

Topi Hokkanen

# Ilmastopolitiikan vaikutukset Suomen kansantalouteen ja kilpailukykyyn – mitä arvioista voidaan oppia?

Elokuu 2015

Valtioneuvoston selvitys-  
ja tutkimustoiminnan julkaisu-  
sarja 11/2015

ISSN PDF 2342-6799

ISBN PDF 978-952-287-190-9

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2014 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa ([www.vn.fi/TEAS](http://www.vn.fi/TEAS)).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö edusta valtioneuvoston näkemystä.

# Sisällys

1	Johdanto.....	5
2	EU:n energia- ja ilmastopolitiikka ja päästökauppajärjestelmä.....	6
2.1	Aiemmat ilmastotavoitteet ja uudet tavoitteet.....	6
2.2	Ilmastopolitiikka ja energiasektori.....	7
2.3	Päästökauppajärjestelmä.....	10
3	Ilmastopolitiikan vaikutusarvioissa käytetyt mallit.....	14
3.1	Laskennalliset yleisen ja osittaisen tasapainon mallit.....	14
3.2	IAM –tyyppiset mallit.....	19
3.3	Ekonometriset mallit.....	20
4	Vaikutusten määrittely.....	21
4.1	Kilpailukyvn ja sen komponenttien määrittely.....	21
4.2	Kilpailukyvn mittarit ja indikaattorit.....	22
5	Tutkimustulokset.....	23
5.1	Laskennallisten mallien tulokset (ex ante-arviot).....	23
5.2	Ekonometrisen arvioinnin tulokset (ex post-arviot).....	32
5.3	Tulosten tulkinta Suomen yritysten näkökulmasta.....	39
6	Miksi tulokset poikkeavat?.....	41
7	Johtopäätökset ja ehdotuksia jatkotutkimuksesta.....	42



# Esipuhe

Tämä kirjallisuuskatsaus on toteutettu osana valtioneuvoston kanslian päätöksentekoa tukevaa selvitys- ja tutkimustoimintaa. Kirjallisuuskatsaus on tehty Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa (VATT), ja sen on kirjoittanut Topi Hokkanen. Kirjoitus- ja tutkimusprosessin apuna ovat toimineet Pekka Tervo ja Heli Saijets työ- ja elinkeinoministeriöstä. Hankkeen eri vaiheissa tuloksia ovat kommentoineet Magnus Cederlöf (YM), Outi Honkatukia (VM), Juhani Tirkkonen (TEM), Karoliina Anttonen (TEM), Bettina Lemström (TEM) ja Markku Kinnunen (TEM). Keskusteluista ja asiantuntevista kommenteista on ollut suurta hyötyä tämän selvityksen kirjoittamisessa, ja haluan kiittää kaikkia hankkeen valmisteluun osallistuneita.

Haluan myös erityisesti kiittää hankkeen vastuullista johtajaa Anni Huhtalaa ja Kimmo Ollikkaa saamistani hyödyllisistä kommenteista.

# 1 Johdanto

Ilmastopolitiikan ja päästökaupan kansantaloudellisista vaikutuksista on tehty lukuisia vaikutusarvioita, sekä Suomen kansantaloudelle että muille maille ja maanosille. Vaikutusarvioissa on useimmiten käytetty laskennallisia malleja, jotka arvioivat tietyn politiikkamuutoksen vaikutuksia. Arvioita on teetetty sitä mukaa, kun EU:n ilmastopolitiikka ja -tavoitteet ovat muuttuneet ja uutta, ajankohtaista tietoa on saatu.

Käytännössä samantyyppistenkin mallien ennusteissa on eroavuuksia, ja ilmastopolitiikan vaikutuksista on saatu osittain jopa ristiriitaista tietoa.

Tässä raportissa käydään järjestelmällisesti läpi Suomessa ja kansainvälisesti tehtyjä ilmastopolitiikan vaikutusarvioita ja selvitetään, mistä arvioissa havaitut eroavuudet johtuvat. Joissakin selvityksissä (esim. Kerkelä ym. 2014) on esitetty huoli ilmastopolitiikan ja päästökaupan kustannusvaikutuksista Suomen kansantaloudelle ja arveltu Suomen kilpailukyvyn heikentyvän. Tästä syystä raportissa kiinnitetään erityistä huomiota ilmastopolitiikan ja päästökaupan kilpailukykyvaikutuksiin.

Kirjallisuuskatsaus kattaa laskennallisten mallien vaikutusarvot, joissa on tarkasteltu vaihtoehtoisia tulevia päästöoikeuden hintakehityksiä. Toisaalta arvioidaan myös tuoreita ekonometrisiä tutkimuksia, joissa lähtökohtana on toteutunut ilmastopolitiikka ja päästöoikeuden realisoitunut hintakehitys.

Katsauksen pohjalta pyritään selvittämään, miksi laskennallisilla malleilla tehtyjen arvioiden tulokset eroavat toisistaan, ja voidaanko tälle tunnistaa systemaattisia syitä. Ekonometrisen tutkimuskirjallisuuden perusteella arvioidaan sitä, missä määrin tutkimusten tulokset eroavat toisistaan, miten luotettavana ekonometristä mallinnusta voidaan pitää sekä mallinnukseen liittyviä mahdollisia ongelmia. Näiden kahden, menetelmiltään eroavien tutkimussuuntausten tuloksia tarkastellaan kriittisesti ja päätellään, missä määrin ekonometriset tutkimukset tukevat laskennallisten mallien tuloksia, sekä voidaanko ekonometrisen mallinnuksen perusteella löytää parannuskohteita kotimaiseen tutkimukseen.

Suuri osa kotimaisista kansantaloudellisista arvioista pohjautuu VATTAGE/TIMES -malliperheeseen, jolloin mallien sisäinen rakenne on eri arvioissa sama. Tutkimustulosten erot johtuvatkin lähinnä oletuksista, joita on tehty esimerkiksi ilmastopolitiikan kireydestä tai siitä, miten ilmastopolitiikka tulee vaikuttamaan muun muassa investointeihin ja teknologiavientiin. Sen sijaan ekonometristen vaikutusarvioiden tulokset ovat laskennallisista malleista poiketen pääsääntöisesti kaikki samansuuntaisia ja keskenään sopusoinnussa. Ilmastopolitiikan ja päästökaupan ekonometrisen arviointi on kuitenkin haasteellista, koska havaintoaineistoon liittyy selvä valikoitumisongelma, ja itse politiikalla saattaa olla myös epäsuoria vaikutuksia, joita malleissa ei pystytä ottamaan huomioon.

Ilmastopolitiikan ja ilmastotavoitteiden myötä on myös oletettavissa, että puhtaan teknologian (nk. cleantech) merkitys maailmanmarkkinoilla kasvaa, mikä voi luoda uusia kasvumahdollisuuksia. Ekonometristä tutkimuskirjallisuutta tulkitaan myös tästä näkökulmasta, ja tarkastellaan, mitä tiedetään ilmastopolitiikan vaikutuksista puhtaan teknologian sektoreihin.

Ilmastopolitiikalla ja päästökaupalla ennakoidaan usein olevan haitallisia vaikutuksia vientisektorimme kilpailukykyyn nousevien tuotantokustannusten kautta. Päästöoikeuksilla kauppaa käyvistä toimialoista merkittävin on sähkö-, kaasu- ja lämpöhuolto, johon lukeutuvat energian tuottajat ja jakelijat, ja täten on luultavaa, että päästöoikeuksien tuleva hintakehitys tulee vaikuttamaan eniten juuri tähän sektoriin. Laskennallisissa vaikutusarvioissa oletetulla päästöoikeuksien hintakehityksellä on kuitenkin varsin lievä vaikutus, vaikka hintaoletukset malleissa ovatkin monikertaisia päästöoikeuksien nykyiseen hintatasoon verrattuna. Täten on luontevaa pohtia, missä määrin päästökauppa aiheuttaa kustannuspaineita sekä mainitulle toimialalle, ja toisaalta teollisuuden toimialoille, ja miten tämä vaikuttaa niiden kilpailukykyyn.

Laskennallisten mallien vaikutusarvioiden perusteella ilmastopolitiikan kansantaloudelliset vaikutukset ovat hyvin maltillisia, etenkin ottaen huomioon mallien oletukset päästöoikeuksien hinnoista sekä kansantalouden ennakoidusta kehityksestä. Ekonometrinen tutkimuskirjallisuus vahvistaa tätä näkemystä, sillä ilmastopolitiikan ja päästökaupan havaitut vaikutukset yritysten kilpailukykyyn ovat erittäin lieviä. Laskennallisten mallien tuloksiin vaikuttavatkin huomattavasti päästökauppaa enemmän oletukset muun muassa tulevaisuuden ydinvoimakapasiteetista ja energiateknologian viennistä, joista etenkin puhtaan tuotantoteknologian viennin kehitys on tärkeä.

## 2 EU:n energia- ja ilmastopolitiikka ja päästökauppajärjestelmä

### 2.1 Aiemmat ilmastotavoitteet ja uudet tavoitteet

Ilmastopolitiikan vaikutusarvioissa olennaiset EU:n ilmastotavoitteet ajoittuvat päästökauppajärjestelmän toiminta-aikaan, eli vuodesta 2005 eteenpäin. EU:n aiemmat tavoitteet ovat perua Kioton ilmastopöytäkirjasta, joka allekirjoitettiin jo vuonna 1997. Sopimus astui voimaan vuonna 2005, Venäjän ratifioitua sen marraskuussa 2004. Suomen tavoitteeksi EU:n sisäisessä taakanjaossa asetettiin kasvihuonepäästöjen vähentäminen vuoden 1990 tasolle. Päästökauppajärjestelmän avulla pyritään saavuttamaan Kioton sopimuksen päästövähennystavoitteet mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Pöytäkirjan ensimmäiset sitovat tavoitteet olivat vuosille 2008–2012 eli EU:n päästökaupan toiselle kaudelle. Pöytäkirjan toiselle velvoitekaudelle (2013–2020) maat ovat itse voineet vapaaehtoisesti ilmoittaa päästövähennystavoitteitaan. EU:n yhteisiä ilmastotavoitteita vuodelle 2020 kutsutaan 20-20-20 -tavoitteiksi.

EU:n ilmastopolitiikan tavoitteet vuodelle 2020 sisältävät kolme keskeistä elementtiä:

- Kasvihuonepäästöjen 20 %:n vähennys vuoden 1990 tasosta, sitova tavoite (jaettu päästökaupasektorille ja maakohtaisesti)
- Uusiutuvan energian osuus kaikesta energiankäytöstä 20 % (jaettu maakohtaisiksi tavoitteiksi)
- Energiatehokkuuden parantaminen vähentämällä 20 % energian loppukulutusta

EU:n ilmastostrategia on päivitetty vuodelle 2030, ja Eurooppaneuvosto on asettanut jäsenmaille tavoitteet päästövähennyksistä, uusiutuvan energian osuudesta energiankäytössä sekä energiaterahokkuudesta vuoteen 2030 mennessä. Vuoden 2030 ilmastostrategian päätavoitteet ovat seuraavat (EC, 2014a):

- Kasvihuonepäästöjen 40 %:n vähennys vuoden 1990 tasosta (sitova tavoite):
  - o Päästökaupasektorin tavoite 43 %:n päästövähennys vuoden 2005 tasosta
  - o Päästökaupan ulkopuolisen sektorin tavoite 30 %:n päästövähennys vuoden 2005 tasosta
- Uusiutuvan energian osuus kaikesta energiankäytöstä 27 % tai enemmän
- Energiaterahokkuuden parantaminen 27 % tai enemmän

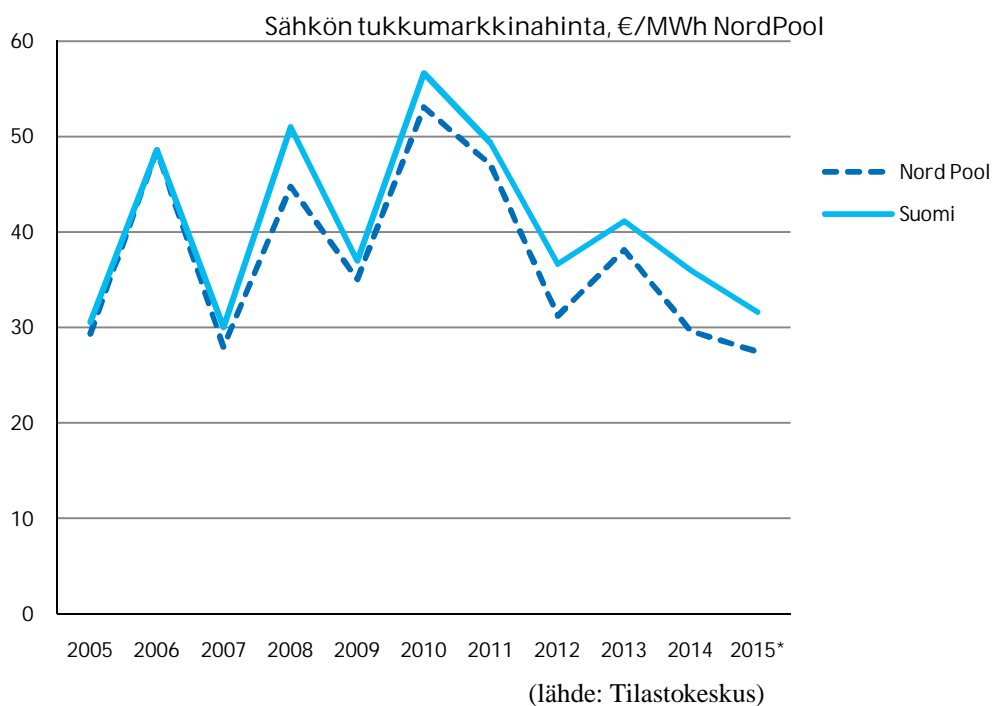
## 2.2 Ilmastopolitiikka ja energiasektori

Ilmastopolitiikan vaikutus energiasektoriin sekä sähkön hintaan on tärkeä, sillä energiasektori ja erityisesti energiantuotanto kattavat noin 77 % Suomen kasvihuonepäästöistä. Energiasektorin päästöillä tarkoitetaan kaikkea polttoaineiden energiakäytöstä sekä polttoaineiden tuotannosta, jakelusta ja kulutuksesta johtuvia hiilidioksidipäästöjä<sup>1</sup> (Tilastokeskus, 2015). Suomen kansantalouden rakenne on varsin energiantensiivinen, ja sähkön hinnan tai reaalisten energiakustannusten nousun uskotaan vaikuttavan Suomen kilpailukykyyn (ks. Holm ja Lahtinen, 2014). Kuviossa 1 on kuvattu sähkön tukkumarkkinahinta (spot-hinta) Suomessa sekä pohjoismaisilla Nord Pool-markkinoilla, ja kuvioissa 2 ja 3 kuvataan Suomen suorat kokonaishiilidioksidipäästöt ja sähkön tuotannon ominaispäästöt.

---

<sup>1</sup> Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) mukainen kasvihuonekaasupäästöjen raportointiluokitus.

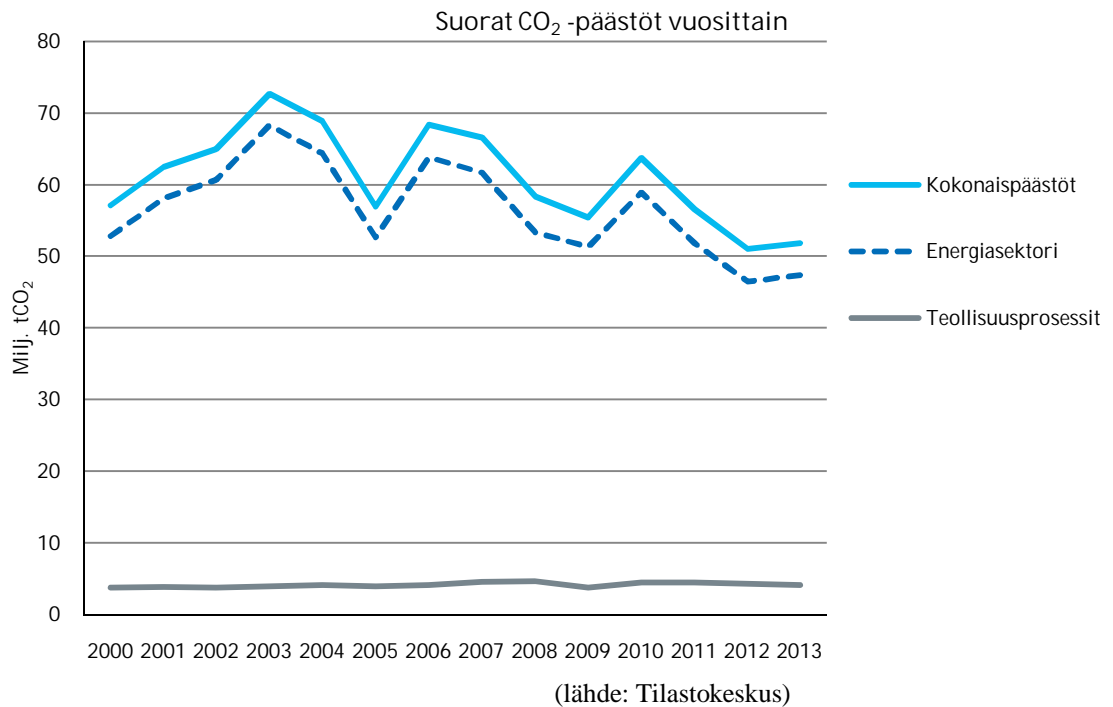
Kuvio 1: Sähkön tukkumarkkinahinta, Suomi ja Nord Pool vuosina 2005–2015



Kuviossa 1 on sähkön tukkumarkkinahinta Suomessa ja Nord Pool sähköpörssissä. Markkinahinta kuvaa sähköpörssin tasapainohintaa eikä ota huomioon maiden välisiä fyysisiä sähkön siirtorajoitteita. Mikäli Nord Poolin markkinahinta eroaa Suomen aluehinnasta, sähkön siirtokapasiteetti (Ruotsi-Suomi) rajoittaa sähkön siirtoa pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla.

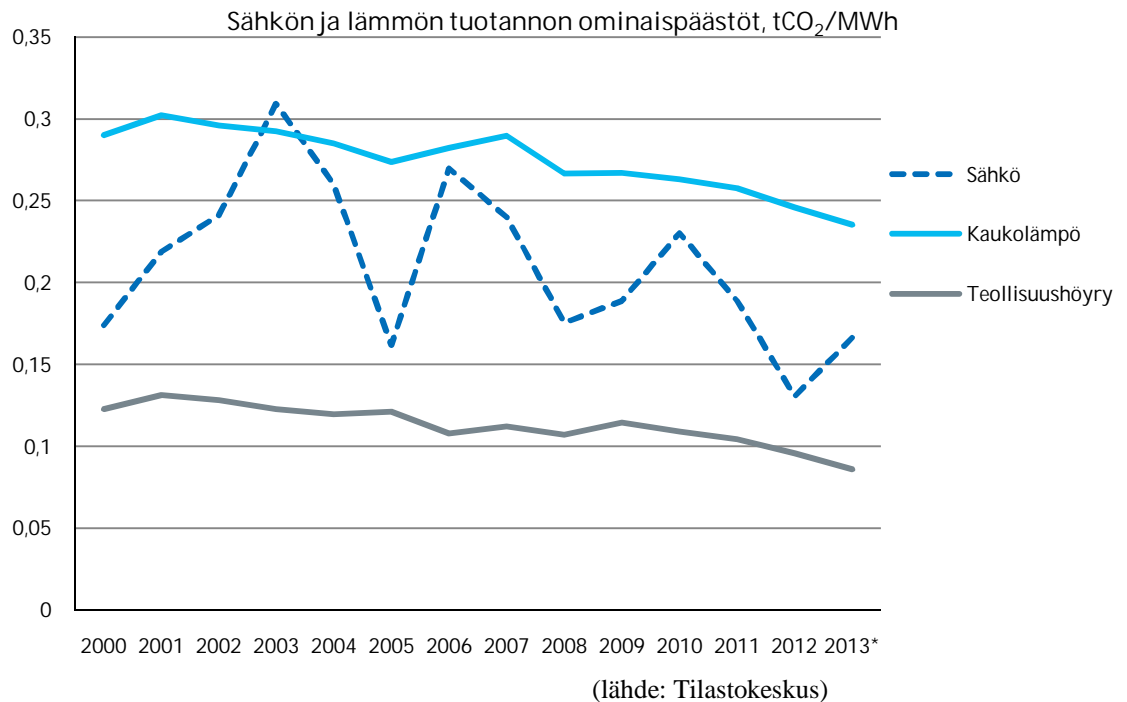


Kuvio 2: Suomen suorat CO<sub>2</sub> -päästöt sektoreittain vuosina 2000-2013



Kuviossa 2 havainnollistetaan Suomen suoria hiilidioksidipäästöjä sektoreittain. Ilmastopäästöissä vaihtelu on vuosittain ollut varsin suurta, energiasektorin muodostaessa suurimman osan kokonaispäästöistä. Teollisuusprosesseihin luetaan teollisuuden raaka-aineiden ja tuotteiden käytöstä sekä teollisuusprosesseista vapautuvat hiilidioksidipäästöt. Teollisuusprosessien osuus kokonaispäästöistä on pysynyt kohtuullisen vakaana. Vuoden 2005 suorien päästöjen väheneminen selittyy metsäteollisuuden työsululla. Vuodesta 2007 eteenpäin laskua taas selittänee parhaiten talouden alavireisyys.

Kuvio 3: Ominaispäästöt energian tuotannossa vuosina 2000–2013



Kuvion 3 perusteella energian tuotannon ominaispäästöissä näkyy kaukolämmön ja teollisuushöyryn<sup>2</sup> tuotannon laskeva trendi, kun taas sähkön tuotannon ominaispäästöt ovat vaihdelleet huomattavasti enemmän. Sähköntuotannossa tällä hetkellä ominaispäästöt ovat suunnilleen vuoden 2005 tasolla. Kaukolämmön tuotannon ominaispäästöt ovat kuvion perusteella lähes kaikkina vuosina korkeimmat kolmesta tuotantomuodosta, kun teollisuushöyryn ominaispäästöt ovat verrattain alhaiset.

### 2.3 Päästökauppajärjestelmä

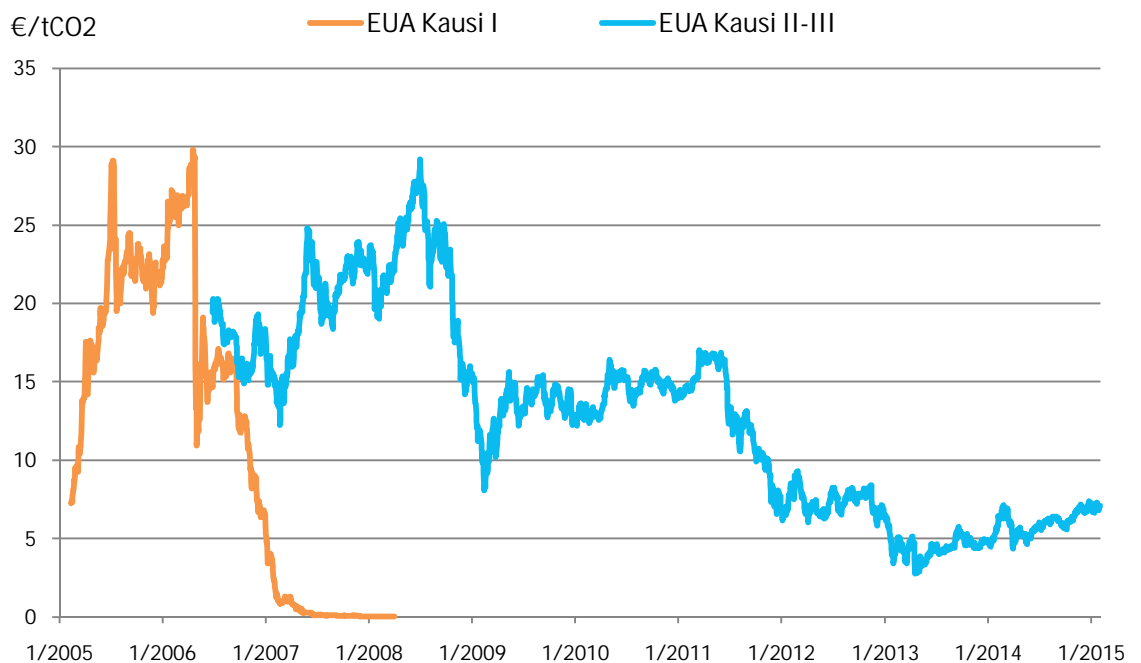
EU:n ilmastopolitiikan pääasiallinen ohjauskeino on EU:n päästökauppajärjestelmä. Tavoitteena on, että päästöjä vähentävät ne, joilla on pienimmät päästövähennyskustannukset. Päästökauppajärjestelmän kehittäminen aloitettiin Kioton ilmasopimuksen solmimisen jälkeen vuonna 1997, ja järjestelmän suuntaviivat olivat selvillä vuonna 2003 (Euroopan komissio, 2003/87/EC). Järjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2005. Päästökaupalle asetettiin kauppakaudet, joista ensimmäinen (2005–2007) toimi pilottivaiheena, jolloin järjestelmän ja päästöoikeuksien markkinoiden toimivuutta testattiin. Toinen päästökauppauskausi käsitti vuodet 2008–2012, ja tällä ajanjaksolla EU:n jäsenmaat olivat sitoutuneet Kioton pöytäkirjan mukaisiin päästötavoitteisiin. Kolmas kauppakausi kattaa vuodet 2013–2020 uusine sitovine päästötavoitteineen. Päästökauppajärjestelmässä vaihdannan kohteena on päästöoikeus (EUA, Emission Allowance Unit), joka on yhteismitallistettu oikeus yhden hiilidioksiditonin ilmastopäästöihin. Järjestelmään kuuluvat yksiköt voivat käydä kauppaa näillä oikeuksilla ja niiden johdannaisilla hinnan muodostuessa markkinoilla.

<sup>2</sup> Tähän kategoriaan luetaan voimalaitoksessa tai lämpökattilassa tuotettu teollisuushöyry tai -lämpö, jota käytetään teollisessa valmistuksessa (kuten kuivauksessa tai lämmittämisessä) sekä myös omien teollisuusrakennusten lämmitykseen tuotettu lämpö, jota ei siirretä kaukolämpöverkon kautta ([http://www.stat.fi/meta/kas/teoll\\_hoyry.html](http://www.stat.fi/meta/kas/teoll_hoyry.html)).

Järjestelmän kattavuus on laajentunut kausien välillä ja kauppa kattaa muun muassa kolmannella kaudellaan lentoliikenteen. Päästökauppaan on myös tehty muutoksia, koskien muun muassa päästöoikeuksien siirtoa kausien välillä sekä päästöoikeuksien ilmaisjakoa. Päästökaupan pilottikauden aikana toimijat eivät voineet siirtää hallussaan olevia päästöoikeuksia seuraavalle kaudelle. Tämä oli yksi syy sille, miksi ensimmäisen kauden aikana päästöoikeuksien hinta romahti (ks. kuvio 4). Päästöoikeuksien ilmaisjaossa jäsenmaille ja niiden kaupan piirissä oleville tuotantoyksiköille annettiin tietty määrä päästöoikeuksia ilmaiseksi kauppakauden alussa ja tämän jälkeen toimijat saivat käydä päästöoikeuksilla kauppaa vapaasti. Päästöoikeuksien ilmaisjako johtui jäsenmaiden kriittistä järjestelmää kohtaan, koska päästökaupan pelättiin aiheuttavan huomattavia haitallisia vaikutuksia säädellyn teollisuuden kilpailukykyyn ja johtavan tiettyjen toimintojen tai liiketoiminnan siirtämiseen maihin, joissa päästöjä ei pyritä rajoittamaan sääntelyn avulla (nk. hiilivuoto<sup>3</sup>). Päästöoikeuksien ilmaisjako sisältyi ensimmäiseen ja toiseen kauppakautteen, mutta kolmannella kaudella siirrytään vaiheittain päästöoikeuksien huutokauppaan, jolloin ilmaisjako vähenee. Silti EU:lla on edelleen tietty niin kutsuttu hiilivuotolista, jossa määritellyjä toimialoja pidetään erityisen alttiina hiilivuodolle ja jotka tulevat edelleenkin saamaan ainakin osan päästöoikeuksista ilmaiseksi.

Päästökaupan ensimmäisen kauden aikana EU:n jäsenmailla ei ollut kansainvälisesti velvoittavia päästötavoitteita, mikä osaltaan johti varsin anteliaaseen päästöoikeuksien alkujakoon päästökaupan alaisille yrityksille (Aatola, 2013). Toisella ja kolmannella kaudella EU:lla on sitovat päästövähennystavoitteet, jotka on edelleen jaettu päästökauppasektorin ja jäsenmaiden (ei-päästökauppasektorit) kesken.

Kuvio 4: Päästöoikeuksien hintakehitys 2005–2015<sup>4</sup>



<sup>3</sup> Hiilivuodosta ks. mm. Martin ym. (2014b), Dechezleprêtre ym. (2014) ja Martin ym. (2014c).

<sup>4</sup> Lähde Nord Pool -2006, 2006- ICE Futures Europe.

Kuvion 4 perusteella päästöoikeuden hinta on vaihdellut suuresti kausien aikana. Päästöoikeuden hinta romahti ensimmäisen kauppakauden lopulla, mikä johtui runsaasta oikeuksien määrästä markkinoilla<sup>5</sup> ja myös siitä, ettei oikeuksia ollut mahdollista siirtää ensimmäiseltä kaudelta toiselle. Toisella kauppakaudella hintakehitys on ollut jossain määrin tasaisempaa, joskin finanssikriisin päästöjä supistava vaikutus on selvästi huomattavissa vuodesta 2008 alkaen. Päästöoikeuden hinta on vakiintunut noin 7-8 euroon. Päästöoikeuksien markkinoilla liikkeelle laskettujen oikeuksien kokonaisuus ylittää tällä hetkellä todennettujen päästöjen määrän, joten matala hinta luultavasti signaloi ennen kaikkea epävarmuutta tulevaisuudesta ja järjestelmän kehityksestä. Kuvio osoittaa, ettei päästöoikeuksien hinta ole missään vaiheessa finanssikriisin tuoman shokin jälkeen noussut merkittävän korkeaksi ja trendi on ollut pääsääntöisesti laskeva. Finanssikriisistä johtuen tuotanto on supistunut ja täten myös tuotannon aiheuttamat ilmastopäästöt. Tuotannon supistumista ei osattu ennakoita kauppakauden alussa, jolloin päästöoikeuksien alkujasta päätettiin.

Päästöoikeuksien hinta on huomattavasti matalampi kuin monen maan maakohtaiset päästöille asettamat hiilidioksidiverot (World Bank, 2014). Päästöoikeuksien matala hinta on kiinnostava myös siksi, että EU:n komissio tukee edelleen ilmaisjaolla tiettyjä teollisuuden toimialoja, jotka kuuluvat hiilivuotolistalle. Hiilivuotolistan muodostukseen käytetään oletuksia päästökaupan suorista kustannuksista toimialoille. Laskelmissa käytetään huomattavasti korkeampia päästöoikeuksien hintoja kuin nykyinen hintakehitys edellyttäisi. Kustannuslaskelmissa toimialoille, joilla hiilivuotoa pelätään tapahtuvan, on päästöoikeuden hintaoletus noin 30 euroa, kun nykyinen kehitys viittaisi tätä matalampaan tasoon. Yrityksillä on tällä hetkellä päästökauppatileillään varastossa noin 2 miljardia päästöoikeutta, joita ne voivat käyttää tulevien päästöjensä kattamiseen. Varastojen pienentämiseksi EU:n komissio on päättänyt ottaa käyttöön markkinavakausjärjestelmän<sup>6</sup>.

Sähkön hinnan ollessa noin 30 €/MWh, edustaa päästöoikeuden nykyinen 7 euron hinta noin 0.8 euron lisäkustannusta<sup>7</sup> sähkön tuottajalle tuotettua megawattituntia kohti olettaen, että sähköntuottaja joutuu ostamaan päästöoikeuksia kattamaan tuotannon ilmastopäästöt. Sähkömarkkinoilla, joilla kysyntä on suhteellisen joustamaton, lisäkustannus voidaan siirtää suurelta osin sähkön hintaan<sup>8</sup>.

---

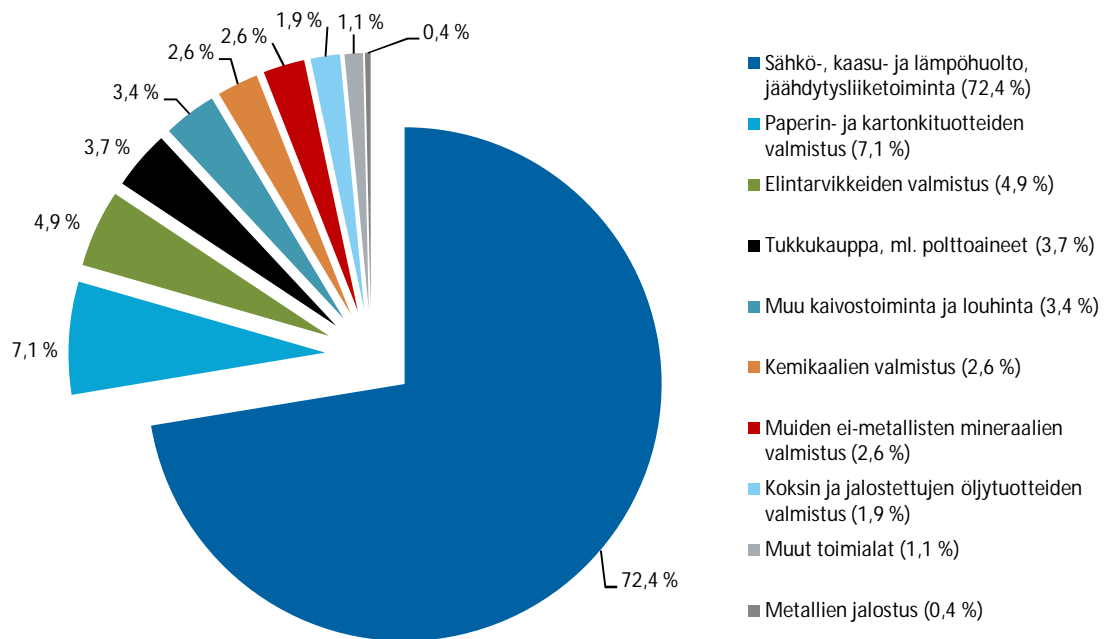
<sup>5</sup> Ensimmäisen kauppakauden aikana päästöoikeuksia jaettiin ilmaiseksi huomattavasti todennettuja kokonaispäästöjä enemmän.

<sup>6</sup> Markkinavakausjärjestelmän vaikutuksia sähkön tukkuhintaan ovat tutkineet Sulamaa ja Forsström (2015).

<sup>7</sup> Sähköntuotannon ominaispäästöt ovat tilastoitu vuoteen 2013 asti. Vuosille 2014 ja 2015 voidaan karkeana arviona käyttää Energiateollisuuden julkaisemia energiatilastoja (<http://energia.fi/tilastot/sahkon-kuukausitilastot-2014-2015>). Sähkön tuotannon ominaispäästöiksi on arvioitu 0.13 tCO<sub>2</sub>/MWh (2014) ja 0.11 tCO<sub>2</sub>/MWh (2015).

<sup>8</sup> ks esim. Fabra ja Reguant (2014), Jouvet ja Solier (2013) ja Honkatukia ym. (2006). Hintermann (2015) arvioi vaikutuksen Saksan sähkömarkkinoilla ja toteaa kustannusten siirtyvän lähes täysimääräisinä sähkön hintaan.

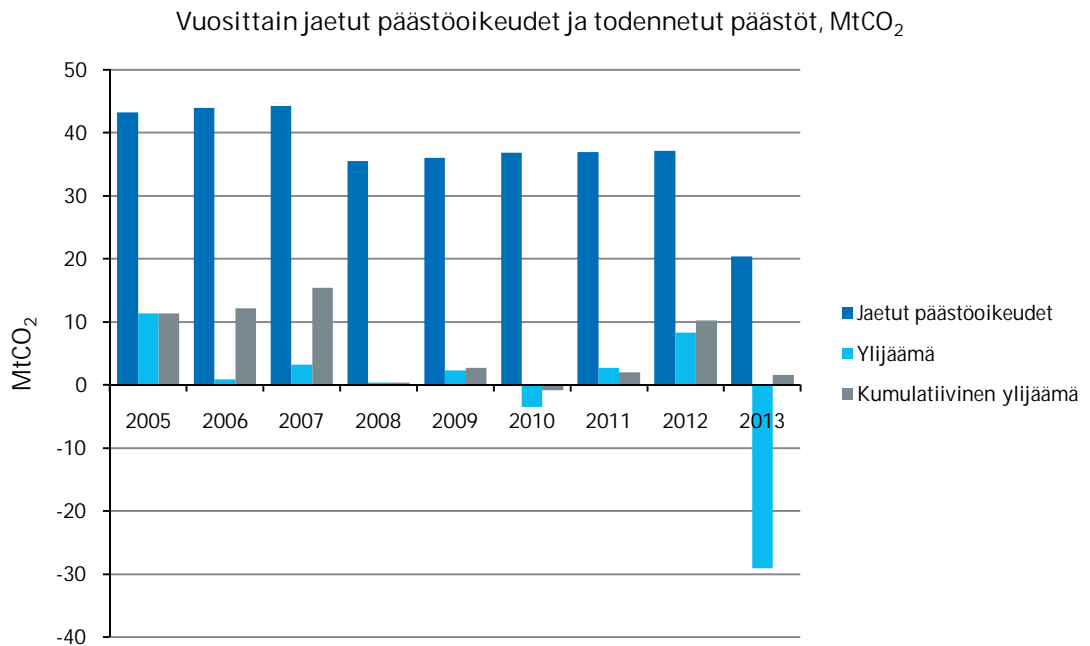
Kuvio 5: Netto-ostajien karkea toimialajakauma (TOL2008 2-numerotaso), 2005–2013



Kuvio 5 kuvaa päästöoikeuksien netto-ostajien<sup>9</sup> päätoimialaa (TOL2008) ensimmäisellä kahdella kauppakaudella. Kuvion perusteella voidaan päätellä, että ylivoimaisesti tärkein toimiala, joka on käynyt kauppaa, on sähkö- kaasu- ja lämpöhuolto (35). Toimialalle kuuluvat muun muassa sähkön tuottajat ja jakelijat. Tärkeistä vientisektoreista paperiteollisuuden osuus on myös kohtuullinen. Huomattavaa on se, että metallien jalostuksen ja kemianteollisuuden osuudet ovat hyvin pieniä.

<sup>9</sup> Netto-ostajat on tunnistettu käyttämällä hyväksi EU CITL -tietokantaa, joka on aggregoitu yritystasolle ja yhdistetty VATT:ssa käytössä olevaan YRTTI -tietokantaan, josta on poimittu yrityksen pääasiallinen toimiala. Netto-ostajaksi on määritelty yritys, jolle on tietynä vuonna jaettu vähemmän päästöoikeuksia kuin se on luovuttanut kattamaan päästönsä, kun mahdollisuus siirtää ylimääräisiä päästöoikeuksia vuosittain otetaan huomioon. Aineistossa ei näy tiettyjen kompensatiomekanismien (Clean Development Mechanism) vaikutusta, joten kuvio antaa vain karkean kuvan kauppaa käyneiden yritysten toimialajakaumasta.

Kuvio 6: Vuosittain jaetut päästöoikeudet ja todennetut päästöt, 2005–2013



Kuvio 6 esittää vuosittain jaettujen päästöoikeuksien määrää, vuosittaista päästöoikeuksien ja todennettujen päästöjen yli- tai alijäämää sekä kumulatiivista yli- tai alijäämää. Ylijäämä kuvaa vuosittain jaettujen päästöoikeuksien ja todennettujen ilmastopäästöjen erotusta. Kumulatiivinen ylijäämä taas kuvaa tilannetta, jossa yritykset säästävät yli jääneet päästöoikeudet seuraavalle vuodelle. Kuvion perusteella päästöoikeuksia on jouduttu ostamaan vain vuonna 2010, jolloin sekä ylijäämä että kumulatiivinen ylijäämä olivat negatiivisia. Kuvio havainnollistaa karkeasti sen, että päästökaupassa kauppaa käyvien yritysten määrä on ollut suhteellisen pieni kummallakin kauppakaudella.

## 3 Ilmastopolitiikan vaikutusarvioissa käytetyt mallit

### 3.1 Laskennalliset yleisen ja osittaisen tasapainon mallit

Ilmastopolitiikan vaikutusten arviointiin on usein käytetty laskennallisia sekä yleisen että osittaisen tasapainon malleja. Näillä viitataan malleihin, jotka pyrkivät kuvaamaan joko koko kansantaloutta tai jotakin sen yksittäistä osaa (kuten energijärjestelmää) käyttäen matemaattista mallinnusta, joka perustuu tiettyihin käyttäytymissääntöihin ja perusoletuksiin. Malleilla voidaan simuloida erilaisten

politiikkamuutosten vaikutuksia ja sitä, missä määrin ne tulevat vaikuttamaan tiettyihin mallin sisäisiin (endogeenisiin) muuttujiin, kuten esimerkiksi bruttokansantuotteeseen tai työllisyyteen. Näiden mallien yleispiirteinä on, että ne perustuvat matemaattiseen optimointiin (kuten kuluttajien hyödyn maksimointi, tuottajien voiton maksimointi), ja mallin tulokset ovat riippuvaisia tietyistä mallin ulkopuolelta tulevista parametreista ja oletuksista. Malleissa tasapaino määrittyy hyödykkeiden hintojen ja markkinamekanismin kautta - tasapainossa mallissa määräytyvät hinnat muodostuvat sellaisiksi, että kysyntä ja tarjonta kohtaavat.

### 3.1.1 Yleisen tasapainon mallit (kansantaloudellinen mallinnus)

Laskennalliset yleisen tasapainon mallit (Computable General Equilibrium, CGE ja Applied General Equilibrium, AGE) ovat matemaattisia kuvauksia kansantalouden toiminnasta. Mallit rakennetaan taloustieteen teoriasta johdettujen matemaattisten käyttäytymissääntöjen varaan. Kansantalouden oletetaan koostuvan erilaisista toimijoista, kuten kuluttajista, yrityksistä ja julkisesta sektorista. Kun toimijat on tunnistettu, rakennetaan jokaiselle toimijalle erikseen talousteoriaan pohjautuen oma optimointiongelmansa, jonka ratkaisuna saadaan mallissa tarvittavat käyttäytymissäännöt ja -yhtälöt. Esimerkkeinä tällaisista säännöistä toimivat esimerkiksi kuluttajan hyödynmaksimointiongelma (jonka ratkaisuna saadaan tietyn hyödykkeen kysyntä) ja yrityksen voitonmaksimointiongelma (jonka ratkaisuna saadaan hyödykkeen tarjonta).

VATTAGE-malli (Honkatukia, 2009) on VATT:ssa kehitetty, Suomen kansantaloutta kuvaava yleisen tasapainon malli, jonka pohjana on toiminut Monashin yliopistossa kehitetty MONASH-malli. Mallia on kehitetty ottamaan huomioon Suomen erityispiirteet. VATTAGE-mallin rakenteessa hyödykkeiden kysynnän kannalta oleellinen asia ovat niin sanotut Armington-oletukset tai Armington-joustoparametrit<sup>10</sup>, jotka kuvaavat kotimaisten ja ulkomaisten hyödykkeiden substituutiota. Hie-man yksinkertaistettuna nämä oletukset vaikuttavat muun muassa siihen, miten hintamuutokset vaikuttavat vientiin ja tuontiin, mikä ilmastopolitiikan tapauksessa on tärkeä oletus. VATTAGE-mallissa nämä joustot on otettu GTAP -tietokannasta<sup>11</sup>. Joustot kuvaavat kotimaisten ja ulkomaisten hyödykkeiden substituutiota ja ristijoustoja hintojen suhteen - täten nämä oletukset määrittelevät sitä, miten nettovienti reagoi kotimaisen hintatason muutoksiin. Jos ilmastopolitiikka vaikuttaa mallinnuksessa kotimaan hintatasoon nostamalla (toimialakohtaisia) kustannuksia, on tärkeää, että Armington-joustot perustuvat joko empiiriseen tutkimustietoon tai kansainvälisiin tilastoihin jotta vientivaikutukset saadaan mallinnettua oikein.

Toinen tärkeä joustoparametri on tuotannossa esiintyvä panossubstituutio. Koska energia esiintyy omana tuotantopanoksenaan mallissa (osana pääomasta, työvoimasta ja energiasta koostuvaa nk. KLE-rypystä), on tärkeää, että panossubstituutiojoustot ovat määritelty oikein mallin sisällä. VATTAGE-mallissa näille panoksille joustojen lähteenä on kotimainen tutkimuskirjallisuus ja polttoainetyyppien ristisubstituutiolle GTAP -tietokanta. Välituotekäytölle mallissa hyödynnetään Tilastokeskuksen aineistoja, jotta sektorien välinen panoskäyttö ja sektorien väliset hyödykevirrat saadaan mallinnettua ja kalibroituja oikein.

---

<sup>10</sup> ks. Armington (1969).

<sup>11</sup> Global Trade Analysis Project (GTAP) on globaali tietokanta, joka sisältää CGE -mallinnuksessa tarvittavia olennaisia parametreja. Tietokannasta löytyvät mm. tärkeät Armington -joustoparametrit ja panossubstituutiojoustot Suomelle, jotka perustuvat ekonometrisen mallinnukseen. GTAP -tietokannan lisäksi tutkimuskirjallisuudessa on myös käytössä tämän tietokannan pohjalta rakennettu ja kalibroitu yleisen tasapainon laskennallinen GTAP -malli.

Mallissa kotitaloudet oletetaan hyödyn maksimoijina, ja niille oletetaan tietynmuotoinen hyötyfunktio, johon kuuluu sekä ulkomaisia että kotimaisia hyödykkeitä. Yritykset taas mallinnetaan voitonmaksimoijina. Näillä oletuksilla määritellään matemaattiset käyttäytymissäännöt, jotka muodostavat mallin rungon (ts. optimaaliset hyödykkeiden kysynät ja tarjonnat). Malli ratkaistaan määrittelemällä tietyt muuttujat mallin sisällä määräytyviksi<sup>12</sup> (endogeenisiksi) ja tietyt mallin ulkopuolella määräytyviksi (eksogeenisiksi), jolloin endogeeniset muuttujat voidaan ratkaista lineaarisomalla malli ja ratkaisemalla se jokaiselle määrittelylle ajanhetkelle (so. vuodelle) niin, että edellisen vuoden ratkaisu päivittää tulevan ennusteen (Honkatukia, 2009). Tällä määrittelyllä saadaan malliin tuotua tarkasteltavat politiikkamuutokset ja perusuran oletukset, joita tarvitaan kansantaloudellisten vaikutusten simuloinnissa.

VATTAGE-malliin on rakennettu tiettyjä osia, joilla ilmastopolitiikkaa pystytään arvioimaan ilman osittaisen tasapainon mallia. Näihin kuuluvat ilmastopäästöjen seurantamoduuli, joka määrittelee ilmastopäästöt fossiilisista polttoaineista toimialakohtaisesti sekä relaatiot polttoaineiden substituoitujoustoista tuotannossa ja kulutuksessa (Honkatukia, 2009). Näiden seikkojen käsittelyä on jossain määrin yksinkertaistettu, minkä vuoksi ilmastopolitiikan vaikutusarvioissa usein VATTAGE -mallin tukena on käytetty osittaisen tasapainon mallia, jolla mallinnetaan Suomen energiajärjestelmän kehitys yksityiskohtaisemmalla tasolla.

### 3.1.2 Osittaisen tasapainon mallit (energiajärjestelmämallinnus)

Energiajärjestelmien mallinnukseen käytetään laskennallisissa vaikutusarvioissa usein osittaisen tasapainon malleja. Nämä mallit eroavat yleisen tasapainon malleista siinä, että ne kuvaavat erittäin yksityiskohtaisesti vain tiettyä osaa kansantaloudesta, kuten energiajärjestelmää. Malleilla pyritään arvioimaan energiajärjestelmän kehitystä tietyillä perusoletuksilla ja siten mallintamaan muun muassa energian kokonaiskysynnän, yksittäisten polttoaineiden käytön ja ilmastopäästöjen kehitystä pitkälle tulevaisuuteen. Tämän tyyppisten mallien etuna on niiden tarkka kuvaus tietyn maan tai maanosan energiajärjestelmästä ja siksi energiajärjestelmää kuvaavia osittaisen tasapainon malleja on enenevässä määrin käytetty yleisen tasapainon mallin rinnalla vaikutusarvioinneissa.

Tässä raportissa keskitytään tarkastelemaan tutkimuksia, joissa on hyödynnetty VTT:n kehittämää TIMES-energiajärjestelmämallia. Malli kuvaa Suomen erityispiirteitä varsin hyvin ja sitä voidaan pitää tarkimpana energiajärjestelmää kuvaavana osittaisen tasapainon mallina Suomessa. VTT-TIMES on osa laajempaa (osittaisen tasapainon) TIMES-malliperhettä<sup>13</sup>, joka on kehitetty EU-tasolla (Pursiheimo ym. 2013). TIMES-malli pohjautuu aiemmin EU:n käytössä olleeseen MARKAL-malliin ja on globaali energiajärjestelmämalli. Suomessa käytössä oleva VTT-TIMES on yksityiskohtaisempi malli, jossa on huomioitu erikseen Pohjoismaiden energiajärjestelmät, ja Suomen energiajärjestelmä erityisen tarkasti. VTT-TIMES-malli sisältää siis monia laajennuksia globaaliin TIMES-malliin verrattuna, mutta mallin sisäinen logiikka ja tärkeimmät matemaattiset rakenteet ovat samoja. TIMES-malli perustuu tietyn energiajärjestelmän mallintamiseen, arvioiden muun muassa energian kysynnän, polttoainekäytön ja ilmastopäästöt ottaen huomioon tietyt mallinnuksen alkuoletukset (nk. perusuran). TIMES-mallissa tärkeimmät taustaoletukset ovat kysyntäpuolen parametreja, jotka ovat mallintajan itse valittavissa. Niihin lukeutuvat muun muassa väestönkasvu, BKT:n kehitys ja toimialojen kehitys (Loulou ja Labriet, 2007) sekä auto- ja raken-

---

<sup>12</sup> nk. *closure*, VATTAGE sisältää huomattavan määrän yhtälöitä, joita kaikkia ei ole tarpeen ratkaista samanaikaisesti ja siksi osa määrittelyä eksogeenisiksi.

<sup>13</sup> mm. ETSAP-TIAM -malli.



nuskanta (Pursiheimo ym., 2013). Näiden oletusten perusteella muodostetaan TIMES-mallin perusura, käyttäen jokaiselle parametrille erikseen määriteltyä joustoa, joka kuvaa, miten kysyntä reagoi parametriin. Poliittikkamuutosten vaikutusten arviointiin TIMES myös vaatii oletukset kysynnän hintajousta oman hinnan suhteen. Näiltä osin rakenne on hyvin samankaltainen VATTAGE-mallin kanssa. Lisäksi malliin sisältyy joukko erilaisia teknis-taloudellisia oletuksia, jotka liittyvät energia- ja muiden hyödykkeiden tuotantoprosessiin. Suomen TIMES-mallin hyödyllisyys perustuu pitkälti siihen, että juuri nämä oletukset on tehty Suomen olosuhteita hyvin kuvaaviksi.

Suomen TIMES -malli on kalibroitu käyttäen Tilastokeskuksen julkaisemaa Suomen energiatasetta. Mallin parametrit säädetään niin, että se toteuttaa energiatasetta tietyssä perusvuotena. TIMES perustuu lineaariseen optimointiin - tavoitefunktio on lineaarinen ja se optimoidaan annettuna tietyt rajoitteet. Malli minimoi tuotetun energian kustannuksia tietyllä ennustetulla energian kysynnällä. Energiahyödykkeiden hinnat ovat mallissa endogeenisiä muuttujia, ja mallin tasapaino saavutetaan, kun löydetään hyödykkeelle hinta, jolla sekä hyödykkeen kysyntä ja tarjonta ovat tasapainossa. Tämä hinta maksimoi tuottaja- ja kuluttajajäämän summan tai, toisin ilmaistuna minimoi energian tuottamisen kustannukset<sup>14</sup> (Loulou ja Labriet, 2007, Loulou, 2007). TIMES-malli tuottaa kahdentyyppiset ratkaisut, johtuen mallin lineaarisesta luonteesta<sup>15</sup>. Primaalimallin tuloksena saadaan jokaiselle aikaperiodille teknologiainvestointien taso, teknologioiden käyttöaste, energiahyödykkeiden vienti ja tuonti, energiateknologioiden resurssikäyttö, ilmastopäästöt sekä hyödykevirrat (Loulou ja Labriet, 2007). Duaalimallista saadaan niin kutsutut varjohinnat jokaiselle energijärjestelmään kuuluvalla hyödykkeelle.

TIMES-mallin tärkeisiin taustaoletuksiin kuuluu myös muiden maanosien eksogeeninen vaikutus. Suomen ulkopuolisille maille joudutaan olettamaan muun muassa sähkön hinnan tietty kehitys (Nord Pool -markkinahinta).

### 3.1.3 Laskennallisten mallien kalibrointi, perusurat ja niiden oletukset

Laskennallisten mallien yleispiirteensä on politiikkamuutosten vaikutusten arviointi verrattuna tiettyyn perusuraan (nk. "business as usual"). Tällä tarkoitetaan yksinkertaisesti mallin tuottamaa kuvausta kansantalouden tai energijärjestelmän kehityksestä, mikäli arvioitavaa politiikkamuutosta ei toteutettaisi. Mallin perusura sisältää siis kaikki ne politiikkatoimet, jotka on jo toteutettu tai joiden tiedetään tapahtuvan. Ura muodostetaan laskennallisella mallilla tuomalla malliin sen ulkopuolelta tietoa niistä muuttujista jotka vaikuttavat mallin sisällä määräytyviin, endogeenisiin muuttujiin (ks. Honkatukia, Ahokas ja Tamminen, 2013). Näihin lukeutuvat muun muassa maailmanmarkkinahinnat, ennakoitu väestönkasvu ja tuottavuuskehitys. VATTAGE-mallissa perusuran kalibrointiin käytetään tiettyjä ulkopuolisia asiantuntija-arvioita, kuten valtiovarainministeriön tuottamia keskipitkän aikavälin talousennusteita, jotta malli saadaan yhteensopivaksi muun tutkimustiedon kanssa. Kaiken kaikkiaan kansantalouden perusuran mallinnukseen käytetään tietoa monipuolisesti, monesta eri lähteestä ja näiden rinnalla käytetään myös VATT:ssa tehtävää omaa tulevaisuusennustetta, joka tehdään pääsääntöisesti VATTAGE-mallilla tai sen toimialakohtaisella VATTAGE VERM -versiolla (ks. Honkatukia, 2013).

---

<sup>14</sup> Mallin lineaarisuus sallii kuitenkin tuotantofunktioiden ei-lineaariset muodot. Lineaarisuudella tässä viitataan *palloittaiseen lineaarisuuteen*.

<sup>15</sup> vrt. lineaarisen ohjelmoinnin primaali- ja duaaliongelma.

Laskennallisten mallien kalibroinnilla viitataan prosessiin, jolla määritetään mallin toiminnalle oleelliset parametrit. Laskennalliset mallit sisältävät erittäin monimutkaisia rakenteita jotka linkittyvät toisiinsa. Tavoitteenahan on kuvata esimerkiksi tietyn kansantalouden sisällä tapahtuvaa toimialojen välistä taloudellista aktiviteettia. Malliin tuoduista rakenteista kuitenkin päättää mallintaja, toisin sanoen malliin sisältyy suuri joukko parametreja, jotka vaikuttavat mallin tuloksiin huomattavasti. Luotettavin tapa saada näille parametreille oikeat arvot olisi arvioida ne hyvästä havaintoaineistosta käyttäen ekonometrisia menetelmiä, mutta kaikille parametreille tämä ei ole mahdollista. Kansainvälisestä kirjallisuudesta vakiintunut käytäntö (vrt. Dixon ja Jorgenson, 2013) on tukeutua ensisijaisesti ekonometriaan, tieteelliseen tutkimuskirjallisuuteen ja viime kädessä mallinrakentajan ammattitaitoon parametrien määrittelyssä. VATTAGE-mallissa esimerkiksi tärkeät Armington-oletukset on otettu kansainvälisestä GTAP -tietokannasta, ja mallin sisältämiä parametreja pyritään arvioimaan ekonometrisesti aina, kun se on käytännöllistä ja havaintoaineisto antaa siihen mahdollisuuden. Mallinnuksessa käytettyjä parametreja voidaan tarkistaa simuloimalla VATTAGE-mallilla historiallista kehitystä ja verrata mallin tuloksia toteutuneeseen kansantalouden kehitykseen.

#### 3.1.4 Osittaisen tasapainon mallin ja yleisen tasapainon mallin yhteensovittaminen

Arvioitaessa ilmastopolitiikan vaikutuksia laskennallisilla malleilla, on hyödyllistä yhdistää osittaisen tasapainon mallit (nk. bottom-up mallit) yleisen tasapainon malleihin (top-down), jotta kummankin malliperheen hyvät puolet saadaan yhdistettyä yhteen analyysiin. Tyypillinen esimerkki tällaisesta toimintatavasta on politiikka-arvio, jossa hyödynnetään yksityiskohtaista energiajärjestelmämallia (TIMES) kuvaamaan energiajärjestelmän kehitys sekä energian kysyntä ja tämän mallin tulokset tuodaan mukaan kansantaloutta kuvaavaan yleisen tasapainon malliin (VATTAGE).

Nämä kaksi mallia ovat kuitenkin jokseenkin erillisiä ja niiden yhdistämiseen on kehitetty erilaisia menetelmiä. Menetelmät voidaan karkeasti jakaa kahteen luokkaan, jotka eroavat siinä, miten malleja ajetaan. Ensimmäinen, ja yleisesti käytetty menetelmä, on niin kutsuttu iterointimenetelmä (*soft linking*), jossa osittaisen tasapainon mallin tuottama ennuste tuodaan eksogeenisenä kansantaloudelliseen malliin. Näin malleja ajetaan ikään kuin peräkkäin, malliajoja voidaan suorittaa monia ja mallit voivat "keskustella" keskenään tutkimuksen edetessä. Tavoitteena on mallintaa energian kysynnän kehitys, ilmastopäästöt sekä käytetyt polttoaineet energiajärjestelmämallilla ja tuoda nämä urat sopivassa muodossa kansantaloudelliseen malliin mukaan. Mallinnuksen aikana säädetään keskeisiä parametreja ja malliajot lopetetaan, kun mallit saavuttavat tietyn samankaltaisuuden lopputuloksissaan<sup>16</sup>. Vaikka menetelmä vaikuttaa varsin suoraviivaiselta, sitä on kuitenkin kritisoitu muun muassa siitä, että yhdistettävät mallit voivat olla (ja luultavimmin myös ovat) rakenteeltaan täysin erilaisia, ja haasteena on löytää malleille yhteiset muuttujat, joilla osittaisen tasapainon mallin tulokset ja ennusteura saadaan syötettyä yleisen tasapainon malliin (Böhringer ja Rutherford, 2009).

Vaihtoehtoisesti osittaisen tasapainon malli voidaan integroida yleisen tasapainon malliin suoraan, jolloin mallit ajetaan samanaikaisesti<sup>17</sup> (nk. *hard-linking*). Tämän lähestymistavan etuna on se, että mallin sisäinen matemaattinen optimointi suoritetaan yhdessä vaiheessa eikä aiemman peräkkäisiä ajoja tarvita. Toisaalta tällöin joudutaan yksinkertaistamaan yhdistettävien mallien rakennetta huomattavasti (Böhringer ja Rutherford, 2009), jolloin mallien ennustamiskyky kärsii. Tällä yhdistys-

<sup>16</sup> nk. "lurching" -mekanismi, ks. Mitra-Kahn (2008) , Krook Riekkola ym. (2013) ja Adams ja Parmenter (2013).

<sup>17</sup> vrt. Arndt ym. (2014).

tavalla on mahdollista, että yksityiskohtaisesta osittaisen tasapainon mallista (esim. energiajärjestelmämalli) jäävät pois juuri mallin suurimmat hyödyt, eli energiajärjestelmän yksityiskohtainen kuvaus. Yksinkertaistaminen saattaa olla paikallaan, mikäli ilmastopolitiikan vaikutuksia halutaan arvioida globaalilla tasolla, mutta aiemman iterointimenetelmän etuna on sen paljon tarkempi kuvaus tietyn maan tai maanosan erityispiirteistä.

Krook Riekkola ym. (2013) mainitsevat iterointimenetelmän (soft-linking) eduiksi lisäksi sen, että kummankin mallin rakenne säilyy pitkälti ennallaan ja tämän seurauksena mallin käyttäjät pystyvät hyödyntämään asiantuntemustaan mallin rakenteesta analyysin aikana. Suomelle tehtävissä ilmastopolitiikan vaikutusarvioissa energiajärjestelmämallin yksinkertaistaminen globaalille tai maanosatasolle luultavasti ei anna tarpeeksi yksityiskohtaista kuvaa muun muassa energian kysynnän ja polttoaineiden käytön kehityksestä, joten mallien ajaminen peräkkäin on hyvin perusteltua.

### 3.2 IAM –tyyppiset mallit

Laskennallisten yleisen ja osittaisen tasapainon mallien rinnalla ilmastopolitiikan vaikutusarvioihin on myös käytetty integroituja arviointimalleja (eng. *Integrated Assessment Model*). Siinä, missä aiemmin kuvatut mallit rakentavat energian kysynnän, polttoainekäytön ja päästöjen ennusteen perusuran oletuksilla, IAM-mallit sisältävät vieläkin pidemmälle tulevaisuuteen ulottuvia parametreja ja oletuksia. IAM-mallin perusidea on yhdistää toisiinsa kokonaistaloudellinen, erittäin pitkän aikajänteen mallinnus ja ilmastotieteellinen näkökulma käyttäen hyväksi malleja, jotka kuvaavat päästöjen vaikutuksia ilmastoon ja taloudelliseen toimintaan. Tähän malliperheeseen kuuluu monia erityyppisiä malleja, jotka saattavat erota toisistaan huomattavasti (Huppmann ja Holz, 2014). Mallit ovat yleensä tasoltaan globaaleja, ja alue-erittelyt ovat usein esimerkiksi maanosittain. Yhdistävä piirre malleissa on "takaisinkytkentä", joka on rakennettu ilmastoon ja talouden toiminnan välille. Malleihin sisältyy mekanismi, joka mallintaa ilmastopäästöjen vaikutusta taloudelliseen toimintaan<sup>18</sup> sekä maankäyttöön erittäin pitkällä aikajänteellä ja globaalilla tasolla.

Verrattuna aiemmin läpikäytyihin laskennallisiin malleihin, IAM-mallien laadintaan, käyttöön ja tuloksiin liittyy vielä enemmän epävarmuutta. Suurin ongelma liittyy mallin rakenteeseen ja ilmastovaikutusten mallintamiseen. Kuten Pindyck (2013) toteaa, tämän takaisinkytkennän luonteesta tiedetään vielä erittäin vähän. On epäselvää, minkä suuruisia vaikutuksia vaikkapa globaalisti yhden celsiusasteen keskilämpötilan nousulla on taloudelliseen aktiviteettiin, maankäyttöön tai ilmastoon yleensä. Mallissa näiden vaikutusten arviointi pelkistyy usein mallin rakenteiden valintaan, toisin sanoen tiettyjen matemaattisten funktioiden määrittämiseen, jotka kuvaavat ilmastohaittojen suuruutta ja vaikutusta taloudelliseen aktiviteettiin. Ilmastomuutoksen tosiasiallisista vaikutuksista erittäin pitkällä aikajänteellä tiedetään kuitenkin erittäin vähän. Edes usein käytetty skenaariotarkastelu ei välttämättä ole riittävä, koska tietyn lämpötilamuutoksen lopputulemiin liittyy myös perustavanlaatuisia epävarmuutta<sup>19</sup>; kaikkia lopputulemia ei tiedetä ja siten myös lämpenemisen riskien määrittely on lähes arvailun varassa. Esimerkkinä katsauksessaan Pindyck (2013) käyttää juuri edellä mainittua niin kutsuttua haittafunktiota ja sen tiettyjen parametrien valintaa. Koska epävarmuus haitoista on merkittävä, tämän haittafunktion muoto on käytännössä tuntematon ja se

---

<sup>18</sup> Yleensä vaikutuskanavana on keskilämpötilan nousu, ts. hiilidioksidipäästöt johtavat lämpötilan nousuun, mikä taas vaikuttaa jossain määrin taloudelliseen aktiviteettiin tulevaisuudessa.

<sup>19</sup> Terminä tässä käytetty epävarmuus viittaa nk. Knightilaiseen epävarmuuteen, jossa kaikkia lopputulemia ei ole tiedossa.

voidaankin valita täysin vapaasti, kuten myös sen parametrit (ks. myös Ackerman ym. 2009). Täten mallien tulokset riippuvat erittäin voimakkaasti valituista funktiomuodoista ja parametreista, ja toisin kuin aiemmin esitellyissä malleissa, niiden valinnassa ei voida nojata tutkimustietoon.

Tutkimuksessaan ilmastomallien epävarmuudesta Burke ym. (2015) jakavat IAM -malleihin olennaisesti kuuluvan ilmastomallinnuksen ongelmat kahteen kategoriaan. Ensimmäisenä ongelmana on tulevan ilmastokuormituksen (kuten hiilidioksidipäästöjen) ennustamiseen liittyvä epävarmuus. Koska IAM-mallit ulotetaan kattamaan pitkälle tulevaisuuteen, ennustevirheet voivat johtaa paikkaansa pitämättömiin tuloksiin. Tämä ongelma on kuitenkin helposti ratkaistavissa laskennallisissa malleissa ottamalla huomioon riittävän monta eri skenaariota, joissa ilmastopäästöt kehittyvät eri tavalla ja ovat erisuuruiset. Toinen, ja huomattavasti merkittävämpi ongelma, liittyy ilmastovaikutusten ennustamiseen. Ilmastopäästöjen suoraa vaikutusta globaaliin lämpötilaan ja säätilaan ei tunneta vielä hyvin ja vaikutusten mallinnukseen sisältyy suurta epävarmuutta. IAM-mallien äärimmäisen herkkyyden perusoletuksille näyttävät myös vertailussaan Wilkerson ym. (2015), jotka vertailevat keskenään kolmen IAM-mallin tuloksia Yhdysvaltain ilmastopolitiikan ja energian hinnan suhteen. Tutkimus osoittaa hyvin, miten herkkiä mallit ovat tietyille lähtöoletuksille ja ilmastovaikutuksen määrittelylle. Mallityypistä riippuen muun muassa ilmastopäästöjen ja optimaalisen päästöjen vähentämisen tulokset eroavat suuresti toisistaan, vaikka politiikkamuutos on kaikissa malleissa sama.

Tähän kritiikkiin pohjautuen tulee IAM-mallien käyttöön suhtautua erityisellä varauksella varsinkin, jos mallien tuloksia käytetään ilmastopoliittiseen päätöksentekoon. Huomiota on syytä kiinnittää etenkin ennustettuihin pitkän aikavälin taloudellisiin vaikutuksiin edellä mainittujen seikkojen ja pätevän tutkimustiedon puutteen takia.

### 3.3 Ekonometriset mallit

Laskennallisilla malleilla ennakoidaan politiikkamuutosten tulevia, kokonaistaloudellisia vaikutuksia, kun taas ekonometriset mallit perustuvat havaintoaineistoon ja tilastollisiin menetelmiin, joilla selvitetään jo toteutuneet vaikutukset. Ekonometristen arviointimenetelmien lähtökohtana on tietyn muuttujassa tai indikaattorissa havaitun vaihtelun selittäminen muilla havaituilla tekijöillä ja taustamuuttujilla. Ilmastopolitiikan ja päästökaupan vaikutusarvioissa esimerkki-indikaattorina ovat vaikkapa liikevaihto, arvonlisä ja työpanoksen kysyntä. Niissä havaittua vaihtelua selitetään käyttämällä tiettyjä taustamuuttujia, kuten ilmastopolitiikan kireyttä, yritysten toimialaa tai päästökaupan kuulumista. Tämän menetelmän käytön hyötynä on se, että se perustuu tilastotieteellisiin menetelmiin ja havaittuun yritysten käyttäytymiseen. Täten ekonometrisin menetelmin toteutettu, empiirinen arviointi toimii hyvänä tukena laskennallisilla malleilla tehdyille ennakoititutkimuksille.

Vaikka ekonometristen menetelmien käytössä tavoitteena on harhaton ja tarkka estimaatti tietyn politiikkamuutoksen vaikutuksista, menetelmän tarkkuus ja luotettavuus riippuvat suuresti käytetystä havaintoaineistosta. Jotta vaikutus voidaan arvioida huolellisesti, tulee käytettävän aineiston olla tarkka ja yksityiskohtainen, sisältäen havaintoyksikkötasolla tiedot kaikista oleellisista taustamuuttujista. Tämä vaatimus liittyy keskeisesti ekonometriassa tunnettuihin käsitteisiin verrokki- ja koeryhmästä. Koeryhmään luetaan ne havaintoyksiköt, jotka kuuluvat tietyn politiikkamuutoksen piiriin, kun taas muutoksen ulkopuolella olevat havaintoyksiköt luetaan verrokkiryhmään. Yksin-

kertaistettuna, jotta jonkin tietyn politiikkamuutoksen kausaalivaikutukset<sup>20</sup> pystytään selvittämään, pitäisi muodostaa aineisto, jossa muutoksen piirissä oleville havaintoyksiköille (koeryhmä) saadaan muodostettua ominaisuuksiltaan tarpeeksi lähellä oleva, muutoksen ulkopuolella oleva verrokki-ryhmä. Mikäli näin pystytään tekemään, voidaan ekonometrisillä malleilla hyvinkin tarkasti arvioida tarkastellun muutoksen vaikutus. Eräs laadukkaan ekonometrisen analyysin piirteistä on tarkasti muodostettu aineisto, josta saadaan muodostettua nämä ryhmät. Ilmastopolitiikan empiirisessä arvioinnissa erityispiirteenä on se, että päätöksiä ja valikoitumiskriteereitä ei voida pitää täysin satunnaistettuna, mikä tekee ryhmistä keskenään heikosti vertailukelpoisia. Tästä syystä ekonometrisessä arvioinnissa joudutaan usein tukeutumaan kehittyneisiin tekniikoihin, kuten *instrumenttimuuttujamenetelmään* (2SLS) tai *matching-* tyyppisiin menetelmiin<sup>21</sup>. Tällöin pyritään jäljittämään mahdollisimman tarkoin täysin satunnaistettua koemenetelmää, vaikka itse havaintoaineisto ja politiikkamuutos olisivatkin luonteeltaan valikoivia.

Ilmastopolitiikan ja varsinkin päästökaupan suhteen edellä mainittu vertailukelpoisuusvaatimus havaintoaineistolta on varsin tiukka. Koska päästökauppaan valikoituminen tapahtuu tietyn yrityksen toimilaitoksen tasolla, arvioissa tulisi käyttää tämän tason havaintoaineistoa, jotta politiikan vaikutukset voitaisiin tarkasti estimoida. Luvussa 5 esitellään tämän tyyppisellä aineistolla tehtyä ekonometristä arviointia ja tulkitaan arvioiden tuloksia.

## 4 Vaikutusten määrittely

### 4.1 Kilpailukyvyn ja sen komponenttien määrittely

Yrityksen kilpailukyky on käsitteenä varsin laaja, mutta yleisellä tasolla sitä voidaan ehkä parhaiten kuvailla yrityksen kykynä toimia markkinoilla tehokkaasti, eli kykynä tuottaa arvonlisää kansantaloudelle. Käsite voidaan jakaa tarkasteltavan ajanjakson pituuden perusteella kahteen osaan: lyhyen aikavälin kilpailukykyyn sekä pitkän aikavälin kilpailukykyyn.

Malirannan (2014) mukaan lyhyelle aikavälille kuuluvat lähinnä kustannuskilpailukyky, kuten esimerkiksi nimelliset yksikkötyökustannukset. Pitkän aikavälin kilpailukyvyn päätekijä on taas kasvukilpailukyky, joka koostuu muun muassa innovaatioista, työmarkkinoiden tehokkuudesta sekä tuottavuudesta. Päästökaupan ja ilmastopolitiikan tutkimuksessa Dechezleprêtre ja Sato (2014) määrittelevät kilpailukyvyn yrityksen kykynä myydä tuotostaan markkinoille ja esittävät sen mittareiksi arvonlisää tai markkina-arvoa. Päästökaupan vaikutukset yritysten kilpailukykyyn ovat kiinnostavia siksi, että tavanomaisen yrityksen teorian perusteella vaikutukset ovat haitallisia. Päästökaupan myötä yritykset sisällyttävät tuotantonsa negatiiviset ulkoisvaikutukset omiin kustannuksiinsa, ja nousevien tuotantokustannusten vuoksi yrityksen kansainvälinen kilpailukyky

---

<sup>20</sup> Kausaalivaikutuksella tarkoitetaan syy-seuraussuhdetta, jossa tietyn tekijän voidaan varmuudella sanoa vaikuttavan toiseen. Esimerkkinä työn taloustieteestä voidaan mainita vaikkapa koulutuksen vaikutus ansiotasoon.

<sup>21</sup> ks. Angrist ja Pischke (2009).

heikkenee. Tästä lähtökohdasta tehtyjä selvityksiä ja raportteja on löydettävissä myös aiemmassa tutkimuskirjallisuudessa<sup>22</sup>.

Kustannuskilpailukyky on lyhyellä aikavälillä kilpailukyvyn tärkeä komponentti (Maliranta, 2014 ja Mankinen ym. 2012). Usein ilmastopolitiikan kohdalla painotetaan esimerkiksi yksikkömateriaali- ja reaalisia energiakustannuksia (European Commission, 2014b) kilpailukyvyn mittareina. Lyhyen aikavälin vaikutusten rinnalla tärkeää on tarkastella myös pitkän aikavälin kilpailukykyä, sillä ympäristöpolitiikka ja ympäristösääntely ovat nousemassa hyvin tärkeään asemaan tulevaisuudessa. Tässä kirjallisuuskatsauksessa keskitytään pääosin pitkän aikavälin kilpailukykyyn, tarkastellen ilmastopolitiikan ja päästökaupan vaikutuksia kasvukilpailukyvyn osatekijöihin ja indikaattoreihin.

## 4.2 Kilpailukyvyn mittarit ja indikaattorit

Kilpailukyvyn mittareita, kuten sen osatekijöitäkin on monia. Mittarien hyödyllisyys riippuu tarkasteltavasta asiasta. Esimerkkinä vaikkapa kansainvälistä kilpailukykyä tarkastellessa on luonnollista käyttää vientiä kuvaavia indikaattoreita, koska vienti kuvaa kansantalouden kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla. Puhuttaessa kilpailukyvestä päästökaupan yhteydessä, suurin osa tutkimuksista on keskittynyt arvioimaan päästökaupan vaikutuksia johonkin tiettyyn kilpailukyvyn osatekijään, kuten vaikkapa liikevaihtoon, tuottavuuteen, työpanoksen kysyntään tai innovaatioihin (Dechezleprêtre ja Sato, 2014). Ympäristöpolitiikalla voi kuitenkin olla vaikutuksia näihin kaikkiin tekijöihin, ja siksi kokonaisvaikutusten arviointi näiden osatekijöiden perusteella on usein hankalaa.

Ilmastopolitiikan ja sääntelyn vaikutuksia yritysten kilpailukykyyn voidaan empiirisesti tutkia vain jo edellä mainituilla, niin kutsutuilla välillisillä indikaattoreilla. Näillä siis tarkoitetaan esimerkiksi tutkimusta, jossa selvitetään ilmastopolitiikan vaikutuksia tiettyihin yritys- tai toimialakohtaisiin muuttujiin, jotka kuvaavat yhdessä monisyistä kilpailukyvyn käsitettä. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan indikaattoreita, jotka kuvaavat yrityksen pitkän aikavälin kilpailukykyä.

Näitä ovat ilmastopolitiikan ja erityisesti päästökaupan vaikutukset:

- yritysten liikevaihtoon ja tuotantoon
- yritysten työpanoksen kysyntään
- yritysten innovaatioihin ja kokonaistuottavuuteen

Tuotannolliset indikaattorit (liikevaihto, tuotanto, liikevoitto) ovat luonnollinen mittari yritysten kilpailukyvyille vaikutusarvioissa. Työpanoksen kysyntä taas linkittyy kasvukilpailukykyyn, sillä osaava ja tuottava työvoima muodostaa tärkeän tekijän yrityksen pitkän aikavälin kilpailukyvyille. Vaikutukset innovaatioihin ja kokonaistuottavuuteen ovat tärkeitä, sillä ne mittaavat ilmastopolitiikan ohjausvaikutuksia, kuten uuden, ja puhtaamman tuotantoteknologian kehitystä.

---

<sup>22</sup> ks. EC (2014b), Holm ja Lahtinen (2014) sekä Kerkelä ym. (2014).

Näillä indikaattoreilla voidaan muodostaa kokonaiskuva siitä, millaisia vaikutuksia ilmastopolitiikalla ja päästökaupalla on ollut yritysten kilpailukykyyn.

## 5 Tutkimustulokset

### 5.1 Laskennallisten mallien tulokset (ex ante-arviot)

Ilmastopolitiikan vaikutusten arviointiin on käytetty laskennallisia, yleisen tai osittaisen tasapainon malleja, joiden tavoitteena on kuvata taloutta kokonaisuudessaan ja numeerisen simuloinnin keinoin mallintaa ilmastopoliittisten toimien (kuten päästökaupan) vaikutuksia kansantalouteen. Tässä luvussa käydään läpi näillä malleilla tehtyjä tutkimuksia ilmastopolitiikan vaikutuksista. Katsauksessa päähuomio kiinnitetään vaikutusarvioihin, joissa mallinnuksessa on käytetty osittaisen tasapainon energiajärjestelmämallia yleisen tasapainon mallin rinnalla. Taulukossa 1 esitetään arvion perustana ollut politiikkamuutos ja mallinnuksen tärkeimmät oletukset, kuten odotettu päästöikeyden hintakehitys. Taloudellisten ja kilpailukykyvaikutusten indikaattoreina käytetään arvioituja BKT-vaikutuksia sekä vaikutuksia työllisyyteen. Tarkastelemalla näitä kahta tekijää, voidaan laskennallisten mallien tuloksia verrata karkealla tasolla empiirisen arvioinnin tuloksiin.

Laskennallisessa mallinnuksessa ilmastopolitiikan ja päästökaupan vaikutukset välittyvät kustannusten kautta. Mallinnuksesta riippuen sitovat ilmastotavoitteet ja päästökauppajärjestelmä nostavat kansantaloudessa toimivien yritysten kustannustasoa, mikä johtaa yleisen hintatason nousuun. Tästä seuraa taloudellisen aktiviteetin väheneminen, BKT:n supistuminen sekä myös työllisyyden heikkeneminen palkkamekanismin kautta. Työllisyysvaikutukset jäävät kansantaloudellisissa malleissa usein lyhytaikaisiksi, sillä pitkällä aikavälillä reaali-palkkojen sopeutuminen johtaa mallin uuteen tasapainoon, jossa työllisyys sopeutuu nousseeseen hintatasoon. Sen sijaan BKT-vaikutus on useimmiten myös pitkäaikainen. VATTAGE-mallissa BKT:ta supistaa useimmiten yksityinen kysyntä, joka reagoi varsin voimakkaasti kotimaiseen hintatasoon. Kustannusnousun vastapainoksi tietyissä malliskenaarioissa, joissa tarkastellaan sekä ilmastopolitiikkaa että uusiutuvan energian tavoitteita rinnakkain, BKT ja työllisyysvaikutukset eivät ole yhtä voimakkaita. Tämä johtuu siitä, että uusiutuvaan energiaan liittyvät tavoitteet kasvattavat tiettyjen toimialojen (varsinkin energiatektorin) investointeja uuteen tuotantoteknologiaan merkittävästi ja tällä on työllisyyttä lisäävä vaikutus. BKT:n vaikutusten jakamisessa muun muassa vientiin ja tuontiin, tärkeä taustaoletus on nk. Armington-joustot sekä oletukset siitä, miten ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tehdyt investoinnit muuttavat Suomen asemaa esimerkiksi kansainvälisillä energiateknologian markkinoilla.

Taulukko 1: Laskennallisten ilmastopoliittikan vaikutusarvioiden tulosten yhteenveto

Tutkimus	Politiikka- muutos	Ajan- jakso	Malli	Päästöi- keudet (1)	Taloudelliset vaikutukset		Vienti	Kommentteja
					BKT (2)	Työllisyys		
Suomea koskevat tarkastelut TIMES- ja VATTAGE-malleilla								
Koljonen ym. (2014)	EU 2030 ilmastopaketti	2014–2030	TIMES/VATTAGE	10€ (2020) 50€ (2050)	-0.1–0.7 %	-0.05-0.5 %	-1.25 -2 %	
Honkatukia, Koljonen ja Lehtilä (2013)	30 %:n päästövähennystavoite	2013–2030	TIMES/VATTAGE	10€ (2020) 20€ (2030)	-0.5 %	Ei vaikutuksia	-0.15 %	BKT-vaikutus pääosin kotimaisen kysynnän kautta
Pursiheimo ym. (2013)	Kuten edellä, tavoitteet uusiutuvasta energiasta	2005–2030	TIMES/VATTAGE	Kuten ed.	+0.5-1 %	Lyhyt AV: +0.1 % Pitkä AV: Ei vaikutuksia	-0.65 %	Vaikutukset kasvavien investointien kautta – kotimarkkinat syrjäyttävät vientiä
Lindroos ym. (2012)	Uusiutuvan energian lisäämisen vaikutukset	2010-2024	TIMES/VATTAGE	perusura 30€ (2020) 17-40€ (skenaariot)	+0.1 %	-0.1%	-0.5-1.5 %	Vientivaikutus riippuu oletuksista energiemarkkinoista
Honkatukia, Forsström ja Pursiheimo (2011)	Kolmas päästökauppakausi ja 2011 energiaverouudistus	2011–2025	TIMES/VATTAGE	15, 30 tai 45€ (2020)	-0.8-1 %	Lyhyt AV: -1 % Pitkä AV: Sopeutumisen 2020		Päästöoikeuksien hintaoletuksilla ei ole juurikaan vaikutuksia BKT:n muutoksen suuruuteen.
Suomea koskevat, eri malliperheellä tehdyt vaikutusarviot								
Honkatukia ja Forsström (2008)	EU:n 2020 päästövähennystavoitteet ja päästökauppa	2005-2050	POLA/VATTAGE	25€ (2020) 30€, 45€ (skenaariot)	-1-1.2 %	-0.5 %, sopeutumisen vuoteen 2020 mennessä		Työllisyysvaikutus pysyvä, jos työmarkkinat ovat jäykät
Rantala (2012)	EU:n ilmastopoliittika ja kolmas päästökauppakausi	2013–2020	ETLA:n makromalli	perusura: 0€ skenaariot: 8€ (2013) 18€ (2030)	-1.1–1.8 %	-1-1.7 %		Perusuralla päästöjä ei rajoiteta
Globaaleilla malleilla tehdyt vaikutusarviot								
Niemi ja Honkatukia (2011)	Päästökaupan vaikutus energiantensiviselle teollisuudelle	2011-2025	GTAP	37-59€ (kausi 3)	-2-+1 %	Ei mukana		Pohjoismaiden BKT ja työllisyys
Honkatukia ym. (2012)	Kauppa- ja ilmastopoliittika	2010–2030	GTAP/VATTAGE		-1-+2 %			Asukaskohtainen BKT

(1) Oletukset päästöoikeuksien hintojen kehityksestä, perustuen joko simulointiin tai skenaariotarkasteluun.

(2) Vaikutus perusuran tasoon verrattuna, vaihteluväli.

Taulukossa 1 esitettyjen tutkimusten mallit että arvioidut ilmastopoliittiset muutokset eroavat toisistaan. Ensimmäiset viisi tutkimusta ovat keskenään hyvin samankaltaisia ja niissä on lähinnä tarkasteltu erilaisia politiikkamuutoksia. Seuraavat tutkimukset perustuvat erityyppisiin laskennallisiin malleihin ja joissain kansantaloudellisia vaikutuksia ei arvioida enää pelkästään Suomelle. Ensimmäisen osion VATTAGE- ja TIMES -tarkastelut käyttävät suurimmissa määrin samoja olennaisia



taustaoletuksia mallien kalibroinnissa ja siten ovat keskenään ainakin jossain määrin vertailukelpoisia.

Ottaen huomioon, että ensimmäisen osan mallien perusurat on muodostettu olettamalla BKT:n vuosittaiseksi kasvuvauhdiksi noin 2-3 %, ilmastopolitiikan BKT:ta leikkaavat vaikutukset ovat jopa äärimaltillisia. BKT-vaikutuksen suunta riippuu keskeisesti siitä, miten markkinoiden, ja erityisesti vientimarkkinoiden, oletetaan tulevaisuudessa kehittyvän ilmastopolitiikan vuoksi. Mikäli Suomi onnistuu hyödyntämään uusiutuvan energiateknologian mahdollisuuksia ja ylläpitämään tai kasvattamaan energiateknologian vientiään arviot ilmastopolitiikan vaikutuksista nousevat jopa positiivisiksi. BKT-vaikutuksen suuntaan vaikuttaa olennaisesti myös mahdolliset uusiutuvan energian tavoitteet ja niiden ottaminen huomioon politiikkamuutoksessa. Uusiutuvan energian tuotannon lisäämiseksi investointien arvioidaan kasvavan huomattavasti, millä on positiivisia vaikutuksia sekä työllisyyteen että BKT:hen. Huomionarvoista näissä tutkimuksissa on myös se, että oletukset päästöoikeuden hinnoista (joko skenaariotarkasteluna tai simuloituna hintaurana) ovat huomattavasti korkeammat kuin nykyinen päästöoikeuksien hintakehitys ehkä edellyttäisi. Päästöoikeuden hinnat eivät läpikäydyissä tutkimuksissa muodostu erityisen tärkeiksi tekijöiksi kansantaloudellisiin vaikutuksiin.

Seuraavassa osiossa käydään seikkaperäisesti läpi taulukon 1 erilaiset vaikutusarviot tutkimuksittain.

### 5.1.1 Suomea koskevat maakohtaiset tarkastelut TIMES ja VATTAGE – malleilla

Koljonen ym. (2014) käyttävät TIMES- ja VATTAGE-malleja tarkastellessaan EU:n vuoden 2030 ilmastopakettien vaikutuksia Suomen kansantalouteen. Mallinnus on tehty ennen kuin päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästötavoitteista sovittiin, ja siksi politiikan vaikutuksia on arvioitu vaihtoehtoisilla päästövähennystavoitteilla (32, 36 tai 40 %). Päästöoikeuden hinnaksi oletetaan 10 euroa/tonni vuonna 2020 ja 50 euroa/tonni vuonna 2030. Päästötavoitteista arvioidaan koituvan 290–460 miljoonan euron lisäkustannukset vuonna 2030 perusuraan verrattuna. Kustannusten seurauksena sähkön hinnan arvioidaan nousevan noin 60 euroon/MWh, millä on vaikutuksia kansantaloudellisessa tarkastelussa.

Kansantaloudelliset vaikutukset arvioidaan VATTAGE-mallilla, jonka perusura on kalibroitu valtiovarainministeriön keskipitkän aikavälin talousennusteen pohjalta. Päästökaupasta oletetaan, että päästöoikeuksien ilmaisjako säilyy hintakilpailukyvyyn edistämiseksi. BKT-vaikutukset arvioidaan noin -0.1-0.7 %:ksi perusuraan verrattuna vuonna 2030. Työllisyysvaikutukset ovat hieman pienemmät, noin -0.05-0.5 % perusuraan verrattuna. Selvimmin ilmastopolitiikka vaikuttaa yksityiseen kulutuskysyntään, jossa vaikutukset ovat noin -0.25-1 %. Erityisesti viennin arvo supistuu runsaasti, arvioiden vaihdellessa noin 1.25-2 % perusuran tasosta. TIMES-mallin perusteella päästövähennysten rajakustannukset<sup>23</sup> päästökaupan ulkopuolisille toimialoille vaihtelevat välillä 40–130 euroa/tonni, riippuen ilmastotavoitteiden tiukkuudesta ja päästökaupan ulkopuoliselle sektorille asetetusta päästötavoitteesta.

Työllisyyden väheneminen johtuu nousevista energiakustannuksista, jotka leikkaavat ostovoimaa ja reaali-palkkoja. Työllisyysvaikutukset jäävät kuitenkin vuonna 2030 suhteellisen lieviksi verrattuna

---

<sup>23</sup> nk. *marginal abatement cost*, eli päästövähennyksen rajakustannus. Kustannusnousu, kun hiilidioksidipäästöjä vähennetään yksi lisäyksikkö (tyypillisesti tonni).

vaihtotaseen eriin, kuten vientiin ja tuontiin. BKT:n supistuminen johtuu työpanoksen kysynnän vähentymisestä ja investointien supistumisesta muilla kuin energia- ja rakennustoimialoilla. Negatiiviset BKT-vaikutukset voivat toisaalta lieventyä, sillä arviossa ei oteta kantaa ilmastotavoitteiden vaikutuksesta puhtaan teknologian liiketoimintaan.

Honkatukia, Koljonen ja Lehtilä (2013) tarkastelevat EU:n 30 %:n päästövähennystavoitteen kansantaloudellisia vaikutuksia verrattuna aiempiin lievempiin tavoitteisiin. Tutkimuksen perusuralla talous sopeutuu EU:n aiempiin päästövähennystavoitteisiin ja pääasiallinen tavoite on arvioida tiukkenevien päästövähennystavoitteiden kansantaloudelliset vaikutukset. Mallissa päästökaupan oletetaan laajentuvan vuonna 2013, ja päästöoikeuden hinnan olevan perusuralla 10 euroa/tonni vuonna 2020 ja nousevan 20 euroon/tonnilta vuonna 2030. Ilmastopolitiikan kiristämisen seurauksena politiikkauralla oletetaan hinnan nousevan 20 euroon jo vuonna 2020 ja 30 euroon vuonna 2030. Energiajärjestelmämallinnuksen tuloksena ilmastopolitiikan tiukentamisen arvioidaan johtavan noin 140 miljoonan euron suoriin lisäkustannuksiin vuonna 2020.

Mallin perusoletukset muun muassa BKT:n kasvuvauhdista ja muista makrotaloudellisista tekijöistä noudattavat valtiovarainministeriön keskipitkän aikavälin ennustetta. Päästökaupassa oletetaan siirryttävän ilmaisjaosta huutokauppaan perustuvaan järjestelmään, mikä vaikuttaa valtiontaloutta koskeviin arvioihin siltä osin, kun kaupasta syntyy veroluontoista tuloa. Tiukentuneiden päästötaavoitteiden ja päästökaupan vaikutukseksi BKT:hen arvioidaan noin puolen prosenttiyksikön pudotus perusuran tasosta. Suurin syy on kotimaisen kysynnän supistuminen, viennin reagoidessa lievemmin. Vientisektoreista eniten perusuran tasoon verrattuna supistuvat alkutuotteet (-3-6.5 %) teräs (-0.25-3.5 %) ja energian vienti (-1-4 %). Kansantuotteen erittelyssä todetaan, että viennin vaikutus BKT:n laskuun on noin kolmasosa tai vähemmän, vaikutuksen ollessa suurin lähimpinä vuosina. Noin kaksi kolmasosaa BKT-vaikutuksesta selittyy yksityisen kysynnän supistumisella ja se on BKT-vaikutusten tärkein ajuri. Työllisyysvaikutukset perusuraan verrattuna ovat hyvin lieviä, toimialoilla tapahtuu muutoksia työpanoksen kysynnässä mutta ilmastotavoitteiden kiristäminen ei selvästi laske työllisyyttä tai vaikuta oleellisesti jo käynnissä olevaan kansantalouden rakennemuutokseen.

Pursiheimo ym. (2013) päivittävät aiemmassa tutkimuksessa (Honkatukia, Koljonen ja Lehtilä, 2013) julkaistua vaikutusarviota EU:n 30 %:n päästövähennystavoitteiden kansantaloudellisista vaikutuksista. Käytetyt mallit ovat samat kuin aiemmassa tutkimuksessa, mutta malleihin otetaan mukaan sittemmin työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) päättämät lisätoimet muun muassa puhtaan energiatuotannon tukemisesta. Energiajärjestelmämallin tuottamat arviot kasvihuonepäästöistä ja energian hinnoista pysyvät hyvin samankaltaisina. Tarkennetussa mallissa päästöt ovat noin 5Mt pienemmät vuonna 2030 verrattuna aiempaan kehitykseen ilman lisätoimia, kun taas muille vuosille merkittäviä eroja ei ole. Tarkennetussa mallissa sähkön hinta on samankaltainen verrattuna aiempaan tutkimukseen, mutta kaukolämmön hinnan arvioidaan nousevan lähinnä kivihiilen käytön rajoittamisen takia. Kansantaloudelliset vaikutukset arvioidaan VATTAGE-mallin avulla. VATTAGE-oletuksiin kuuluu päästöoikeuksien hinnan varsin maltillinen nousu. Oletettu hinta on 10 euroa/tonni vuonna 2020 ja 20 euroa/tonni vuonna 2030. TEM:n lisätoimet vaikuttavat mallissa ennen kaikkea investointeihin, joiden arvioidaan kasvavan huomattavasti perusuraan verrattuna. Suurin lisäys investoinneissa tapahtuu energiaintensiivisen teollisuuden toimialoilla, joihin puhtaan energian tuet vaikuttavat eniten. Kasvua näkyy myös yksityisten palvelujen ja rakentamisen investoinneissa, jotka johtuvat lisätoimissa päätetyistä kiinteistöjen energiatehokkuustavoitteista ja niiden parantamisesta.

Lisäinvestoinneilla on työllistävä vaikutus, mutta koska mallin dynamiikassa tämä johtaa nousevaan hintatasoon, on työllisyysvaikutus pitkällä aikavälillä marginaalinen. BKT:n arvioidaan kasvavan hieman (n. 0.5-1 %) verrattuna aiemman tutkimuksen tuloksiin, mutta muutos on pieni. Aiemmin mainittu investointien kasvu nostaa myös kotimaista kysyntää. Kotimarkkinoiden vahvuuden ja syrjäytysvaikutuksen takia vienti kuitenkin laskee noin 0.5 % aiempia tutkimustuloksia alemmalle tasolle ja vaikutus on pitkäaikainen. TEM:n lisätoimien vaikutus on varovaisen positiivinen, joskin tietyt vaikutukset kuten työllisyyden lisääntyminen jäävät väliaikaisiksi kansantalouden sopeutuessa uuteen, korkeampaan investointien tasoon.

Lindroos ym. (2012) käyttävät TIMES ja VATTAGE -malleja tarkastelemaan uusiutuvan energian lisäämisestä syntyviä vaikutuksia Suomen ilmastopäästöihin ja kansantalouteen. Tutkimuksessa käsitellään kolmea pääkohtaa uusiutuvan energian lisäämisen seurauksena: päästövaikutuksia, työllisyysvaikutuksia sekä myös julkiselle taloudelle kohdistuvia kustannuksia ja kustannustehokkuutta. Arviot kansantaloudellisista ja ilmastovaikutuksista tehdään sekä yksinkertaistetuilla vaikutuskertoimilla että tarkemmilla tasapainomalleilla. Tutkimuksessa tarkastellaan sekä vuoden 2010 kehityksen jatkumista lisämuutoksitta että myös uusia, vuoden 2020 ilmastotavoitteita ja ilmastostrategiaa. Vaikutuskertoimet perustuvat osin tilastotietoon ja osin oletuksiin ja ennusteisiin. Esimerkiksi vaikutuskertoimet päästövähennyksille muodostetaan sen perusteella, mitä polttoaineita uusiutuvilla energianlähteillä odotetaan korvattavan. Työllisyys- ja kansantaloudellisten vaikutusten kertoimiin on käytetty tutkimuskirjallisuutta ja haastatteluja. Mallien perusurat on kalibroitu TEM:n vuoden 2008 pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian mukaan, ottaen huomioon EU:n vastaavat strategiat. Päästöoikeuden hinnoille on oletettu 17-40 euron vaihteluväli. Perusuralla oletetaan oikeuden hinnan nousevan noin 30 euroon vuoteen 2020 mennessä.

Kansantaloudellisia vaikutuksia selittää osin oletus siitä, että uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi tarvittavat investoinnit toteutetaan tavoitteiden mukaan ja ne valmistuvat vuoteen 2020 mennessä. Investointien kansantaloutta piristävä vaikutus kuitenkin lievenee sen myötä, että osa investoinneista koostuu tuonnista, mikä heikentää kansantalouden ulkoista tasapainoa. Metsähäkkeen arvioidut kansantaloudelliset vaikutukset ovat lievästi negatiivisia, BKT:n supistuessa alle 0.1 % perusuran tasosta vuonna 2024. Kustannustason noususta johtuen kuluttajien rahamääräisen hyvinvoinnin arvioidaan jäävän perusurasta matalammalle tasolle jopa pitkällä aikavälillä. Työllisyysvaikutukset ovat samansuuntaiset: työllisyys on pitkällä aikavälillä hyvin lähellä perusuran tasoa, käytännössä samalla tasolla. Tuulivoiman vaikutukset ovat pitkälti samankaltaiset, työllisyysvaikutuksen ollessa kuitenkin lievästi positiivinen, mutta jäädessä pitkällä aikavälillä lievästi perusuran alapuolelle. Tämä johtuu tuulivoiman muuta sähköntuotantoa syrjäyttävästä vaikutuksesta. Liikenteen biopolttoaineiden käytön lisäämisen kansantaloudelliset vaikutukset ovat mittavampia ja käsitellyistä skenaarioista tämä on ainoa, jossa arvioidut BKT-vaikutukset ovat positiivisia. BKT nousee noin 0.1 % perusuran tasoa korkeammaksi vuodesta 2019 eteenpäin. Työllisyyteen muutos vaikuttaa vain marginaalisesti, kehityksen ollessa hyvin pitkälle sama kuin perusuralla. Rahamääräisellä hyvinvoinnilla mitattuna vaikutukset ovat myös positiivisia, BKT:n kasvun ansiosta.

Kun energiauudistusta tarkastellaan kokonaisuutena, kansantaloudelliset vaikutukset jäävät suhteellisen pieniksi. Vuoden 2017 jälkeen BKT kasvaa noin 0.1 % perusuraan verrattuna, kun työllisyysvaikutus on samaa kokoluokkaa, mutta negatiivinen.

Honkatukia, Forsström ja Pursiheimo (2011) arvioivat päästökaupan ja energiaverouudistuksen vaikutuksia Suomen kansantalouteen, kolmannen kauppakauden ajalla (vuodesta 2013 eteenpäin). Mallinnuksen perusuran oletuksina on käytetty aiemman VATT:n ennakoivan tutkimuksen tuloksia, josta saadaan muun muassa BKT:n kasvuvauhti ja työllisten määrän kehitys. Päästökaupan kustannuksiin sisältyvä epävarmuus on huomioitu mallintamalla päästöoikeuden hinnalle kolme eri skenaariota, hinnan ollessa joko 15, 30 tai 45 euroa per hiilidioksiditonni vuonna 2020, ja joko 50, 75 tai 100 euroa vuonna 2030. Ydinenergian mallinnuksessa oletetaan uuden ydinvoimakapasiteetin lisäys vuosina 2020 ja 2025. TIMES-mallia käytetään energijärjestelmän mallintamiseen. Tutkimuksessa TIMES-mallin perusoletuksena on työ- ja elinkeinoministeriön ennuste teollisuustuotannon kehityksestä. Tuotantokustannuksille tärkeä sähkön hinta on ennustettu aiemmin mainituilla kolmella päästöoikeuksien hintaparametrilla. Talousvaikutusten arviointia varten mallinnuksen perusura muodostetaan asettamalla TIMES-malliin päästöoikeuden hinnaksi 30 euroa/tonni vuodelle 2020, olettamalla energiaverotuksen pysyvän vuoden 2010 tasolla ja antamalla mallin ennustaa energijärjestelmän toiminta näillä oletuksilla<sup>24</sup>. Päästökaupalla ei arvioida olevan merkittäviä vaikutuksia kansantalouden kokonaispäästöihin ja päästökauppasektorillekin vaikutukset näyttävät olevan erittäin lieviä. Huomattavasti päästökauppaa suurempi vaikutus onkin oletetulla uudella ydinvoimakapasiteetilla, joka alentaa vuoden 2020 päästöjä merkittävästi vuoteen 2010 verrattuna.

Taloudellisten vaikutusten arviointiin mallissa määritellään ensin vertailuskenaario, johon sisältyvät Kioton sopimuksen kriteerien noudattaminen sekä BKT:n noin kahden prosentin vuosikasvu. Tähän perusuraan verrattuna tutkimuksessa todetaan päästökaupan ja energiaverouudistuksen vaikuttavan negatiivisesti kansantuotteeseen, laskien BKT:n tasoa noin 0.8-1 % vuosina 2013–2025.

Pelkän päästökaupan vaikutukset arvioidaan hieman suuremmiksi, BKT:n supistuessa n. 0.8-1.4 % vuosina 2012–2025. Huomattava piirre näissä arvioissa on se, että päästöoikeuden oletetulla hinnalla ei ole suurta merkitystä BKT-vaikutuksiin, negatiiviset vaikutukset ovat kaikilla hinnoilla lähes tulkoon samansuuruisia. Työllisyysvaikutukset ovat kohtuullisen lieviä. Päästökauppa ja energiaverouudistus nostavat kotimaan hintatasoa, mikä aiheuttaa työpanoksen kysynnän laskua lyhyellä aikavälillä. VATTAGE-mallin dynamiikasta johtuen, työmarkkinat sopeutuvat tähän hintatasomuutokseen reaali-palkkojen kautta, ja vuoteen 2020 mennessä markkinat ovat sopeutuneet. Negatiiviset lyhyen aikavälin työllisyysvaikutukset ajoittuvat mallinnuksen alkuvuosille ja ovat noin 1 %. Yksityinen kulutus reagoi päästökauppaan ja energiaverouudistukseen kohtuullisen voimakkaasti hintatason, asumiskustannusten ja palveluiden hinnannousun seurauksena. Yksityisen kulutuksen arvioidaan jäävän noin 2 % perusuran tasosta vuoteen 2020 mennessä, joten tuloksena on kysynnän heikkeneminen päästökaupan ja energiaverotuksen seurauksena. Kuten BKT:n kohdalla, myös kysyntävaikutukset pysyvät likipitäen samoina riippumatta oletetuista päästöoikeuksien hinnoista. Kuluttajien hyvinvointi siis laskee hintatason nousun takia, aiheuttaen hyvinvointitappiota. Hiilidioksidipäästöt, jotka on mallinnettu TIMES-mallilla tulevat tutkimuksen mukaan laskemaan huomattavasti vuoteen 2020 mennessä. Päästöt jakautuvat kuitenkin epätasaisesti, päästökauppasektorin vähentäessä hiilidioksidipäästöjä jopa tavoitteita enemmän, kun sen ulkopuolinen sektori ei mallinnuksessa tule täyttämään asetettuja päästövähennystavoitteita.

VATTAGE-mallia on myös käytetty arvioimaan eri toimialojen taloudellinen tilanne ilmastopoliittikan muutosten seurauksena. Arvonlisällä mitattuna suurimmat vaikutukset näkyvät energiantuo-

---

<sup>24</sup> Tällä tavalla mallia ajetaan takaperoisesti: ensin määritellään tietyt parametrit tulevaisuudessa (päästöoikeuden hinta, sähkön hinta, ym.) ja ajamalla malli, saadaan energijärjestelmälle kasvu-ura, jolla määritellyt tavoitteet toteutuvat.

tannossa, jonka arvonlisä laskee huomattavasti vuoteen 2025 mennessä, supistuen jopa noin 12 % perusuraan verrattuna, ja muussa energiaintensiivisessä teollisuudessa, jonka kohdalla supistuminen on noin 2 %. Palvelutoimialoilla ja muun teollisuuden toimialoilla vaikutukset ovat varsin maltillisia. Pitkän aikavälin toimialoitteiset työllisyysvaikutukset ovat myös suhteellisen pieniä, sillä ilmastopolitiikan oletetaan synnyttävän uusia työpaikkoja muun muassa energia-alalle, mikä kompensoi työpanoksen kysynnän heikkenemistä muilla toimialoilla. Julkistalouteen ilmastopolitiikka ja päästökauppa vaikuttavat verotuloja heikentävästi, kasvattaen julkisen sektorin vajetta. Päästöoikeuksien oletetulla hinnalla on myös vajeen tasoon selvä vaikutus. Arvioitu vaje on noin 900 miljoonaa euroa päästöoikeuden hinnalla 15 euroa/tonni, ja 1.4 miljardia euroa hinnalla 45 euroa/tonni.

Ekholm, Lehtilä ja Savolainen (2008) käyttävät TIMES-mallia, ja tutkivat, miten EU:n 20-20-20 ilmastotavoitteet vuodelle 2020 vaikuttavat Suomen energiajärjestelmään, energian kysyntään ja polttoaineiden ja energiatyyppien käyttöön vuosina 2010-2030. Osana tutkimusta arvioidaan myös päästötavoitteiden suoria kustannuksia eri oletuksilla tulevasta päästöoikeuksien hintatasosta. Ilmastotavoitteiden vaikutuksia arvioidaan myös energiaintensiivisille vientisektoreille. TIMES-laskentamallin lisäksi tutkimuksessa käytetään globaalia ETSAP-TIAM -mallia EU-tason vaikutusten arviointiin. Käytetyt perusoletukset pohjautuvat työ- ja elinkeinoministeriöstä saatuihin yksityiskohtaisiin arvioihin. Päästökaupan kehityksen huomioimista varten mallissa käytetään päästöoikeuden hintoina 20–50 euroa (10 euron luokkavälillä) vuosille 2016–2030. Huomattavaa on se, että päästöoikeuden hinnaksi vuonna 2015 on oletettu 20 euroa, joka siis on noin kaksinkertainen hinta nykyiseen markkinahintaan nähden. Päästövähennyksiin keskeisimmin vaikuttaa uuden ydinvoimakapasiteetin toimitus ja käyttöönotto, mikä tässä mallinnuksessa tapahtuisi vuonna 2015. Päästöoikeuksien matalilla hinnoilla (20–30 euroa) Suomi toimisi tulevaisuudessa oikeuksien netto-ostajana, kun korkeilla hinnoilla tarkasteluajankohdan loppupuolella Suomen ja varsinkin teollisuuden tulisi muuntaa tuotantoteknologiaansa niin, että ne pystyisivät myymään päästöoikeuksia. Päästöoikeuksien hinnan todetaan myös vaikuttavan toimialoihin eri voimakkuudella, hintavaikutuksen ollessa voimakkain erillisessä sähköntuotannossa tavallisilla polttoaineilla. Jos päästövähennystavoitteet toteutetaan täysimääräisinä, Suomi tulee olemaan päästöoikeuksien netto-ostaja koko tarkasteluajanjaksolla 2010–2030. Suorat kustannukset päästövähennyksille on niin ikään laskettu eri päästöoikeuksien (odotetuilla) hinnoilla, ja vaihtelevat noin 300 miljoonasta eurosta vuonna 2015 yli 1.4 miljardiin euroon vuonna 2030, kun päästöoikeuden hinnaksi oletetaan 50 euroa ja vähennystavoitteeksi kirein mahdollinen. Kustannukset kohdistuvat sekä suoraan säädellyille yrityksille että sähkön markkinahinnan välityksellä myös sähköä paljon käyttäville markkinaosapuolille, kuten teollisuudelle.

### 5.1.2 ETLA:n makrotaloudellinen malli

Rantala (2012) käyttää ETLA:ssa kehitettyä makrotaloudellista mallia (ks. Rantala 2007) arvioimaan EU:n ilmastopolitiikan pitkän aikavälin vaikutuksia Suomelle. Malli on rakenteeltaan huomattavasti pelkistetympi kuin aiemmin läpikäyty VATTAGE- ja TIMES-mallit, jotka kumpikin sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen sekä Suomen kansantaloudesta että energiajärjestelmästä. Tutkimuksessa käsitellään ilmastopolitiikan vaikutuksia BKT:hen, työllisyyteen ja yritysten kilpailukykyyn. Mallinnuksessa otetaan myös huomioon päästökauppajärjestelmän kolmannen vaiheen muutos siirtyä päästöoikeuksien ilmaisjaosta enenevin osin oikeuksien huutokauppaan vapaille markkinoilla. Kuten muissakin malleissa, myös tässä tarkastellaan vaikutuksia verrattuna perusuraan, jossa kansantalous kehittyy aiemman ennusteen mukaan. Perusuran oletukset muun muassa BKT:n, yksityisen kysynnän ja tuottavuuden kasvusta perustuvat ETLA:n suhdanne-ennusteeseen. Erona aiemmin käsiteltyihin tutkimuksiin, perusuran oletuksiin kuuluu myös se, ettei päästökaup-

pasektorille aseteta ollenkaan päästörajoituksia vuodesta 2013 eteenpäin. Tämä vertailuskenaario tuottaa luonnollisesti ilmastopolitiikalle ja päästökaupalle suuren vaikutuksen, sillä vertailukohtana on tilanne, jossa ilmastopolitiikkaa ei harjoiteta lainkaan vuodesta 2013 alkaen (päästöoikeuden hinta putoaa nolnaan). Toisena skenaariona oletetaan päästöoikeuden hinnan pysyvän nykyisellä tasollaan tulevaisuudessakin, ja kolmannessa skenaariossa päästöoikeuden hinnan oletetaan nousevan 8 eurosta 18 euroon vuodesta 2013 vuoteen 2020.

Päästökaupan arvioitu vaikutus Suomen bruttokansantuotteeseen on skenaariosta riippuen noin -1.1–1.8 %, ja arvioitu vaikutus työpanoksen kysyntään on noin -1-1.7 %. Suomen arvioidaan kärsivän suuremmista negatiivisista taloudellisista vaikutuksista kuin EU:ssa keskimäärin, johtuen Suomen kansantalouden vientiriippuvuudesta, kustannusten (varsinkin sähkön hinnan) noususta sekä kansantaloutemme energiaintensiivisistä toimialarakenteesta. Mallilla tehdään myös laskelmia vuoteen 2030 asti olettaen, että päästökauppasektorin päästötavoitteita kiristetään vuodesta 2021 lähtien. Mallilla simuloidaan päästöoikeuden hinta, joka johtaa haluttuihin päästötavoitteisiin ja tarkastellaan sen taloudellisia vaikutuksia. Simuloinnin perusteella päästöoikeuden hinta nousee tasaisesti vuoteen 2030 mennessä, hinnan ollessa noin 50 euroa/tonni vuonna 2030. Näillä oletuksilla kiristyvät päästötavoitteet leikkaavat suomen BKT:n kasvusta vuonna 2030 hieman alle puoli prosenttiyksikköä vuodessa.

### 5.1.3 GTAP ja muut malliperheet, monen maan tarkastelut

Niemi ja Honkatukia (2011) käyttävät yleisen tasapainon GTAP-mallia<sup>25</sup> arvioidessaan päästökaupan vaikutuksia pohjoismaiselle energiaintensiiviselle teollisuudelle. Analyysi keskittyy päästökaupan aiheuttamaan kustannusten nousuun ja sen vaikutuksiin toimialojen kilpailukykyyn. Mallilla tarkastellaan päästökaupan vaikutuksia vuoteen 2025 asti. Päästökaupan ja päästötavoitteiden taso otetaan huomioon määrittelemällä kolme eri skenaariota, joissa päästövähennykset toteutetaan eritasoisina joko tuotantotukien kanssa tai ilman. Energiatehokkuudelle määritellään erikseen skenaariot, joissa energiätehokkuus kasvaa tai pysyy perusuran tasolla. Perusuran oletukset otetaan toteutuneina kasvuprosentteina vuoteen 2009 asti, josta eteenpäin käytetään IMF:n ja EUROSTAT:n väestöennusteita ja BKT:n kasvuennustetta. Esimerkiksi Suomen keskimääräinen BKT:n kasvuprosentti vuosina 2010–2020 on noin 3.3 % vuodessa. Tutkimuksessa todetaan globaalin talouskasvun olevan tärkein päästöjen vähennyksen hintaan vaikuttava tekijä ja siksi malleilla arvioidaan myös finanssikriisin aiheuttaman kysyntäshokin vaikutus päästöoikeuden hintaan. Mikäli kriisiä ei olisi tapahtunut ja maailmantalous olisi jatkanut historiallisella kasvu-urallaan, päästöoikeuden hinta olisi noin kaksinkertainen vuoden 2011 tasoon verrattuna (noin 30 euroa/tonni). Taloudelliset vaikutukset arvioidaan pohjoismaiden tasolla, joten Suomen BKT:n kehitystä ei arvioida erikseen. Päästökaupan ja ilmastotavoitteiden BKT-vaikutukset Pohjoismaille ovat pääosin negatiivisia, ja vaikutukset kasvavat tiukemmillä ilmastotavoitteilla.

Honkatukia ym. (2012) tarkastelevat GTAP -mallilla kauppapolitiikan ja ilmastopolitiikan yhteisvaikutuksia rakentamalla neljä vaihtoehtoista skenaariota näiden yhdistelmistä. Analyysissa keskitytään tarkastelemaan kauppaja- ja ilmastopoliittisten toimien vaikutusta erityisesti Suomen vientisektorille. Ilmastopoliittisena muutoksena tarkastellaan globaalin ja sitovan ilmastotavoitteen taloudellisia vaikutuksia, mikäli ulkomaankauppaa vapautetaan tai vaihtoehtoisesti tuontitariffeja nostetaan. Vaihtoehtoisessa skenaariossa globaalia ilmastopolitiikkaa ei toteuteta, ja ainoaksi sitovaksi politiikaksi jäävät EU:n vuonna 2012 voimassa olleet ilmastotavoitteet, jotka johtaisivat noin

<sup>25</sup> Global Trade Analysis Project.

1 %:n hiilidioksidipäästöjen vähennyksiin EU:ssa<sup>26</sup>. VATTAGE-mallin ennusteita käytetään GTAP-mallin perusuran luomisessa Suomen kansantaloudelle ja muille maille perusuralla käytetään IMF:n, Maailmanpankin ja ILO:n ennusteita. Globaalin ja sitovan päästötavoitteen asettaminen johtaa merkittäviin positiivisiin BKT-vaikutuksiin, asukaskohtaisen BKT:n ollessa kauppapolitiikasta riippumatta Suomessa noin 1-2 % korkeampi vuonna 2020 kuin perusuralla. Mikäli taas ilmastopolitiikka pysyy aluetasoisena, so. globaalia sitovaa päästötavoitetta ei aseteta, vaikutukset ovat huomattavasti heikompia, ja tiukan kauppapolitiikan vallitessa asukaskohtaisen BKT:n arvioidaan laskevan noin 1 % vuonna 2020 perusuraan verrattuna. Skenaariossa, jossa ilmastopolitiikka on alueellista, EU:n kilpailukyky on selvästi heikompi verrattuna globaalin ilmastopolitiikan skenaarioon.

Honkatukia ja Forsström (2008) käyttävät VATTAGE-mallia yhdessä POLA energiajärjestelmämallin kanssa tarkastellessaan EU:n vuoteen 2020 ulottuvien päästövähennystavoitteiden kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Mallinnukseen sisältyy päästökaupan päästövähennystavoitteet säädellylle sektorille sekä myös tavoitteet uusiutuvan energian käytön lisäämisestä ja energiatehokkuuden parantamisesta. Perusuralla oletetaan päästöoikeuden hinnan olevan perusskenaariossa 25 euroa vuonna 2020 ja nousevan 30 euroon ilmastopolitiikan kiristämisen seurauksena. Tässä tarkastelussa oletetaan ydinvoimakapasiteetin alasajo pitkällä tähtäimellä ja kapasiteetin korvaaminen hiililauhde- ja tuulivoimalla. Tavoitteiden saavuttamisen suoriksi kustannuksiksi arvioidaan mallilla noin 1 miljardia euroa vuonna 2015 ja 1.5 miljardia euroa vuonna 2020. Vuodesta 2020 eteenpäin kustannukset pienenevät, vaihdellen vuositasolla noin 500 miljoonasta eurosta noin 900 miljoonaan euroon. Tavoitteiden kansantaloudellisia vaikutuksia on arvioitu käyttäen kolmea vaiheittain tiukentuvaa skenaariota. Ensimmäisessä vain päästökaupasektorin päästöjä säädellään, toisessa otetaan huomioon myös uusiutuvan energian tavoitteet ja kolmannessa edellisten lisäksi huomioidaan myös energian loppukulutuksen kokonaistavoitteet. Skenaariotarkasteluja varten päästöoikeuden hinnaksi on oletettu joko 30 euroa tai 45 euroa vuonna 2020.

Ilmastotavoitteiden ja päästökaupan vaikutus BKT:hen on negatiivinen, ja vaikutusten suuruus riippuu oletetusta päästöoikeuden hinnasta. Vuosina 2015–2025 tavoitteiden täysimääräinen toteuttaminen supistaa BKT:ta noin -1-1.2 %, päästöoikeuden hinnan ollessa 30 euroa. Hinnan ollessa 45 euroa, on BKT-vaikutus noin -1.4 %. Työllisyys vähenee lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä noin -0.5 %. Työmarkkinasopeutumisen arvioidaan toteutuvan vuoden 2020 tienoilla, jolloin reaali-palkat ovat sopeutuneet uuteen, korkeampaan hintatasoon ja työllisyys palaa perusuralle. Ilmastotavoitteiden ja päästökaupan vaikutuksia on myös tarkasteltu tilanteissa, joissa työmarkkinoiden sopeutuminen on joko nopeampaa tai hitaampaa kuin perusmallissa. Nopealla sopeutumisella ilmastopolitiikan työllisyysvaikutukset ovat noin puolet lievempiä kuin perusoletuksilla, kun taas hitaalla sopeutumisella vaikutukset ovat hyvin pitkäkestoisia ja työllisyys laskee noin -0.7 % perusurasta, eikä perusuran tasolle päästä edes vuonna 2025.

Koljonen ym. (2009) tarkastelevat erinäisillä laskennallisilla malleilla EU:n 20–20–20 ilmastotavoitteiden vaikutuksia Suomen energiaintensiivisen teollisuuden kilpailukykyyn. Tutkimuksessa mallinnetaan erikseen sekä globaali että alueellinen kehitys, sähkön hinta ja fossiilisten ja biopolttoaineiden kysyntä uusien päästötavoitteiden seurauksena. Raportissa ei vedetä suoria johtopäätöksiä teollisuuden kilpailukykyistä tai ilmastotavoitteiden asettamasta ylimääräisestä kustannuspaineesta, mutta avainseikkana mainitaan sähkön hinnan tuleva kehitys. Riippuen biopolttoaineiden hyödyntämisestä, sähkön hinta saattaa laskea, mutta se on epävarmaa. Jos ilmastota-

---

<sup>26</sup> nk. EU 20-20-20 -politiikka, hiilidioksidipäästöjen vähennystavoite on 20 % vuoden 1990 tasosta vuonna 2020.

voitteet nostavat sähkön hintaa, siitä muodostuu rasite energiantensiiviselle teollisuudelle, etenkin toimialoille joissa tuotantoteknologiaa ei voida helposti sopeuttaa. Biopolttoaineiden ja bioenergian kysynnän arvioidaan nousevan tulevaisuudessa. Suomelle edellä mainittu kehitys luo mahdollisuuksia talouskasvuun, sillä kehityksen ennakoivaan luovan uusia työpaikkoja.

## 5.2 Ekonometrisen arvioinnin tulokset (ex post-arviot)

Tässä osiossa läpikäyty ekonometrinen tutkimus perustuu aineistoon havaitusta käyttäytymisestä. Taulukkoon 2 on koottu tässä raportissa läpikäytyt, päästökaupan ja ilmastopolitiikan vaikutuksia arvioineet viimeaikaiset tutkimukset. Kirjallisuuden seulonnassa painotetaan varsin tuoreita tutkimuksia, sillä niissä usein on käytössä havaintoaineistoa pitkältä ajanjaksolta, mikä parantaa vaikutusarvioiden tarkkuutta. Tutkimuksissa on hyödynnetty erityyppisiä ekonometrisiä malleja ja kilpailukyyn indikaattoreita, mutta tavoitteena kaikissa taulukoiduissa tutkimuksissa on ollut selvittää ilmastopolitiikan ja päästökaupan vaikutus yritysten kilpailukyyn.

Kuten laskennallisilla malleilla tehtyihin vaikutusarvioihin, myös ekonometrisiin tutkimuksiin liittyy tärkeitä taustaoletuksia, jotka vaikuttavat arvioinnin tarkkuuteen. Arvioissa on muun muassa oletettu, että sääntelyn ulkopuoliset havaintoyksiköt kuuluvat saman politiikan piiriin, vaikka todellisuudessa myös ei-päästökaupasektorin päästövähennystavoitteet ja esimerkiksi energiaverotus saattavat erota toisistaan jopa tietyn maan sisällä. Päästökaupalla ja ilmastopolitiikalla saattaa myös suorien kilpailukykyvaikutusten lisäksi olla epäsuora vaikutus politiikan ulkopuolisiin yrityksiin, mikä saattaa välittyä esimerkiksi sähkön hintojen kautta. Katsauksen tutkimukset keskittyvät arvioimaan vain suoria vaikutuksia yritysten kilpailukyyn, mutta epäsuorat vaikutukset heikentävät arvioiden tarkkuutta.

Taulukosta 2 selviää tutkimuksessa käytetyn aineiston ajankohta, tarkasteltava maa/maat sekä arvioidut vaikutukset tärkeimpiin kilpailukyyn osatekijöihin. Kilpailukyyn indikaattoreina on käytetty vaikutuksia yritysten liikevaihtoon, liikevoittoon, työpanoksen kysyntään sekä innovaatioihin tai kokonaistuottavuuteen (TFP, "total factor productivity"). Nämä kolme tekijää antavat hyvän yleiskuvan siitä, millaisia politiikan vaikutukset ovat olleet ja miten yritysten kilpailullinen asema on muuttunut politiikan seurauksena.



Taulukko 2: Ekonometrisen päästökaupan ja ilmastopolitiikan arvioinnin tulosten yhteenveto

Tutkimus	Politiikka-muutos	Maat	Mene-telmä (1)	Ilmastopäästöt	Kilpailukyyn indikaattorit			Muut
					Liikevaihto/-voitto	Työpanoksen kysyntä	Innovaatiot/TFP	
Wagner ym. (2014)	EU ETS 2000–2010	Ranska	DID, matching	Toimipaikkata-so: -20 % Yritystaso: -10 %	Ei mukana	Toimipaikkata-so: -7 % Yritystaso: Ei vaikutuksia		Ei vaikutuksia työpanokseen yritystasolla
Martin ym. (2014b)	CO2 -verotus 1999–2004	Iso-Britannia	2SLS	Negatiivinen vaikutus (2)	Ei vaikutuksia	Ei vaikutuksia	Ei vaikutuksia	
Petrick ja Wagner (2014)	EU ETS 1995–2010	Saksa	DID, matching	II Kausi: -26-28 %	II Kausi: +4-7 %	Ei vaikutuksia		Vienti: Positiivinen vaikutus
Abrell ym. (2011)	EU ETS 2005–2011	EU-maat	DID, matching	II Kausi: -3.6 % (3)	Ei vaikutuksia	Ei vaikutuksia	Ei vaikutuksia	Katetuotto: Ei vaikutuksia
Calel ja Dechezleprêtre (2015)	EU ETS 2000–2009	22 EU-maata + USA	DID				35 %:n lisäys matalahiili-innovaatioissa	
Rubashkina ym. (2015)	EU ETS/PACE (5) 1997–2009	17 EU-maata	2SLS			Lyhyt AV: Negatiivinen Pitkä AV: Ei vaikutuksia	Positiivinen	
Chan ym. (2013)	EU ETS 2005–2009	10 EU-maata (6)	DID		II Kausi: +30 %	Ei vaikutuksia		
Jaraité ja Di Maria (2014)	EU ETS 2003–2010	Latvia	DID, Matching	Ei vaikutuksia	Ei vaikutuksia			
Anger ja Oberndorfer (2008)	EU ETS 2005–2007	Saksa	Aikasarja		Ei vaikutuksia	Ei vaikutuksia		Vain ensimmäinen kausi
Yu (2011)	EU ETS 2004–2006	Ruotsi	DID, matching		Negatiivinen			Kannattavuus: Negatiivinen vaikutus
Branger ym. (2013)	EU ETS 1999–2012	EU-maat	Aikasarja					Tuonti ja vienti: Ei vaikutuksia
Commins ym. (2011)	EU ETS 1996–2007	EU-maat			Ei vaikutuksia (7)	Ei vaikutuksia	Negatiivinen	Suppea analyysi

(1) DID on erotukset-erotuksissa menetelmä, kun taas 2SLS tarkoittaa instrumenttimuuttujamenetelmää.

(2) Tutkimuksessa arvioidaan vaikutukset energiantensiteettiin (energian käytön suhde tuotannon määrään).

(3) Tutkimuksessa arvioidaan päästökaupan vaikutukset hiilidioksidipäästöjen kasvunopeuteen. Kaupan piirissä oleville yrityksille päästöjen kasvu on ollut 3.6 % matalampi kuin kaupan ulkopuolisille.

(4) Tutkivat päästökaupan ja ilmastopolitiikan vaikutuksia matalahiili-innovaatioihin.

(5) Pollution abatement and control expenditures (PACE). Rahamääräinen indikaattori, joka mittaa ilmastopäästöjen vähentämiseen suunnattuja investointeja ja menoja.

(6) Tutkimuksessa tarkastellaan vaikutuksia sähköntuottajille ja sementti- ja terästeollisuuden toimialoille.

(7) Vaikutukset arvioidaan käyttöpääoman tuottoasteeseen.

Kansainvälinen ekonometrinen tutkimuskirjallisuus viittaa päästökaupan ja ilmastopolitiikan vaikuttaneen yritysten kilpailukykyyn vain hyvin lievästi. Kuten taulukon 2 korostetuista sarakkeista ilmenee, suurimmassa osassa tutkimuksia päästökaupalla tai ilmastopolitiikalla ei havaita olevan merkittäviä vaikutuksia tarkasteltujen yritysten työllisyyteen tai tuotannollisiin indikaattoreihin. Ilmastopäästöihin päästökaupalla havaitaan olleen haluttu, päästöjä vähentävä vaikutus. Päästövähennykset ajoittuivat pääosin kaupan toiselle kaudelle, mikä lienee seurausta kaupan ensimmäisellä kaudella ilmenneistä ongelmista päästöoikeuksien ilmaisjaossa ja tulevien päästöjen ennakkoinnissa. Ilmastopolitiikalla näyttää olleen siis haluttuja vaikutuksia. Ohjausvaikutusten toteutumista tukevat myös Calelin ja Dechezleprêren (2015) tulokset ilmastopolitiikan positiivisesta vaikutuksesta matlahiili-innovaatioihin. Muut tutkimukset antavat ristiriitaista tietoa päästökaupan vaikutuksista innovaatioihin ja teknologiaan.

Seuraavassa osiossa käydään läpi taulukon 2 tutkimukset seikkaperäisesti.

### 5.2.1 Ekonometriset, toimipaikka- ja yritystason aineistolla tehdyt ex post -tutkimukset

Wagner ym. (2014) käsittelevät tutkimuksessaan päästökaupan kausaalivaikutuksia Ranskassa. Heillä on käytössään yksityiskohtainen, toimipaikkatason havaintoaineisto, joka kattaa vuodet 2000–2010. Aineiston avulla arvioidaan päästökaupan vaikutukset hiilidioksidipäästöihin, työpanoksen kysyntään, sekä työntekijäkohtaisiin hiilidioksidipäästöihin. Vaikutukset arvioidaan sekä toimipaikkakohtaisesti että yritystasolla. Tutkimuksessa päästökaupan vertailuryhmä muodostetaan poimimalla aineistosta mahdollisimman lähellä toisiaan olevat toimipaikat ja yritykset otettaessa huomioon tietyt taustamuuttajat. Usein näihin luetaan toimialaa, kokoa ja liikevaihtoa kuvaavat indikaattorit (nk. kovariaatit)<sup>27</sup>. Tutkimuksessa tärkeinä kriteereinä verrokkiryhmän muodostukselle käytetään työntekijäkohtaisia hiilidioksidipäästöjä ja toimialakoodia. Toimilaitostasolla päästökaupan arvioidaan vaikuttaneen tilastollisesti merkitsevästi päästöihin vasta toisella kauppakaudella. Ilmastopäästöt alenivat säädelyillä toimipaikoilla jopa noin 20 % verrattuna päästökaupan ulkopuolisiin toimipaikkoihin. Työpanoksen kysynnän arvioidaan toimipaikkatasolla vähenneen noin 2 % ennen päästökaupan alkua (2000–2004), sekä noin 7 % päästökaupan toisella kaudella verrattuna ulkopuolisiin toimipaikkoihin, kummankin vaikutuksen ollessa tilastollisesti merkitsevä. Ensimmäisellä kaudella vastaavia vaikutuksia ei havaita. Työntekijäkohtaiselle päästöintensiteetille<sup>28</sup> päästökaupalla arvioidaan olleen tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia vain vuodesta 2008 eteenpäin, jolloin päästöintensiteetti säädelyillä yrityksillä väheni 8-12 % (Wagner ym., 2014, s. 10).

Mikroanalyysin tueksi päästökaupan vaikutukset arvioidaan myös yritystasolla. Analyysi ei ole täysin ongelmaton, sillä päästökaupan valikoitumiskriteerit asetettiin toimipaikkatasolla, joten aineistoon voi kuulua yrityksiä, joilla on sekä päästökaupan piirissä olevia että sen ulkopuolella olevia toimipaikkoja. Yritystason analyysissä tämäntyyppinen yritys kuitenkin identifioidaan päästökaupaan kuuluvaksi, mikä heikentää arvioinnin tarkkuutta. Ilmastopäästöille saadaan samansuuntaiset tulokset kuin toimipaikkatasolla. Yrityskohtaiset päästövähennykset ovat olleet noin 10 % suurempia verrattuna päästökaupan ulkopuolisiin yrityksiin, ja tilastollisesti merkitsevä vaikutus havaitaan vain päästökaupan toisella kaudella. Työpanoksen kysyntään tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia ei havaita. Täten toimipaikkatason negatiiviset työllisyysvaikutukset ovat mahdollisesti olleet yri-

<sup>27</sup> eng. *Propensity score matching*. Yksinkertaistaen menetelmällä pyritään etsimään jokaiselle kaupan piirissä olevalle yritykselle mahdollisimman samankaltainen verrokki kaupan ulkopuolisista toimijoista, ottaen huomioon tietyt taustamuuttajat (kuten liikevaihto, henkilöstön määrä ja toimiala). Mikäli hyvä verrokki löydetään, voidaan ekonometrisellä mallilla arvioida päästökaupan vaikutus suhteellisen tarkasti.

<sup>28</sup> Hiilidioksidipäästöt/työntekijä.

tyksen sisäistä työpanoksen allokointia, eivätkä siten viittaa kilpailukyvyyn heikkenemiseen. Tutkimuksessa tarkastellaan myös yrityksen sisäisten päästövähennysten muutoksia (nk. sisäinen hiilivuoto). Tulosten perusteella hiilivuotoa ei ole tapahtunut yrityksen sisällä, eli saastuttavaa toimintaa ei ole siirretty saman yrityksen sisällä toimipaikasta toiseen. Kaikkiaan tulosten perusteella päästökaupan vaikutukset yritysten kilpailukykyyn ovat olleet hyvin lieviä.

Martin ym. (2014b) käsittelevät tutkimuksessaan Ison-Britannian ilmastopolitiikan vaikutuksia valmistusteollisuuden yritysten energiaintensiteettiin, sähkön käyttöön sekä kilpailukyvyyn indikaattoreihin, kuten liikevaihtoon, työpanoksen kysyntään sekä markkinoilta poistumisen todennäköisyyteen. Tutkimuksen aineisto kattaa vuodet 1999–2004. Päästökaupan sijaan tutkimuksessa tarkastellaan suoran hiilidioksidiveron vaikutuksia edellä mainittuihin muuttujiin. Kirjoittajat hyödyntävät Ison-Britannian veromuutokseen sisältyvää kaksitasoista järjestelmää, jossa yritykset voivat valita kumpaan järjestelmään ne osallistuvat. Vaihtoehtoina on joko sitoutua maksamaan päästöistä täysimääräinen vero tai hyväksyä sitova päästövähennystavoite, mikä oikeuttaa huomattavaan veronalennukseen. Tätä valintaa hyödynnetään niin kutsuttuna instrumenttimuuttujana<sup>29</sup> arvioitaessa verotuksen vaikutusta. Vertailuista verrokkiryhmän ja koeryhmän välillä selviää, että koeryhmä eroaa tietyiltä ominaisuuksiltaan verrokkiryhmästä. Koeryhmän yritykset ovat keskimäärin vanhempia, liikevaihdoltaan suurempia ja energiaintensiivisempiä kuin vertailuryhmän yritykset (Martin ym., 2014b, s. 7). Tätä valikoitumisharhaa lievennetään käyttämällä instrumenttimuuttujamenetelmää. Tuloksina saadaan, että suoran päästöveron maksaneet yritykset vähensivät energiaintensiteettiään tilastollisesti merkitsevästi enemmän verrattuna päästötavoitteeseen sitoutuneeseen ryhmään, ja samansuuntainen tulos saatiin myös sähkön käytölle. Veron vaikutus kokonaistuottavuuteen arvioidaan muodostamalla jokaiselle havaintoyksikölle Solow- residuaali<sup>30</sup>, joka kuvaa teknologian kehitystä. Hiilidioksidiverotuksella ei mallien tulosten perusteella ole tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia kokonaistuottavuuteen.

Kiinnostavimmat tulokset ovat verotuksen vaikutus työpanoksen kysyntään sekä liikevaihtoon. Mallien perusteella verotuksella ei havaita olevan tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia kumpaankaan muuttajaan. Tutkimuksessa ei siis havaita ilmastopolitiikan vaikuttaneen yritysten kilpailukykyyn.

Petrick ja Wagner (2014) tutkivat päästökaupan vaikutuksia Saksan teollisuusyrityksiin käyttäen aineistoa Saksan teollisuudesta vuosilta 1995–2010. Päästökaupan vaikutuksia arvioidaan yritysten hiilidioksidipäästöihin, työpanoksen kysyntään, liikevaihtoon ja vientiin. Myös tässä tutkimuksessa huomataan selviä eroja verrokkiryhmän ja koeryhmän välillä. Selvimät erot ovat havaittavissa hiilidioksidi-intensiteetissä<sup>31</sup> ja yrityksen kokoa kuvaavissa indikaattoreissa, kuten työpanoksen kysynnässä, liikevaihdossa ja viennissä. Tuloksissa ei havaita päästökaupan aiheuttaneen tilastollisesti merkitseviä päästövähennyksiä päästökaupan ensimmäisellä kaudella, mutta toisella kaudella arvioidut päästövähennykset ovat huomattavia ja tilastollisesti merkitseviä. Tulokset eivät ole yllättäviä, sillä päästökaupan ensimmäisellä kaudella päästöoikeuksia oli jaettu suhteessa todennettuihin

---

<sup>29</sup> ks. Angrist ja Pischke (2009).

<sup>30</sup> Taloustieteellisen kasvuteorian termi, joka kuvaa kokonaistuottavuutta. Yksinkertaistettuna termin voi selittää vaikkapa näin: oletetaan yritykselle tietty tuotantofunktio, jonka argumentteina ovat panoskäyttö (työvoima, pääoma sekä väliuotekäyttö) sekä vakiotermi A, joka kuvaa kokonaistuottavuutta. Kasvulaskennan keinoin tämänyyppisestä tuotantofunktiosta voidaan johtaa talouskasvun komponentit, joihin kuuluu termi A kehitys yli ajan. Tämä kuvaa kokonaistuottavuuden kehitystä, ts. talouskasvua joka ei johdu pääoman kasautumisesta tai työpanoksen kasvusta.

<sup>31</sup> Suhdeluku hiilidioksidipäästöt/liikevaihto, kuvaa karkeasti tuotannon "likaisuutta", eli sitä kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä tuotetaan tiettyä määrää liikevaihtoa kohti (tässä 1000 euroa).

päästöihin huomattavasti enemmän kuin olisi tarvittu, eikä päästökauppa purrut kun vasta seuraavalla kaudella. Samansuuntaisia tuloksia saadaan yritysten hiilidioksidi-intensiteetille. Ensimmäisellä kaudella tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia ei havaita, mutta toisella kaudella päästökaupan piirissä olevat yritykset ovat vähentäneet intensiteettiään huomattavasti nopeammin kuin kaupan ulkopuolella olevat yritykset.

Tilastollisesti merkitseviä työllisyysvaikutuksia ei kummallakaan kauppakaudella havaita. Kaupan ensimmäisellä kaudella vaikutuksia liikevaihtoon ei havaita mutta toisella kaudella vaikutukset ovat positiivisia ja tilastollisesti merkitseviä. Tämä siis viittaa siihen, että päästökaupan piirissä olevat yritykset ovat kasvattaneet enemmän liikevaihtoaan toisen kauden aikana verrattuna kaupan ulkopuolisiin yrityksiin<sup>32</sup>. Selvittääkseen päästökaupan mahdolliset haitalliset vaikutukset yritysten kilpailukykyyn globaaleilla markkinoilla, tutkijat arvioivat myös vaikutukset yritystason vientiin. Vaikutukset ovat joko positiivisia ja tilastollisesti merkitseviä, tai sitten tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia vientiin ei havaita. Tuloksia voidaan tulkita niin, että päästökauppa ei vaikuttanut haitallisesti säädeltyjen yritysten kilpailukykyyn.

Abrell ym. (2011) tutkivat yritystasoisella paneeliaineistolla päästökaupan vaikutuksia säädeltyihin yrityksiin käyttäen AMADEUS-tietokantaa, johon kuuluu hyvin suuri osa Euroopan teollisuusyrityksistä. Tutkimuksen aineisto käsittää vuodet 2005–2011. Kaupan piiriin kuuluville yrityksille muodostetaan verrokkiryhmä samalla menetelmällä kuin aiemmissa tutkimuksissa. Kirjoittajat tarkastelevat päästökaupan vaikutuksia kummallakin kauppakaudella säänneltyjen yritysten päästöihin, katetuottoon, työpanoksen kysyntään sekä tuotettuun arvonlisään. Päästökaupan todetaan johtaneen selviin, tilastollisesti merkitseviin päästövähennyksiin, ja otettaessa huomioon muuttujat, jotka kuvaavat muun muassa yritysten liikevaihtoa ja yleistä taloustilannetta<sup>33</sup>, päästöjä on vähennetty enemmän kuin ilman päästökauppaa. Teollisuuden sektoreilla, joille päästölupia on jaettu runsaasti, vähennykset ovat olleet pienempiä kuin sektoreilla, joille lupia on jaettu vähemmän.

Merkittävä tulos on, ettei päästökaupalla ole tutkimuksen mukaan ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta yritysten arvonlisään, työpanoksen kysyntään eikä voittokatteeseen. Tulosten perusteella päästökaupalla ei siten olisi ollut merkittäviä vaikutuksia yritysten kilpailukykyyn tarkastellulla ajanjaksolla. Analyysin tarkkuutta heikentää se, että kirjoittajat eivät malleissa huomioi toimialaluokitusta verrokki- ja koeryhmää muodostettaessa. Täten arvioituihin vaikutuksiin luultavasti sisältyy päästökaupan vaikutuksen ohella myös toimialojen välistä dynamiikkaa.

Calel ja Dechezleprêtre (2015) tarkastelevat päästökaupan vaikutuksia matalahiili-innovaatioihin ja patenteihin Euroopassa. Tutkimuskysymys siis sivuaa Suomessakin paljon huomiota saanutta "cleantech" -sektoria välillisesti, sillä tällä sektorilla voidaan olettaa toimivan yrityksiä, jotka kehittävät edellä mainittuja matalahiilisiä tuotanto- ja muita teknologioita. Tutkimuksessa käytetty aineisto on hyvin kattava sisältäen yli 5500 yritystä ja 9000 toimipaikkaa vuosilta 2000–2009. Päästökaupan vaikutuksia arvioidaan EPO:n<sup>34</sup> luokituksen mukaisesti matalahiilisen teknologian patenteihin. Tässäkin tutkimuksessa muodostetaan päästökaupan yrityksille muilta ominaisuuksiltaan tarpeeksi läheinen verrokkiryhmä, jotta päästökaupan vaikutus saadaan arvioitua. Tutkimuksen päätulos on, että päästökauppa on nostanut matalahiilisten patenttien määrää kaupan piirissä olevissa yrityksissä varsin voimakkaasti patenttien määrän ollessa jopa yli 35 % korkeampi verrattuna

---

<sup>32</sup> Havaittu vaikutus saattaa johtua nk. *windfall* -voitoista, jotka aiheutuivat päästöoikeuksien ilmaisaosta.

<sup>33</sup> Finanssikriisi.

<sup>34</sup> European Patent Office.

päästökaupan ulkopuolisiin yrityksiin. Kaikista matalahiiliteknologian patenteista päästökauppaan kuuluvien yritysten patentit muodostavat vain noin yhden prosentin, joten koko Euroopan tasolla tarkasteltuna päästökaupalla ei havaita olevan voimakkaita vaikutuksia matalahiili-innovaatioihin. Päästökaupan ulkopuolisille yrityksille päästökaupalla ei havaita olevan tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia matalahiilisen teknologian patenteihin ja innovaatioihin. Havaittu vaikutus keskittyy toisen kauppakauden alkuun, jolloin myös päästöoikeuden hinnat olivat korkeammat kuin nykyisellä kauppakaudella.

Rubashkina ym. (2015) keskittyvät tutkimaan niin kutsuttua Porter-hypoteesia käyttäen aineistonaan havaintoja 17 EU -maasta, mukaan lukien Suomi vuosina 1997–2009. Porter-hypoteesilla viitataan Porterin ja van der Linden (1995) esittämään ajatukseen, että tiukentuva ympäristöpolitiikka voi kannustaa yrityksiä investoimaan uusiin tuotantoteknologioihin, mikä johtaa parempaan resurssitehokkuuteen ja tätä kautta myös korkeampaan tuottavuuteen. Ilmastopolitiikan vaikutuksia tarkastellaan sekä työn tuottavuuteen että teknologiseen kehitykseen ja innovaatioihin. Teknologinen kehitys määritellään kokonaistuottavuutena, ja innovaatioiden indikaattorina käytetään tutkimus- ja tuotekehitysmenoja (T&K) ja patenttien määrää. Ilmastopolitiikan instrumenttina käytetään päästövähennyskustannuksia<sup>35</sup>, joten tarkastelua ei rajata kattamaan vain päästökaupasta aiheutuvia vaikutuksia.

Malleissa otetaan huomioon se, että ilmastopolitiikka saattaa vaikuttaa viiveellä. Tämän takia vaikutukset arvioidaan sekä lyhyellä aikavälillä (alle kaksi vuotta) että pitkällä aikavälillä (yli kaksi vuotta). Malleissa otetaan huomioon tietyt taustamuuttajat sekä myös makrotaloudelliset tekijät, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina. Lyhyellä aikavälillä ilmastopolitiikalla on negatiivinen, tilastollisesti merkitsevä vaikutus T&K -menoihin ja patenttien määrään. Kun tarkastelun aikajännettä kasvatetaan yli kahden vuoden pituiseksi, on ilmastopolitiikan vaikutus positiivinen kumpaankin osatekijään, mutta kohtuullisen pieni. Lyhyellä aikavälillä ilmastopolitiikan vaikutukset kokonaistuottavuuteen ja työn tuottavuuteen ovat negatiivisia. Pitkällä aikavälillä ilmastopolitiikalla ei havaita olevan tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia kumpaankaan muuttajaan. Ilmastopolitiikka vaikuttaa siis lyhyellä aikavälillä negatiivisesti, heikentäen kilpailukykyä. Pitkällä aikavälillä tilastollisesti merkitsevä, positiivinen vaikutus havaitaan vain T&K -menoihin ja patenttien määrään.

Chan ym. (2013) tarkastelevat päästökaupan vaikutuksia sähköntuottajille ja sementti- ja terästeollisuuden toimialoille käyttäen maakohtaista aineistoa kymmenestä Euroopan maasta<sup>36</sup> ajanjaksolla 2005–2009. Tutkimusaineistona käytetään AMADEUS-tietokantaa, kuten myös tutkimuksessa Abrell, ym. (2011). Päästökaupan vaikutuksia tarkastellaan yksikkömateriaalikustannuksiin (kustannuskilpailukyky), sekä työvoiman kysyntään ja liikevaihtoon. Aineiston koe- ja verrokkiryhmä eroavat toisistaan kooltaan ja liikevaihdoltaan. Siksi koeryhmälle muodostetaan verrokkiryhmä aineistosta vuodelta 2004 samalta sektorilta valituilla, samankaltaisilla yrityksillä päästökaupan ulkopuolelta. Sähköntuottajille päästökaupan työllisyysvaikutukset eivät ole tilastollisesti merkitseviä mallissa, jossa otetaan huomioon sekä makrotaloudelliset tekijät että tehdaskohtaiset tekijät<sup>37</sup>. Vaikutuksia ei myöskään havaita yksikkömateriaalikustannuksiin. Vaikutukset liikevaihtoon eivät ole tilastollisesti merkitseviä ensimmäisellä kaudella, mutta toisella kaudella havaitaan tilastollisesti

---

<sup>35</sup> *Pollution abatement and control expenditures* (PACE). Rahamääräinen indikaattori, joka mittaa ilmastopäästöjen vähentämiseen suunnattuja investointeja ja menoja.

<sup>36</sup> Itävalta, Belgia, Tšekki, Ranska, Saksa, Iso-Britannia, Italia, Alankomaat, Puola ja Espanja.

<sup>37</sup> nk. kiinteät vaikutukset (eng. *fixed effects*).

merkitsevä positiivinen vaikutus. Tulokset ovat siis samankaltaisia kuin Petrickin ja Wagnerin tutkimuksessa (2014).

Sementti- ja terästeollisuuden toimialoille päästökaupan vaikutukset eivät ole tilastollisesti merkitseviä malleissa, joissa edellä mainitut kiinteät vaikutukset huomioidaan. Yhteenvetona siis näillä kolmella toimialalla tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia havaitaan vain sähköntuottajille, joiden liikevaihtoon päästökauppa vaikutti positiivisesti. Tutkimuksen mukaan päästökaupan vaikutukset toimialojen kilpailukykyyn ovat siis olleet hyvin lieviä.

Jaraité ja Di Maria (2014) arvioivat päästökaupan vaikutuksia latvialaisiin yrityksiin, käyttäen yritystason aineistoa ajanjaksolla 2003–2010. Päästökaupan vaikutuksia arvioidaan yritysten hiilidioksidipäästöihin, hiilidioksidi-intensiteettiin, pääomakantaan sekä liikevoittoon. Tutkimuksessa käytetty menetelmä on jossain määrin yksinkertaisempi kuin aiemmin käsiteltyjen tutkimusten yksityiskohtaiset ekonometriset mallit, mutta käytetty peruslogiikka on sama, perustuen koe- ja verrokkiryhmän muodostamiseen. Tulosten perusteella päästökaupalla ei ensimmäisellä kauppakaudella ole ollut tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia yritysten hiilidioksidipäästöihin tai liikevoittoon.

Anger ja Oberndorfer (2008) käyttävät tutkimuksessaan saksalaista yritystason aineistoa ja tutkivat päästökaupan ensimmäisen kauden vaikutuksia yritysten työpanoksen kysyntään ja suorituskykyyn. Suorituskyvyn osatekijöiksi tässä tutkimuksessa otetaan liikevaihdon muutos sekä työpanoksen kysynnän muutos vuosittain<sup>38</sup>. Analyysin tarkentamiseksi tutkimuksessa käytetään instrumenttimuuttujamenetelmää. Vuodelle 2005 tutkimuksessa ei havaita päästökaupalla olevan tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia yritysten liikevaihtoon tai työpanoksen kysyntään. Tutkimuksen havaintoaineisto on kuitenkin suppea ja vaikutuksia arvioidaan vain vuodelle 2005. Täten tuloksia ei voida tulkita kovin vahvana todisteena kilpailukykyvaikutuksista.

Yu (2011) tutkii Ruotsin aineistolla rajatummin päästökaupan vaikutuksia ruotsalaisiin energiayhtiöihin vuosina 2004–2006. Päästökaupan vaikutuksia arvioidaan sähköntuottajien kannattavuuteen. Tutkimusta voidaan pitää suppeana, koska tarkastelu on rajattu kattamaan vain tietty toimiala sekä vain ensimmäinen kauppakausi. Tutkimuksessa tarkastellaan myös päästöluopien alkujäon vaikutusta jakamalla säädelty sektori kahteen ryhmään, oikeuksien nettomyyjiin ja netto-ostajiin. Verrokkiryhmäksi poimitaan saman toimialan yritykset, jotka eivät kuulu päästökauppaan. Päästökaupalla havaitaan olleen tilastollisesti merkitsevä, negatiivinen vaikutus säädeltyjen yritysten kannattavuuteen vain vuonna 2006, kun vuonna 2005 vaikutuksia ei havaita. Päästökaupan vaikutukset ovat tulosten perusteella erilaiset päästöoikeuksien netto-ostajille ja nettomyyjille vuonna 2005, mutta vaikutusta ei havaita vuonna 2006. Tämän tutkimuksen lyhyt aikajänne tarkoittaa sitä, että analyysi kärsii huomattavasti sekä päästökaupan ensimmäisen kauden ongelmista että myös menetelmällisistä seikoista. Ensimmäisellä kauppakaudella päästöoikeuksien alkujako ja päästöjen kehityksen huomattava yliarviointi johti päästöoikeuden hinnan romahtamiseen kauden lopussa, ja täten on loogista, että mahdolliset *windfall* -voitot keskittyvät ensimmäisille vuosille, jolloin oikeuksien hinta nousi. Toinen tulosten luotettavuuteen vaikuttava seikka on se, että tutkimuksessa sivuutetaan aineistossa esiintyvä valikoitumisongelma kokonaan. Päästökaupan yritykset eroavat huomattavasti ominaisuuksiltaan kaupan ulkopuolisista yrityksistä. Siinä missä aiemmin läpikäydyissä tutkimuksissa tätä ongelmaa on lähestytty muodostamalla joko yritys- tai toimilaitostasolla päästökaupan

---

<sup>38</sup> Nämä muuttujat määritellään ensimmäisenä differenssinä, ts.  $\Delta\text{liikevaihto}_i = \text{liikevaihto}_{2005,i} - \text{liikevaihto}_{2004,i}$ .

yriyksille ominaisuuksiltaan mahdollisimman lähellä oleva verrokkiryhmä, ei tässä tutkimuksessa käytetä näitä menetelmiä.

### 5.2.2 Muuhun metodologiaan perustuvat tutkimukset

Branger ym. (2013) käyttävät tutkimuksessaan aikasarjoihin perustuvaa ekonometristä menetelmää ja yksinkertaista makrotaloudellista mallia. Tutkimuksessa tarkastellaan päästökaupan vaikutuksia koko EU:n sementti- ja terästeollisuuden kilpailukykyyn ja hiilivuotoon. Kahden alueen makrotaloudellisella mallilla (käsittäen EU:n ja muun maailman), johdetaan sementin ja teräksen tuonnille ja viennille yhtälöt, jotka riippuvat päästöoikeuden hinnasta. Päästöoikeuden hinnan vaikutus sementin ja teräksen tuontiin ja vientiin EU:ssa arvioidaan käyttämällä aikasarjamenetelmiä (ARIMA-malli<sup>39</sup>). Käytetty havaintoaineisto on kuukausittainen aikasarja vuosille 1999–2012. Mallien perusteella päästöoikeuden hinnalla ei havaita olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta tuontiin tai vientiin kummallakaan toimialalla silloinkaan, kun makrotaloudelliset tekijät huomioidaan. Käytetty aineisto on varsin karkea ja vientiä ja tuontia kuvataan ainoastaan EU-tason tuotannollisilla indekseillä. Tämän lisäksi käytetty makrotaloudellinen malli on rajoittava ja yksinkertaistettu.

Commins ym. (2011) tarkastelevat energiaverojen ja päästökaupan ensimmäisen kauden vaikutuksia EU-maiden yritysten kilpailukykyyn vuosina 1996–2007. Päästökaupan vaikutusten arviointi on tässä tutkimuksessa huomattavasti suppeampi kuin aiemmissa, toimipaikka- ja yritystason tutkimuksissa. Päästökaupan vaikutuksia arvioidaan yritysten kokonaistuottavuuteen, työpanoksen kysyntään, investointeihin sekä pääoman tuottoasteeseen. Päästökaupalla arvioidaan olevan tilastollisesti merkitsevä, kokonaistuottavuutta ja pääoman tuottoastetta heikentävä vaikutus, kun taas investointeihin tai työpanoksen kysyntään tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia ei havaita.

Päästökaupan vaikutuksia kirjallisuuskatsauksella ovat selvittäneet myös Martin ym. (2012) sekä Laing ym. (2013). Kummatkin tutkimukset käyvät systemaattisesti läpi tutkimuskirjallisuutta ja päätyvät samanlaisiin tuloksiin kuin tässä raportissa. Kummassakin tutkimuksessa esiin tulevat asiat ovat osin samoja kuin mitä tässä ja aiemmissa alaluvuissa on todettu. Katsauksissa todetaan muun muassa kilpailukyvyyn käsitteen laajuus ja sen kokonaisvaltaisen mittaamisen vaikeus sekä myös empiiristä analyysia vaikeuttavat aineisto-ongelmat, jotka liittyvät vertailukelpoisuuteen ja verrokkiryhmän muodostamiseen. Erityisesti Martin ym. (2012) nostavat esille päästökauppajärjestelmän *ex post* -arvioinnin tärkeyden ja nimenomaan arviointiin mahdollistavien aineistojen keräämisen ja hyödyntämisen. Berghmans ym. (2014) taas tutkivat ekonometrisillä menetelmillä päästökaupan ja ilmastopäästöjen yhteyttä ja selvittävät, mistä päästövähennykset johtuivat ensimmäisillä kauppakausilla. Lopputuloksena todetaan päästövähennysten johtuneen lähinnä päästökaupan ulkopuolisista syistä, kuten maakohtaisista uusiutuvan energian lisäyksistä<sup>40</sup>, finanssikriisistä sekä (fossiilisten) polttoaineiden hintavaihtelusta.

### 5.3 Tulosten tulkinta Suomen yritysten näkökulmasta

Päästökaupan kolmannessa vaiheessa päästöoikeuksien ilmaisjaosta siirrytään vähitellen kohti huutokauppaan pohjautuvaa järjestelmää, joka taloustieteellisestä näkökulmasta on tehokkain vaihtoehto-

---

<sup>39</sup> Autoregressiivinen, itsenäisen liukuvan keskiarvon malli.

<sup>40</sup> Uusiutuvaa energiaa tuetaan mm. syöttötariffeilla, jotka eivät välttämättä kytkeydy päästökauppaan millään tavalla.

to<sup>41</sup>. Kun päästöoikeuden hinta nousee, se luo vahvoja kannustimia vähentää päästöjä kustannustehokkaasti. Empiirisen tutkimuskirjallisuuden tulokset ilmastopolitiikan ja päästökaupan kilpailukykyvaikutuksista ovat erittäin lieviä. Ilmastopolitiikalla ja päästökaupalla ei pääsääntöisesti ole havaittu olevan suuria negatiivisia vaikutuksia niihin kilpailukyvyyn tekijöihin, mihin tämä tarkastelu rajautuu. Tuloksia tulee silti tulkita varoen - kirjallisuudesta ei selviä, missä määrin havaitut tulokset ovat seurausta siitä, että sääntelyjärjestelmä kärsi tietyistä ongelmista ensimmäisellä kauppakaudella tai, missä määrin vaikutuksia on lieventänyt muun muassa päästöoikeuksien ilmaisjako. Osa empiirisistä tutkimuksista on tehty monen maan aineistoilla, joihin myös Suomi kuuluu, kun taas osa on tehty vain yhtä maata koskien. Menetelmien puolesta yhden maan käsittävä ekonometrinen analyysi laadukkaalla havaintoaineistolla antaa tarkemman kuvan ilmastopolitiikan vaikutuksista kuin karkeammat EU- tasoisia aineistoja käyttävät arvioinnit.

Tämäntyyppisessä arvioinnissa on kuitenkin tiettyjä ongelmia, jotka liittyvät saatavilla olevaan havaintoaineistoon ja ekonometristen menetelmien käyttöön. Monen ekonometrisen tutkimuksen suurin ongelma liittyy siihen, miten politiikan piiriin kuuluville havaintoyksiköille muodostetaan soveltuva verrokkiryhmä. Tutkimuskirjallisuudessa todetaan yksikantaan yritysten erilaisuus päästökauppasektorin ja sen ulkopuolisen sektorin välillä, joka on ongelmallista, jos käytössä on rajallinen aineisto eikä hyviä verrokkeja löydetä. Jos verrokki- ja koeryhmä ovat huonosti muodostettuja, ei vaikutusten arviointi ole tarkkaa. Mikäli sopivan verrokin löytäminen tietyille päästökaupan yritykselle on vaikeaa, voidaan tukeutua teknisempiin menetelmiin, joissa yhtä päästökaupan yritystä verrataan moneen eri verrokkiin, tai monen verrokin keskiarvoon<sup>42</sup>. Näin kuitenkin menetetään osa tulosten yleistettävyydestä. Mikäli aineistoa on runsaasti ja se on kattava (vrt. Saksa ja Ranska luvun aiemmissa tutkimuksissa) verrokkiryhmän muodostaminen on tietenkin huomattavasti helpompaa kuin, jos aineistoa on vähän. Suomen aineistolla tämänkaltaisen tutkimuksen ongelmana onkin luultavasti juuri edellä mainittu seikka; päästökaupan piiriin kuuluvia yrityksiä on vähän, eikä niille välttämättä löydetä hyvää verrokkiryhmää samaan toimialaan kuuluvista yrityksistä. Eräs ratkaisu tähän on hankkia yritystasoa yksityiskohtaisempaa, toimipaikkatason aineistoa ja vertailla toimipaikkoja (vrt. Wagner ym. 2014). Tällöin tietenkin pitää arvioida myös, miten hyvin toimipaikkatason tulokset yleistyvät yritystasolle ja missä määrin kyse on yrityksen sisäisestä päätöksenteosta. Samoin arviointeihin liittyy oleellisesti kritiikki siitä, missä määrin analyysien kansantaloudet ovat Suomen kaltaisia. Siksi suomalaisella aineistolla tehty vastaava tutkimus olisi-kin tärkeää.

Ilmastopolitiikan vaikutusarvioissa havaintoaineistoon perustuva, ekonometrinen ex-post arviointi olisi tärkeää laskennallisen mallinnuksen tueksi. Tämäntyyppisellä arvioinnilla voidaan yhtäältä selvittää ilmastopolitiikan havaittuja vaikutuksia yritysten taloudelliseen asemaan ja kilpailukykyyn sekä toisaalta sillä voidaan myös täydentää laskennallisilla malleilla saatuja tuloksia.

---

<sup>41</sup> Päästökauppajärjestelmän tehokkuudesta ks. Martin ym. (2014b).

<sup>42</sup> nk. *nearest-neighbor matching*, päästökaupan yritykselle muodostetaan synteettinen verrokki, käyttämällä ryhmää kaupan ulkopuolisia yrityksiä.



## 6 Miksi tulokset poikkeavat?

Yleisesti ottaen empiiriset tutkimukset antavat ilmastopolitiikan ja päästökaupan vaikutuksista varsin neutraalin kuvan, kun tarkastellaan niiden vaikutuksia yritysten kilpailukykyyn. Todelliset syyt havaittuihin lieviin vaikutuksiin ovat kuitenkin monisyiset. Osa vaikutuksista voidaan lukea ilmastopolitiikan onnistuneiksi ohjausvaikutuksiksi, kun taas jotkut taustatekijät ovat olleet ilmastopolitiikasta riippumattomia. Jälkimmäiseen kategoriaan voidaan lukea esimerkiksi finanssikiriisin vaikutus teollisuuden päästöihin ja päästökauppamarkkinoihin.

Laskennallisilla malleilla tehtyjen arvioiden perusteella ilmastopolitiikan arvioidaan supistavan BKT:ta ja työllisyyttä varsinkin lyhyellä aikavälillä. Nämä tulokset kuitenkin heijastavat usein varsin paljon tiukempaa ilmastopolitiikkaa kuin mitä EU:ssa on toteutettu. Tämä on nähtävissä muun muassa oletuksissa päästöoikeuden hinnoista, jotka ovat usein huomattavasti korkeampia (20-50 €) kuin mitä realisoitunut hintakehitys on ollut. Laskennallisissa malleissa ilmastopolitiikan ja päästökaupan vaikutukset välittyvät kustannusten nousun kautta, ja sillä on vaikutuksia sekä bruttokansantuoteseen että työllisyyteen. Negatiivisia vaikutuksia tasaavat mahdolliset uusiutuvan energian lisäämisen tavoitteet, jotka lisääntyvinä investointeina kasvattavat työllisyyttä ja bruttokansantuotetta.

Samalla malliperheellä tehtyjen vaikutusarvioiden erilaisia tuloksia selittävät muutokset ilmastopolitiikassa ja ilmastotavoitteissa. Kireämmät päästövähennystavoitteet johtavat suurempiin kansantaloudellisiin kustannuksiin ja siten vaikuttavat kotimaan hintatasoon, BKT:hen ja työllisyyteen riippuen siitä, mikä on tavoitteiden saavuttamiseksi vaadittu investointien taso. Kansantaloudellisten vaikutusten suunta vaihtelee riippuen oletuksista kansainvälisten markkinoiden kehityksestä ja etenkin Suomen asemasta. Ilmastotavoitteisiin sopeutuminen edellyttää uusia investointeja, joista osa nostaa BKT:n tuontierää investointien toteuttamisen aikana. Tärkeäksi oletukseksi nousee silloinkin se, miten Suomen vientisektori kehittyä ilmastopolitiikan seurauksena. Haitalliset BKT- ja työllisyysvaikutukset voivat pienentyä huomattavasti tai muuttua jopa myönteisiksi, mikäli Suomen oletetaan pystyvän lisäämään vientiään - etenkin energiateknologian vientiä. Merkittävänä samankaltaisena taustaoletuksena arvioinneissa on uusiutuvan energian tuotannon tavoitteiden lisääminen ilmastopolitiikan ja -tavoitteiden rinnalle. Yksinkertaistaen: ilmastopolitiikalla ja päästötavoitteilla on BKT:ta ja työllisyyttä supistava vaikutus, kun taas investoinneilla uusiutuvaan energiaan ja energiateknologian viennillä on näitä lisäävä vaikutus. Jälkimmäiset, työllisyyttä ja BKT:ta nostavat vaikutukset, ovat kuitenkin huomattavasti epävarmempia ja vaikeampia ennakoita.

Päinvastoin kuin laskennallisten mallien suurusluokiltaan hieman eriävät tulokset, empiirisen arvioinnin tulokset ovat hyvin pitkälti samassa linjassa keskenään. Tämä on huomionarvoista, sillä läpikäyty tutkimukset eroavat toisistaan huomattavasti muun muassa kohdemailtaan, aineistoiltaan ja menetelmiltään. Päästökaupan ja ilmastopolitiikan empiirisessä arvioinnissa on kuitenkin omat vaikeutensa. Niitä ovat esimerkiksi päästökauppajärjestelmään liittyvät ominaispiirteet, kuten toimilaitosten ei-satunnaistettu valinta päästökaupan piiriin sekä havaintoaineistojen laatuun liittyvät seikat. Valikoitumisongelmaa voidaan lieventää kehittyneillä ekonometrisilla menetelmillä, ja jos havaintoaineisto on hyvätasoinen ja tarkka, nämä menetelmät tuottavat varsin tarkkoja arvioita varsinaisista politiikkavaikutuksista.

Martin ym. (2013) korostavat kuitenkin edellä mainittujen seikkojen lisäksi varsin tärkeää empiiristen arviointien piirrettä. Jos ilmastopolitiikalla ja erityisesti päästökaupalla on merkittäviä epäsuoria vaikutuksia politiikan ulkopuolisiin yrityksiin, se heikentää ekonometrisen vaikutusarvioinnin tuloksia. Silloin politiikkamuutos ei kohdennu puhtaasti vain niihin, jotka kuuluvat muutoksen piiriin, vaan "vuotaa" osin myös ulkopuolisille toimijoille. Eräänä esimerkkinä tämänlaisesta vaikutuksesta on päästökaupan vaikutus sähköntuottajiin. Mikäli ilmastopäästöille asetettava hinta (joko verojen tai päästökaupan myötä) nostaa sähkön markkinahintaa, kustannusvaikutus siirtyy säädellyltä sektorilta osittain myös ulkopuoliselle sektorille<sup>43</sup>. Jos tällaisia vaikutuksia havaitaan, se heikentää luonnollisesti empiirisen arvioinnin tulosten tarkkuutta ja politiikan todelliset vaikutukset voidaan aliarvioida. Mikäli epäsuoria vaikutuksia havaitaan, parhaimmillakin ekonometrisilla menetelmillä voidaan arvioida ainoastaan politiikan vaikutus niihin muutoksen piirissä olleisiin toimiin, joiden toimintaa se muutti (Imbens ja Angrist, 1994).

Samoin yritysten päätöksiin investoinneista ja tuotantoteknologian muutoksesta vaikuttavat todennäköisesti myös odotukset tulevista päästöoikeuksien hinnoista. Martinin ym. vuonna 2014 tekemässä haastattelututkimuksessa odotus vuoden 2020 päästöoikeuden hinnasta oli 40 euroa/tonni (Martin ym. 2014b).

## 7 Johtopäätökset ja ehdotuksia jatkotutkimuksesta

Euroopan Unionin päästökauppajärjestelmä on jo pitkälti kolmannessa vaiheessaan, ja järjestelmää onkin kehitetty vaihe vaiheelta suuntaan, jossa päästötavoitteet ovat entistä tiukempia ja ilmaisten päästöoikeuksien osuus aikaisempaa pienempi. Tämantyyppiset järjestelmät ovat osoittautuneet toimiviksi markkinapohjaisiksi välineiksi, joilla yritykset saadaan sisäistämään toimintansa haitalliset ulkoisvaikutukset. Valitettavasti kuitenkin päästökaupan kilpailukykyvaikutusten ekonometrisen tutkimus on edelleen vähäistä, ja varsinkaan Suomessa tämänkaltaista tutkimusta ei ole julkaistu. Päästökaupan vaikutusten arviointi on kuitenkin tärkeää jo siksi, että ymmärtäisimme, miten järjestelmä on vaikuttanut kansantalouteemme. Tässä raportissa on käyty läpi sekä laskennallisilla malleilla tehtyä, ennakoivaa tutkimusta että kansainvälistä empiiristä tutkimusta päästökaupan havaituista vaikutuksista ilmastopäästöihin ja yritysten kilpailukykyyn.

Kansainvälinen tutkimus ei pääsääntöisesti tue näkemystä, että ilmastopolitiikalla tai erityisesti päästökaupalla olisi ollut erityisen haitallisia vaikutuksia säädelyjen yritysten kilpailukykyyn ver-

---

<sup>43</sup> Ekonometriassa tämantyyppinen tilanne tarkoittaa, että SUTVA-oletus (Stable Unit Treatment Value Assumption) ei enää päde. Tällöin ekonometrisen vaikutusarvioinnin tarkkuus laskee.

rattuna säätelyn ulkopuolisiin yrityksiin. Tässä katsauksessa läpikäydyn kirjallisuuden perusteella vaikutukset yritysten kilpailukykyyn ovat olleet korkeintaan marginaalisia, ja monessa tapauksessa niitä ei ole havaittu ollenkaan.

Suomessa tämäntyyppisessä tutkimuskirjallisuudessa on huomattava aukko. Martin ym. (2012) toteavat katsauksessaan, että päästökaupan vaikutusten syvälinen arviointi käyttäen laadukasta aineistoa olisi erittäin ajankohtaista. Varsinkin toimipaikkatason aineistolla tehty huolellinen ja metodologisesti asianmukainen ekonometrinen arviointi olisi erittäin tärkeää, jotta päästökauppaa ja ilmastopolitiikkaa koskevien päätösten tueksi saataisiin myös empiiristä tutkimustietoa.

Ulkomaisten kirjallisuuden perusteella on vaikeaa vetää varmoja johtopäätöksiä Suomen tilanteesta, sillä tutkimuksissa tarkasteltujen maiden talouden rakenteet poikkeavat Suomen talouden rakenteista. Ulkomaisten tulosten perusteella päästökaupan kilpailukykyvaikutukset ovat olleet lieviä, kun mittareina on käytetty työllisyyttä, liikevaihtoa tai kokonaistuottavuutta. Lieviin vaikutuksiin on voinut vaikuttaa päästökaupan ensimmäisissä vaiheissa käytössä ollut päästöoikeuksien ilmaisjakoa, joka on keventänyt kustannusvaikutuksia tietyillä toimialoilla. Kaupan kolmannessa vaiheessa, siirtäessä ilmaisjaosta oikeuksien huutokauppaan, kustannukset tulevat kohoamaan, ja on mahdollista, että vaikutukset kilpailukykyyn ovat päästökaupan jatkovaiheissa merkittävämpiä. Tutkimuskirjallisuuden perusteella on kuitenkin myös mahdollista, että tiukentuva ympäristöpolitiikka tuo mukanaan myös positiivisia vaikutuksia, esimerkkinä vaikkapa lisääntyneet investoinnit ja puhtaan tuotantoteknologian kehitys (cleantech).

Osan tutkimustuloksista saattaa selittää päästöoikeuksien matala hinta ja päästökaupan päästövointteiden löyhyys. On mahdollista, että päästöoikeuksien hinta ei ole juurikaan vaikuttanut säädeltyjen yritysten kustannustasoon ja sitä kautta kilpailukykyyn. Hiilivuotoa (ks. Dechezleprêtre ym., 2014), eli tuotannon siirtymistä löyhemmän ilmastosäätelyn piiriin, ei ole empiirisissä arvioissa havaittu. Se, missä määrin hiilivuodon vähäisyys on suoraa seurausta päästökauppajärjestelmään rakennetuista lievennyksistä (kuten ilmaisjaosta) on vielä epäselvää. Dechezleprêtren ym. (2014) mukaan esimerkiksi alueelliset tuottavuuserot ja tuottavuushokit saattavat olla huomattavasti päästökauppaa ja päästöjen hintaa tärkeämpi tekijä tuotannon sijoittumisessa. Yrityksen tuotantopäätöksiin ja varsinkin sijoittumiseen vaikuttavat viime kädessä ympäristöpolitiikan ohella myös monet muut tekijät, kuten työvoimakustannukset, luonnonvarojen saatavuus, lainsäädäntö jne., joten on mahdollista, että ympäristöpolitiikan osuus päätöskriteerinä on lievä (Laing ym. 2013).

Vaikuttavan ja tehokkaan ympäristöpolitiikan toimeenpano ja toteuttaminen on pitkä prosessi. Päätöksiin vaikuttavat aina sekä huoli tiukentuvan säätelyn lyhytkestoisista taloudellisista vaikutuksista että ilmastonmuutoksen hidastamisesta saatava hyöty. Tässä selvityksessä läpikäydyn tutkimuskirjallisuuden perusteella taloudelliset vaikutukset ovat olleet lieviä, ja politiikalla on onnistuttu vähentämään merkittävästi ilmastonmuutosta kiihdyttäviä kasvihuonepäästöjä. Tulevaisuudessa Suomen kansantaloudella on kuitenkin edessään monia uudistuksia, joista ilmastopäästöjen vähentäminen on yksi merkittävimmistä. Ilmastotavoitteiden ja -politiikan odotetaan tulevaisuudessa kiristyvän, ja on mahdollista, että siirrytään kohti aiempaa globaalimpaa ilmastopolitiikkaa. Suomen kannalta jää vielä nähtäväksi, millaiset sen vaikutukset kansantalouteemme lopulta ovat. Kustannusnousun ohella ilmastopolitiikan toimeenpano voi tuoda myös mukanaan uusia kasvumahdollisuuksia, kuten matalapäästöisen ja -hiilisen tuotantoteknologian markkinat. Uusimpien tutkimusten perusteella (Calel ja Dechezleprêtre, 2015) ilmastopolitiikalla on positiivinen vaikutus matalahiilisen teknologian kehitykseen. Kansantalous, jolla on suhteellinen etu tällaisen teknologian tuotannossa, voi hyötyä kiristyvästä ilmastopolitiikasta.

Nykyinen matala päästöoikeuden hinta ei kuitenkaan kannusta yrityksiä kehittämään puhdasta teknologiaa, jonka kaupallistaminen on hidasta. Äskettäin esitetty keino uuden teknologian edistämiseksi olisi päästökaupasta syntyvien huutokauppatulojen ohjaaminen suoraan puhtaan teknologian tutkimus- ja kehittämistoimintaan. Dechezleprêtre ja Poppin (2015) arvion mukaan esimerkiksi sijoittamalla 10 % suunnitelluista päästöoikeuksien huutokauppatuloista EU:n tutkimus- ja kehittämistoimintaan vuoteen 2025 asti, voitaisiin kaksinkertaistaa EU:n julkiset T&K-menot kymmenessä vuodessa, jos päästöoikeuden hinta olisi noin 23 euroa/tonni.

# Lähteet

- Aatola, P. (2013): Putting a Price on Carbon - Econometric Essays on The European Union Emissions Trading Scheme and its Impacts. VATT Publications 62. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.
- Abrell, J., Ndoye, A. & Zachmann, G. (2011): Assessing the Impact of the EU ETS using firm level data. Bruegel Working Paper 2011/8.
- Ackerman, F., DeCanio, S. J., Howarth, R. B. & Sheeran, K. (2009): Limitations of integrated assessment models of climate change. *Climatic Change*, Vol. 95, s. 297-315.
- Adams, P. D. & Parmenter, B. R. (2013): Computable General Equilibrium Modeling of Environmental Issues in Australia: Economic Impacts of an Emissions Trading Scheme. Teoksessa Dixon, P. B. ja Jorgenson, D. W. (toim.) *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, Elsevier.
- Anger, N. & Oberndorfer, U. (2008): Firm performance and employment in the EU emissions trading scheme: An empirical assessment for Germany. *Energy Policy*, Vol. 36, s. 12-22.
- Angrist, J. D. & Pischke, J-S. (2009): *Mostly Harmless Econometrics*. Princeton University Press.
- Armington, P. S. (1969): A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production. *IMF Staff Papers*, Vol. 16, No. 1, s. 159-178.
- Arndt, C., Davies, R., Gabriel, S., Makrelov, K., Merven, B., Salie, F. & Thurlow, J. (2014): An integrated approach to modelling energy policy in South Africa. *WIDER Working Paper 135*. UNU-WIDER.
- Berghmans, N., Chèze, B., Alberola, E. & Chevallier, J. (2014): The CO2 emissions of the European power sector: economic drivers and the climate-energy policies' contribution. *CDC Climat Research Working Paper*, Number 2014-17.
- Branger, F., Quirion, P. & Chevallier, J. (2013): Carbon leakage and competitiveness of cement and steel industries under the EU ETS: much ado about nothing. *CIREN Working Paper Series*, Centre international de Recherches sur l'Environnement et le Développement.
- Burke, M., Dykema, J., Lobell, D., Miguel, E. & Satyanath, S. (2015): Incorporating Climate Uncertainty into Estimates of Climate Change Impacts. *Review of Economics and Statistics*, Vol. 97, No. 2, s. 461-471.
- Böhringer, C. & Rutherford, T. F. (2009): Integrated assessment of energy policies: Decomposing top-down and bottom-up. *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol. 33, s. 1648-1661.
- Calel, R. & Dechezleprêtre, A. (2015): Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market. *Review of Economics and Statistics* (painossa).

- Chan, H. S., Li, S. & Zhang, F. (2013): Firm competitiveness and the European Union emissions trading scheme. *Energy Policy*, Vol. 63, s. 1056-1064.
- Dechezleprêtre, A. & Popp, D. (2015): Fiscal and Regulatory Instruments for Clean Technology Development in the European Union. CESIFO Working Paper no. 5361. Center for Economic Studies and IFO Institute.
- Dechezleprêtre, A., Gennaioli, C., Martin, R. & Muûls, M. (2014): Searching for carbon leaks in multinational companies. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper No. 165, London School of Economics and Political Science.
- Dechezleprêtre, A. & Sato, M. (2014): The impacts of environmental regulations on competitiveness. Policy Brief, November 2014, Grantham Research Institute on climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science.
- Dixon, P. B. & Jorgenson, D. W. (2013): *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. Elsevier.
- European Council (2014a): EUCO 169/14.
- European Commission (2014b): Energy Economic Developments in Europe: European Economy 1/2014. European Commission, Directorate-General for Economic and Financial Affairs.
- Fabra, N. & Reguant, M. (2014): Pass-through of emissions costs in electricity markets. *American Economic Review*, vol. 104, No. 9, s. 2872-2899.
- Hintermann, B. (2015): Pass-through of CO<sub>2</sub> emission costs to hourly electricity prices in Germany. European Association of Environmental and Resource Economists 21st Annual Conference (EAERE), Helsinki.
- Holm, P. & Lahtinen, M. (2014): Energia- ja ilmastopolitiikan aiheuttama kustannuspaine teollisuudelle ja kotitalouksille. PTT Työpapereita 159, Pellervon taloustutkimus PTT.
- Honkatukia, J. (2013): The VATTAGE Regional Model VERM - A Dynamic, Regional, Applied General Equilibrium Model of the Finnish Economy. Research Reports 171, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.
- Honkatukia, J., Ahokas, J. & Tamminen, S. (2013): Laskennallisten yleisen tasapainon mallien käyttö politiikka-analyysissä - viime vuosien kokemuksia ja lähiajan näkymiä. Työpoliittinen Aikakauskirja, No. 4, s. 5-16.
- Honkatukia, J., Koljonen, T. & Lehtilä, A. (2013): 30 prosentin vähennystavoitteeseen siirtymisen energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset. VATT Tutkimuksia 170. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.
- Honkatukia, J., Kaitila, V., Kotilainen, M. & Niemi, J. (2012): Global trade and climate policy scenarios - Impact on Finland. VATT Working Papers 37. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.

- Honkatukia, J., Forsström, J. & Pursiheimo, E. (2011): Energia- ja ilmastopoliittisen toimenpitekokonaisuuden vaikutukset energiajärjestelmään ja kansantalouteen vuoden 2013 jälkeisessä päästökauppajärjestelmässä. VATT Tutkimukset 165, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.
- Honkatukia, J. (2009): VATTAGE - A dynamic, applied general equilibrium model of the Finnish economy. Research Reports 150, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.
- Honkatukia, J. & Forsström, J. (2008): Ilmasto- ja energiapoliittisten toimenpiteiden vaikutukset energiajärjestelmään ja kansantalouteen. VATT Tutkimuksia 139. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.
- Honkatukia, J., Mälkönen, V. & Perrels, A. (2006): Impacts of the European Emissions Trade System on Finnish Wholesale Electricity Prices. VATT Keskustelualoitteita 405. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus.
- Huppmann, D. & Holz, F. (2014): Modelling the Impact of Energy and Climate Policies. DIW Policy Brief 44. German Institute for Economic Research (DIW Berlin).
- Imbens, G. & Angrist, J. (1994): Identification and estimation of local average treatment effects. *Econometrica*, Vol. 62, s. 467-476.
- Jaraitė, J. & Di Maria, C. (2014): Did the EU ETS make a difference? An empirical assesment using Lithuanian firm-level data. CERE Working Paper 2014:2, Centre for Environmental and Resource Economics CERE, Umeå University.
- Jouvet, P-A. & Solier, B. (2013): An overview of CO<sub>2</sub> cost pass-through to electricity prices in Europe. *Energy Policy*, Vol. 61.
- Kerkelä, L., Lahtinen, M., Esala, L., Kosunen, A. & Noro, K. (2014): Suomen pitkän aikavälin energia- ja ilmastopoliitikka ja teollisuuden kilpailukyky. PTT Raportteja 245, Pellervon taloustutkimus PTT.
- Koljonen, T., Pursiheimo, E., Lehtilä, A., Sipilä, K., Nylund, N-O., Lindroos, T. & Honkatukia, J. (2014): EU:n 2030 -ilmasto- ja energiapaketin vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen: Taustaraportti. VTT Technology 170. Teknologian tutkimuskeskus VTT.
- Koljonen, T., Forsström, J., Kekkonen, V., Koreneff, G., Ruska, M., Similä, L., Pakkala, K., Solanko, L. & Korhonen, I. (2009): Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopoliitiikan muuttuessa. VTT Research Notes 2487. Teknologian tutkimuskeskus VTT.
- Krook Riekkola, A., Berg, C., Ahlgren, E. O. & Söderholm, P. (2013): Challenges in Soft-Linking: The Case of EMEC and TIMES-Sweden. Working Paper no. 131, Konjunkturinstitutet.
- Laing, T., Sato, M., Grubb, M. & Comberti, C. (2013): Assessing the effectiveness of the EU Emissions Trading System. Centre for climate Change Economics and Policy Working Paper No. 126, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

- Lindroos, T. J., Monni, S., Honkatukia, J., Soimakallio, S. & Savolainen, I. (2012): Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen. VTT Technology 11, Teknologian tutkimuskeskus VTT.
- Loulou, R. & Labriet, M. (2007): ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model part I: Model Structure. *Computational Management Science*, Vol. 5, No. 1-2, s. 7-40.
- Loulou, R. (2007): ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model part II: mathematical formulation. *Computational Management Science*, Vol. 5, No. 1-2, s. 41-66.
- Maliranta, M. (2014): Kustannuskilpailukyky kasvumenestyksen ehtona - mittausta, osatekijöitä ja tulkintaa. ETLA B264, Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA.
- Mankinen, R., Nikula, N. & Rantala, O. (2012): Kustannuskilpailukyvyn mittausmenetelmien uudistaminen. Valtioneuvoston kanslian raporttisarja 3/2012.
- Martin, R., de Preux, L. B. & Wagner, U. J. (2014a): The impact of a carbon tax on manufacturing: Evidence from microdata. *Journal of Public Economics*, Vol. 117, s. 1-14.
- Martin, R., Muûls, M., de Preux, L. B. & Wagner, U. J. (2014b): Industry Compensation under Relocation Risk: A Firm-Level Analysis of the EU Emissions Trading Scheme. *American Economic Review*, Vol. 104, No. 8, s. 2482-2508.
- Martin, R., Muûls, M., de Preux, L. B. & Wagner, U. J. (2014c): On the empirical content of carbon leakage criteria in the EU Emissions Trading Scheme. *Ecological Economics*, Vol. 105, s. 78-88.
- Martin, R., Muûls, M. & Wagner, U. J. (2013): The Impact of the EU ETS on Regulated Firms: What is the Evidence After Eight Years? Imperial College London Working Paper.
- Martin, R., Muûls, M. & Wagner, U. J. (2012): An Evidence Review of the EU Emissions Trading System, Focussing on Effectiveness of the System in Driving Industrial Abatement. UK Department for Energy and Climate Change technical report, Department of Energy and Climate Change.
- Mitra-Kahn, B. H. (2008): Debunking the Myths of Computable General Equilibrium Models. SCEPA Working Paper 2008-1, Schwartz Center for Economic Policy Analysis.
- Niemi, J. & Honkatukia, J. (2011): Implications of EU emission trading in the Nordic countries. VATT Policy Reports 12. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT.
- Petrack, S. & Wagner, U. J. (2014): The Impact of Carbon Trading on Industry: Evidence from German Manufacturing Firms. Kiel Working Papers No. 1912, Kiel Institute for the World Economy.
- Pindyck, R. S. (2013): Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us? *Journal of Economic Literature*, Vol. 51, No. 3, s. 860-872.



- Porter, M. & van der Linde, C. (1995): Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4, s. 97-118.
- Pursiheimo, E., Koljonen, T., Honkatukia, J., Lehtilä, A., Airaksinen, M., Flyktman, M., Sipilä, K. & Helynen, S. (2013): Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energijärjestelmään ja kansantalouteen: Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti. VTT Technology 86. Teknologian tutkimuskeskus VTT.
- Rantala, O. (2012): EU:n ilmastopolitiikan talousvaikutukset vuoteen 2020. ETLA Raportit No 2. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA.
- Rantala, O. (2007): Kasvihuonekaasupäästöjen ennakointi ja EU:n päästörajoituspolitiikan vaikutusten arviointi. ETLA Keskusteluaiheita No. 1095. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA.
- Rubashkina, Y., Galeotti, M. & Verdolini, E. (2015): Environmental Regulation and Competitiveness: Empirical Evidence on the Porter Hypothesis from European Manufacturing Sectors. *Energy Policy*, Vol. 83, s. 288-300.
- Sulamaa, P. & Forsström, J. (2015): Selvitys päästökaupan markkinavakaussuorituksen vaikutuksista sähkön tukkuhintaan. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 9/2015.
- Tilastokeskus (2015): Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2014.
- Wagner, U. J., Muûls, M., Martin, R. & Colmer, J. (2014): The Causal Effects of the European Union Emissions Trading Scheme: Evidence from French Manufacturing Plants, World Congress of Environmental and Resource Economists, Istanbul, June 2014.
- Wilkerson, J. T., Leibowicz, B. D., Turner, D. D. & Weyant, J. P. (2015): Comparison of integrated assesment models: Carbon price impacts on U.S. energy. *Energy Policy*, Vol. 76, s. 18-31.
- World Bank (2014): State and Trends of Carbon Pricing, World Bank.
- Yu, H. (2011): The EU ETS and Firm Profits: An Ex-post Analysis for Swedish Energy Firms. Working Paper 2011:2, Department of Economics, Uppsala University.



ISSN/PDF 2342-6799

ISBN/PDF 978-952-287-190-9

SNELLMANNINKATU 1, HELSINKI

PL 23, 00023 VALTIONEELIJÄSTÖ

p. 0295 16001

f. 09 1602 2165