomessa, ETLA Reports 41.
- Valkonen, T., Lassila, J. (2021). Väestön ikääntymisen taloudelliset vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:36.
- van der Mensbrugge, D. (2018). The Standard GTAP Model in GAMS, Version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, Volume 3, No.1, pp.1-83.
- Varga, J., Roeger, W., in 't Veld, J. (2021). E-QUEST – A Multi-Region Sectoral Dynamic General Equilibrium Model with Energy Model Description and Applications to Reach the EU Climate Targets, No 146, *European Economy - Discussion Papers 2015 -*, Directorate General Economic and Financial Affairs (DG ECFIN), European Commission.
- Veijalainen N., Ahopelto L., Marttunen M., Jääskeläinen J., Britschgi R., Orvoma M., Belinskij A., Keskinen M. (2019). Severe Drought in Finland: Modeling Effects on Water Resources and Assessing Climate Change Impacts. *Sustainability*. 11(8):2450.
- Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M. ym. (2020). Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Glob Change Biol*. 26: 4178–4196.
- 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.
- VM. (2020). Katsaus valtion taloudellisiin vastuisiin ja riskeihin, syksy 2020. Valtiovarainministeriön julkaisuja – 2020:78.
- Vona, F., Marin, G., Consoli, D. and Popp, D. (2018). Environmental regulation and green skills: an empirical exploration. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), pp.713-753.
- VTV (2020). Ilmastotavoitteet ja valtiontalouden kestävyys. Valtiontalouden tarkastusviraston selvitykset 3/2020.
- Weiss, J.F., Stephan, A., ja Anisimova, T. (2019). Well-designed environmental regulation and firm performance: Swedish evidence on the Porter hypothesis and the effect of regulatory time strategies. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62, 342–363.
- YM. (2019). Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:7.
- Zhao Q, ym. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. *Lancet Planet Health*. 5(7): e415-e425.

tietokayttoon.fi

---

ISBN PDF 978-952-383-165-0  
ISSN PDF 2342-6799