

A low-angle, upward-looking photograph of a power line tower. The tower's structure is composed of numerous dark metal beams forming a complex, repeating geometric pattern of triangles and rectangles. The perspective is from the base of the tower, looking up towards the top, where the tower disappears into a bright, hazy sky. The lighting is warm, suggesting a sunrise or sunset.

Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa

Tiina Koljonen | Marita Laukkanen |
Markku Ollikainen | Antti Lehtilä | Essi Eerola |
Göran Koreneff | Evangelos Kyritsis |
Tomi J. Lindroos | Kimmo Ollikka |
Esa Pursiheimo | Miika Rämä | Hanne Siikavirta

Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa

Vero-ohjauksen arviointia
hiilineutraalisuustavoitteen näkökulmasta

Tiina Koljonen, Antti Lehtilä, Göran Koreneff,
Tomi J. Lindroos, Esa Pursiheimo, Miika Rämä,
Hanne Siikavirta

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Marita Laukkanen, Evangelos Kyritsis, Kimmo Ollikka,
Essi Eerola

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT

Markku Ollikainen

Helsingin yliopisto

Tekninen editointi: Päivi Vahala



ISBN 978-951-38-8714-8

VTT Technology 359

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)

DOI: 10.32040/2242-122X.2019.T359

Copyright © VTT 2019

JULKAISIJA – PUBLISHER

VTT

PL 1000

02044 VTT

Puh. 020 722 111

<https://www.vtt.fi>

VTT

P.O. Box 1000

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111

<https://www.vttresearch.com>

Alkusanat

Valtiovarainministeriö tilasi maaliskuussa 2019 selvityksen, jonka tavoitteena on arvioida, miten energiaverotusta, päästökauppaa ja muita ilmastopoliittikan ohjaukeinoja yhteen sovittamalla tuetaan Suomen siirtymistä hiilineutraaliuteen vuoteen 2045 mennessä siten, että energiantuotanto olisi 95 prosenttisesti päästötön vuonna 2040. Raportissa tarkastellaan päästöohjauksen sääntelyn nykytilaa, nykyisen verorakenteen ja ohjauksen riittävyttä, muiden ohjaukeinojen toimivuutta sekä arvioidaan, mitkä olisivat kustannustehokkaat ja vaikuttavimmat toimet tulevaisuudessa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Selvitykseen ei lukeudu liikenne ja liikenteen verotus. 95 % kasvihuonekaasujen päästövähennystavoite vuoteen 2040 mennessä ei myöskään koske prosessiperäisiä kasvihuonekaasupäästöjä. Sekä liikenteen että teollisuuden päästövähennystoimet ja –teknologiat ovat kuitenkin mukana laskennallisissa arvioissa, joissa tarkastellaan vaihtoehtoisten energiaveromuutosten vaikutuksia päästöihin, energianhankinnan rakentamiseen sekä valtion verokertymiin.

Selvityksen toteuttivat Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus ja Helsingin yliopisto. Kokonaisuudesta vastasi VTT. Selvitystä ohjasi valtiovarainministeriön (VM), työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) ja ympäristöministeriön (YM) edustajista koostuva ryhmä, jonka puheenjohtajana toimi lainsäädäntöneuvos Leo Parkkonen VM:stä. Muita ohjauksryhmän jäseniä olivat teollisuusneuvos Petteri Kuuva (TEM) ja ympäristöneuvos Magnus Cederlöf (YM). Ohjauksryhmän sihteereinä toimivat Jussi Kiviluoto (VM) ja Jenni Oksanen (VM). Hankkeen projektipäällikkönä toimi Tiina Koljonen VTT:ltä. VATT:n työstä vastasi Essi Eerola ja HY:n Markku Ollikainen. VTT:ltä selvitystyöhön osallistuivat lisäksi Antti Lehtilä, Hanne Siikavirta, Tomi J. Lindroos, Göran Koreneff, Esa Pursiheimo ja Miika Rämä. VATT:ssa selvitystyön toteutuksesta vastasivat Marita Laukkanen, Kimmo Ollikka ja Evangelos Kyritsis.

Kiitämme kaikkia selvitykseen osallistuneita yhteistyöstä.

Espoo 11.09.2019

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	3
Symbolilista	6
1 Johdanto	7
1.1 Nykyiset energiaverot ja –tuet	7
1.2 Energia- ilmastopoliittika sekä EU-laajuinen päästökauppa	9
1.3 Työn tavoite ja menetelmät	10
2 Päästöohjauksen sääntelyn nykytila	12
2.1 EU:n tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi	12
2.2 Kansalliset tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi	13
3 Arviot nykyisen energiaverorakenteen toimivuudesta	15
3.1 Lainsäädännön mukaiset energiaverot energialähteittäin	15
3.1.1 Energiaverotuksen päästöohjauksen voimakkuus	17
3.1.2 Teollisuuden energiaverojen palautukset.....	20
3.2 Päästökaupan kattavuus Suomessa	21
3.3 Energiaan liittyvät suorat tuet ja verotuet	24
3.4 Polttoaineiden käytön nyky rakenne sähkön ja lämmön tuotannossa sekä teollisuudessa	27
3.4.1 Sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineet	27
3.4.2 Teollisuuden energiankäyttö	31
3.5 Hiilidioksidin hinnoittelu ja energiamurros: kirjallisuuskatsaus.....	32
3.6 Johtopäätöksiä nykyisen energiaverorakenteen toimivuudesta	35
4 Muut ohjaukeinit ja niiden toimivuus - Euroopan unionin päästöoikeuskauppa	37
4.1 EU:n päästökaupan pääpiirteet	37
4.1.1 Markkinavakausvaranto, päästöoikeuksien hinta ja kansallisen politiikan mahdollisuus	40
4.2 Kansalliset ratkaisut: kiellot ja kansalliset lattiahinnat päästökaupan tukena	44
4.3 Johtopäätöksiä päästöoikeuden hinnan kehityksestä ja kansallisen politiikan luomisesta	47
5 Teollisuuden ja energiantuotannon mahdollisuudet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä Suomessa	48
5.1 Energiaintensiivinen teollisuus	48
5.1.1 Kemianteollisuus	49
5.1.2 Terästeollisuus	50
5.1.3 Sementin valmistus	50
5.1.4 Paperi- ja selluteollisuus	51
5.1.5 Power to X	51

5.2	Sähkö, kaukolämpö ja rakennusten lämmitys	51
5.2.1	Nykytilanne	51
5.2.2	Kehitysnäkymät ja päästövähennyskeinot	57
6	Vaikutusarviot energiaverojen uudistustarpeesta	64
6.1	TIMES-VTT-energiajärjestelmämallin kuvaus	64
6.2	Vaihtoehtoisten energiaverotarkasteluiden kuvaukset	66
6.2.1	Tarkastellut laskentavaihtoehdot.....	66
6.2.2	WAM-skenaarioiden keskeiset oletukset	67
6.2.3	Tarkastellut veromuutosten vaihtoehdot	68
6.2.4	Politiikkaskenaarioiden yhteiset oletukset	69
6.3	Vaikutukset energiajärjestelmään ja KHK-päästöihin	69
6.3.1	Vaikutukset kasvihuonekaasujen päästöihin	69
6.3.2	Vaikutukset energiajärjestelmään	74
6.4	Vaikutukset valtion verotuottoihin	83
6.5	Johtopäätöksiä energiaverojen vaikutusarvioista	85
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	88
7.1	Arvioita nykyisen energiaverotuksen toimivuudesta	89
7.2	Tapaustarkastelut energiaverojen muutosten vaikutuksista	91
7.3	Hiiilineutraalisuuden saavuttaminen.....	93
	Kirjallisuusviitteet	94

LIITTEET

Liite A: Mallitarkastelujen tuloksia

Abstract

Tiivistelmä

Symbolilista

CHP	Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (combined heat and power production)
ETSAP	Energy Technology Analysis Programme
EU	Euroopan unioni
F-kaasut	Fluoratut kasvihuonekaasut ovat usean kemiallisen yhdisteen muodostama ryhmä kasvihuonekaasuja. Niihin kuuluvat fluorihilivedyt (HFC-yhdisteet), perfluorihilivedyt (PFC-yhdisteet) ja rikkiheksafluoridi (SF6).
HY	Helsingin yliopisto
IEA	International Energy Agency
ILMO	Liikenne- ja viestintäministeriön asettama liikenteen ilmastopolitiikan työryhmä ajalle 12.4.–12.12.2018
KAISU	Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma
KHK	Kasvihuonekaasupäästö
LULUCF	Maan käyttö, maankäytön muutos ja metsäsektori (Land Use, Land Use Change and Forestry)
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
VATT	Valtion taloudellinen tutkimuskeskus
VM	Valtionvarainministeriö
VN	Valtioneuvosto
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
YM	Ympäristöministeriö

1 Johdanto

Tiina Koljonen

1.1 Nykyiset energiaverot ja –tuet

Energiaverot ovat valmisteveroja, jotka kohdistuvat energiatuotteen kulutukseen, eli sähkön ja polttoaineiden käyttöön. Energiaverojen tarkoituksena on paitsi kartuttaa valtion tuloja myös ohjata kulutusta ympäristöllisesti kestävään suuntaan. Energiaverot ovat suurin valmisteveroluokka Suomessa ja vuonna 2017 energiaverojen kokonaiskertymä oli lähes 4 600 miljoonaa euroa (i. 65 % yhteenlasketuista valmisteveroista). Euroopan Unionissa (EU) tietyt valmisteverot on yhdenmukaistettu EU-direktiiveillä, joka tarkoittaa sitä, että tuotteet ovat valmisteverollisia koko EU:ssa ja niille on asetettu minimiverotaso (VM 2019 & Verohallinto 2019).

Nestemäiset polttoaineet, sähkö ja eräät muut polttoaineet kuuluvat harmonisoidujen valmisteverojen piiriin, joita säädellään neuvoston direktiiveillä (EY 2003 & EY 2009) ja direktiivit ovat toteutettu kansallisilla laeilla (Finlex 1994 & 1996).

Polttoaineiden valmisteverot koostuvat energiasisältöverosta ja hiilidioksidiverosta. Energiasisältövero määritetään polttoaineen lämpöarvon perusteella ja hiilidioksidivero huomioiden kasvihuonekaasupäästöt polttoaineen koko elinkaaren ajalta. Elinkaariperusteista hiilidioksidiveroa on sovellettu liikenteen polttoaineiden verotuksessa vuodesta 2012 lähtien, mutta lämmöntuotannon polttoaineiden käytön verotuksessa vastaavaan laskentaperusteeseen siirryttiin vasta 1.1.2019. Tätä ennen hiilidioksidivero perustui lämmityspolttoaineiden poltosta syntyvään hiilidioksidin ominaispäästöön. Poikkeuksen energiaverotukseen muodostavat yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP) ja turpeen verotus, jotka molemmat maksavat ympäristöperusteista veromallia alhaisempaa polttoaineveroa. Vuoden 2018 loppuun asti CHP-tuotantoa tuettiin puolittamalla lämmityspolttoaineiden hiilidioksidivero (ns. CHP-veroleikkuri). Vuoden 2019 alusta lähtien hiilidioksidiveron puolituksen luovuttiin, mutta samalla alennettiin yhdistetyssä tuotannossa käytettyjen polttoaineiden energiasisältöveroa tavoitteena parantaa CHP-tuotannossa maakaasun asemaa suhteessa kivihiileen. Turpeen käytöstä ei kanneta energiasisältö- ja hiilidioksidiveroa, vaan ns. energiaveroa. Turpeen energiaveroa nostettiin myös vuoden 2019 alusta lähtien, mutta se on edelleen turpeen energiasisältöön ja elinkaa-

ripäästöihin nähden hyvin alhainen verrattuna muiden lämmityspolttoaineiden verokoteluun. Lisäksi alle 5 000 MWh turpeen vuosikäyttö lämmityksessä on vapautettu verovelvollisuudesta. Nestemäisistä biopolttoaineista, kuten biopolttoöljystä, kannetaan veromallin mukainen polttoainevero. Sitä vastoin kiinteistä ja kaasumaisista uusiutuvista energialähteistä ei makseta energiaveroa. Lämmöllä, kuten esimerkiksi maalämmöllä, ei ole veroa, vaan vero kannetaan lämmöntuotannon polttoaineista.

Sähkön kulutusta verotetaan kulutuksen mukaan ja se on porrastettu kahteen veroluokkaan. Veroluokkaan 1 kuuluvat kotitaloudet, julkinen sektori, rakentaminen sekä palvelutoiminnot. Veroluokkaan 2 kuuluvat teollisuus, kaivostoiminta, konesalit ja ammattimainen kasvihuoneviljely ja myös muu maatalous, joille sähköveron alennus toteutetaan palautuksena. Konesaleilla tarkoitetaan kokonaisteholtaan yli 5 MW laitetilaa, jossa yritys harjoittaa tietopalvelutoimintaa, tietojenkäsittelyä, palvelintilan vuokrausta ja siihen liittyviä pääasiallisena elinkeinonaan. Sähkövero luokassa 1 on 2,24 snt/kWh (22,4 €/MWh) ja vastaavasti luokassa 2 0,69 snt/kWh (6,90 €/MWh). EU:n asettama vähimmäisvero luokassa 1 on 0,1 snt/kWh (1,0 €/MWh) ja luokassa 2 0,05 snt/kWh (0,5 €/MWh). Pienimmät sähkön tuottajat (enintään 100 kVA nimellisteho) on vapautettu sähköverovelvollisuudesta, jolloin ne voivat käyttää verottomasti itse tuottamansa sähkön tai siirtää sähkön verottomasti sähköverkkoon edelleen muualla kulutettavaksi. (joko veroluokan 1 tai 2 mukaisesti verotettuna.) (Verohallinto 2019).

Suomen energiaverojärjestelmä sisältää myös joukon energiatukia, jotka ovat yhteenlaskettuna suuruusluokaltaan noin puolet energiaverojen kokonaiskertymästä. Näitä ovat edellä mainitut sähköveron alennus (veroluokka 2), CHP:n ja turpeen alennetut verotasot. Näiden lisäksi energiaverotukseen liittyy merkittäviä valmisteverojen palautusjärjestelmiä, kuten maatalouden ja energiaintensiivisten yritysten veronpalautukset. Ammattimaisella maataloudenharjoittajalla on oikeus hakemuksesta saada maataloudessa käyttämästään rikittömästä kevyestä polttoöljystä, biopolttoöljystä, raskaasta polttoöljystä ja sähköstä valmisteveron palautusta. Palautuksen suuruus on sähköstä 1,55 snt/kWh ja kevyestä rikittömästä polttoöljystä 7,5 snt/l (Finlex 2006). Energiaintensiivisillä yrityksillä on mahdollisuus hakea takaisin 85 % tuotteista maksettujen tai niiden hankintahintaan sisältyneiden valmisteverojen määrästä, mikäli valmisteverot ovat suuremmat kuin 0,5 % yrityksen jalostusarvosta. Energiaveron palautuksia voi hakea sähköstä, turpeesta, kivihiilestä, maakaasusta, nestekaasusta, mäntyöljystä sekä kevyestä ja raskaasta polttoöljystä ja biopolttoöljystä maksetuista valmisteveroista (Verohallinto 2019). Suomen nykyisen energiaverojärjestelmän toimivuutta on käsitelty syvällisemmin luvussa 3. Lisäksi vaihtoehtoisten energiaveroratkaisuiden vaikutusarvioita Suomen energiataseeseen ja KHK-päästöihin on käsitelty luvussa 6.

1.2 Energia- ilmastopolitiikka sekä EU-laajuinen päästökauppa

EU:n tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. Päästövähennystavoite päästökauppasektorin osalta on 43 prosenttia ja vastaavasti päästökaupan ulkopuoliselle, eli taakanjakosektorille, 30 prosenttia verrattuna vuoteen 2005. Lisäksi uusiutuvan energian osuudelle on asetettu EU-tasolla 32 prosentin ja energiatehokkuudelle 32,5 prosentin lisäystavoitteet.

Taakanjakoasetuksen mukaan Suomen on vähennettävä päästöjään vähintään 39 prosenttia vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Energia- ja ilmastostrategiassa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017) ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmassa eli KAISU:ssa (Ympäristöministeriö 2017) linjataan, millä toimin Suomi saavuttaa EU:n asettamat energia- ja ilmastotavoitteet. Vuodelle 2030 asetettuja toimia ovat muun muassa:

- Luovutaan kivihien käytöstä energiantuotannossa vuonna 2029.
- Lisätään uusiutuvan energian käyttö vähintään 50 %:n energian loppukulutuksesta ja energianhankinnan omavaraisuus 55 %:n
- Puolitetaan tuontiöljyn (fossiilisen moottoribensiinin, dieselin, lentobensiinin, kerosiinin sekä kevyen ja raskaan polttoöljyn) kotimaan käyttö
- Lisätään uusiutuvaa sähkön tuotantokapasiteettia 2 TWh vuosien 2018–2020 kilpailutuksen tuloksena.
- Lisätään sähkökäyttöisten autojen määrä vähintään 250 000 (täyssähköautot, vetyautot, ladattavat hybridit) ja vastaavasti kaasukäyttöisten autojen määrä vähintään 50 000 tasolle vuonna 2030.
- Nostetaan tieliikenteen biopolttoaineiden jakelun tavoite 30 %:in ja otetaan käyttöön 10 %:n bionesteen sekoitusvelvoite rakennusten erillislämmityksessä käytettävälle kevyelle polttoöljylle ja työkoneiden moottoripolttoöljylle.

Taakanjakosektorilla suurin päästövähennyspotentialiaali on liikennesektorilla, joka tuottaa noin viidennesen Suomen nykyisistä kasvihuonekaasupäästöistä ja liikenteen osuus taakanjakosektorin nykyisistä päästöistä on noin 40 %. KAISU:n mukaan tavoitteena on, että liikenteen kasvihuonekaasupäästöt puolitetaan vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä.

Edellä esitetyt energia- ja ilmastotavoitteet on huomioitu laskennallisten analyysien kaikissa skenaarioissa, eli myös vertailuskenaariossa edellä esitettyjen tavoitteiden oletetaan toteutuvan (vrt. luvut 1.3 ja 6.2).

Energiaverojen lisäksi merkittävä ohjauskeino KHK-päästöjen vähentämiseksi on EU-laajuinen päästökauppa, joka käynnistyi vuonna 2005. Kasvihuonekaasupäästöjä tuottavat sektorit on EU-päästökaupassa jaettu päästökauppasektoriin ja päästökaupan ulkopuoliseen, eli ns. taakanjakosektoriin. Päästökauppasektorille kuuluvat suurin osa energiantuotannosta, energiantensiivinen teollisuus, EU:n sisäinen lentoliikenne sekä tietyt kemianteollisuuden prosessit. Taakanjakosektoriin kuuluvat esimerkiksi liikenne, rakentaminen, pienimuotoinen energiantuotanto, maatalous ja jätesektori. EU on asettanut jäsenmailleen taakanjakosektorille KHK-

päästövähennystavoitteet vuosille 2020 ja 2030, ja tavoitteen saavuttamista ohjataan kansallisella lainsäädännöllä. Energiaverot ovat merkittävä ohjauskeino erityisesti liikennesektorilla mutta myös erillisessä rakennusten lämmöntuotannossa. Koska sähköntuotannon polttoaineista ei makseta valmisteveroa, EU-päästökauppa on merkittävin ohjauskeino KHK-päästöjen vähentämiseksi sähköntuotannossa. Keskitettyyn lämmöntuotantoon sen sijaan kohdistuu päällekkäistä ohjausta, jota osittain kompensoidaan edellä esitetyn CHP-tuotannon valmisteverojen alennuksella ja turpeen alhaisella energiaverolla.

Päästökaupan piiriin kuuluvat yritykset ovat saaneet osan päästöoikeuksistaan ilmaiseksi, mutta EU:n päästövähennystavoitteen ja ns. päästökaton kiristyessä ilmaiseksi jaettavien päästöoikeuksien määrää on laskettu ja lasketaan myös jatkossa EU:n päästökauppadirektiivin mukaisesti. Päästökaupan piiriin kuuluvat yritykset joutuvat siten vähentämään KHK-päästöjään tai ostamaan päästöoikeuksia markkinoilta. Nykyään esimerkiksi päästökaupan piiriin kuuluva sähköntuotanto joutuu ostamaan kaikki tarvitsevansa päästöoikeudet huutokaupasta. Toisaalta rajatut teollisuuden toimialat voivat saada päästökaupan epäsuorien kustannusten kompensaatiotukea, jonka tarkoitus on korvata päästökaupan mahdollisesti aiheuttama epäsuora lisäkustannus sähkön markkinahintaan. Päästökauppakompensaatiotuki määräytyy yrityksen historiallisen viitejakson sähkönkulutukseen. Päästökauppaan liittyvät EU-direktiivit on esitelty taulukossa 1. Päästökauppa, sen kehitystä ja päästöohjausvaikutuksia on käsitelty tarkemmin luvuissa 3 ja 4.

1.3 Työn tavoite ja menetelmät

Valtioneuvoston selontekoon keskipitkän aikavälin ilmastopoliitikan suunnitelmasta (Ympäristöministeriö 2017) oli kirjattu, että ilmastolain mukaisessa pitkän aikavälin suunnitelmassa tullaan tarkastelemaan vuodelle 2045 asetettavaa hiilineutraalisuustavoitetta. Tämän selvityksen tavoitteena oli arvioida, miten eri ohjauskeinoja yhteen sovitamalla tuetaan hiilineutraalisuuteen siirtymistä 2045 mennessä siten, että energiantuotanto olisi 95 prosenttisesti päästötön vuonna 2040. Tarkastelujen painopiste oli energiaverotuksessa. Hiilineutraalisuudella tarkoitetaan tässä raportissa sitä, että Suomen kasvihuonekaasupäästöjen määrä päästökauppa- ja taakanjakosektorilla on yhtä suuri kuin maankäyttösektorin (LULUCF-sektori) nettohiilinielu annettuna tavoitevuonna. Lisäksi tavoitteena oli arvioida mahdollisten veromuutosten taloudellisia vaikutuksia. Uuteen hallitusohjelmaan (Valtioneuvosto 2019) on kuitenkin kirjattu, että hiilineutraalisuutta tavoitellaan vuoteen 2035 mennessä, mikä ei ollut tiedossa selvityksen tekovaiheessa eikä siten mukana laskennallisissa analyyseissä.

Selvitykseen ei lukeudu liikenne ja liikenteen verotus. Lisäksi 95 % päästövähennystavoite vuoteen 2040 mennessä rajattiin sähkön, lämmön ja prosessihöyryn tuotantoon, eli se ei koskenut laskennallisissa analyyseissä prosessiperäisiä kasvihuonekaasupäästöjä, kuten sementti-, teräs- ja kemianteollisuuden päästöjä. Sekä liikenteen että teollisuuden KHK-päästövähennystoimet ja –teknologiat ovat kuitenkin

mukana laskennallisissa energiajärjestelmätarkasteluissa. Liikenteen osalta laskelmien lähtökohtana oli liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän (I. ILMO-työryhmä) esittämä toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045 ja loppuraportissa (LVM 2018) esitettyjen toimenpiteiden mukainen päästövähennyspolku (ks. luku 6).

Luvussa 2 on esitetty tiivistelmä päästöohjauksen sääntelyn nykytilasta sekä EU:n että Suomen näkökulmista. VTT on laatinut yhteistyössä muiden tutkimuslaitosten kanssa vaikutusarviot vuoteen 2030 ulottuvaan energia- ja ilmastostrategiaan ja keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaan, jotka ovat lähtökohtana myös tämän selvityksen laskennallisten analyysille (Koljonen et al. 2017a & Koljonen et al. 2017 b). Lisäksi helmikuussa 2019 julkaistu selvitys pitkän aikavälin päästökaiketyksestä (Koljonen et al. 2019) on lähtökohtana vuoteen 2050 ulottuville laskennallisille tarkasteluille. Missään näissä analyysissä ei kuitenkaan arvioitu energiaverohjauksen potentiaalia päästöjen ohjauksessa.

Luvussa 3 on arvioitu nykyisen energiaverorakenteen toimivuutta perustuen tilastolliseen analyysiin ja laadulliseen meta-analyysiin. Työn taustalla on VATT:in aiemmat tutkimukset yritystuista ja kilpailukyvystä (Laukkanen & Maliranta 2019, Laukkanen, Ollikka & Tamminen 2019, Harju ym. 2016).

Muiden ohjauskeinojen toimivuutta on arvioitu luvussa 4. Tarkastelut painottuvat EU:n päästökauppaan ja sen toimivuuteen nykytilanteessa ja tulevaisuudessa. Luvussa 5 on arvioitu teknologisia keinoja vähentää KHK-päästöjä teollisuudessa sekä sähkön ja lämmön tuotannossa Suomen näkökulmasta. Lisäksi on arvioitu energiamarkkinoiden kehitystä ja eri energiatuotantomuotojen kilpailukykyä.

Vaihtoehtoisten energiaverotarkasteluiden lähtökohdat ja mallitarkasteluiden tulokset on esitetty luvussa 6. Tulosten esittämisessä on keskitytty KHK-päästöjen, Suomen energiataseeseen sekä valtion verokertymien kuvaamiseen. Luvussa 7 on lopuksi esitetty keskeiset johtopäätökset perustuen eri tarkasteluiden tuloksiin.

2 Päästöohjauksen sääntelyn nykytila

Hanne Siikavirta

2.1 EU:n tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi

EU:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella on 20 % verrattuna vuoden 1990 tasoon. EU:n jäsenmaiden yhteinen vähennystavoite vuodelle 2020 päästökauppasektorilla on 21 prosenttia ja päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla 10 prosenttia verrattuna vuoden 2005 tasoon. Päästökaupan ulkopuolisten sektoreiden tavoite on jaettu jäsenmaakohtaisesti. Kasvihuonekaasupäästöjä vähentävät myös energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian edistäminen.

EU:n tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. Tämä on myös EU:n ilmoittama panos Pariisin sopimuksen päästövähennyksiin. Päästövähennystavoite päästökauppasektorin osalta on 43 prosenttia ja päästökaupan ulkopuolisen sektorin osalta 30 prosenttia verrattuna vuoteen 2005. 2030 paketissa on mukana myös maankäyttöä, maankäytön muutosta ja metsiä koskevan LULUCF-sektorin tavoite ja toimet. Lisäksi uusiutuvan energian osuutta tulee EU-tasolla lisätä 32 prosenttia ja energiatehokkuutta parantaa 32,5 prosenttia. Uusiutuvan energian osuus laskeetaan energian loppukulutuksesta. Energiatehokkuuden parantamistavoitteen saavuttamiseksi jäsenvaltioiden on asetettava ohjeelliset kansalliset energiatehokkuuspanoksensa siten, että ne ottavat huomioon, että unionin energiankulutus vuonna 2030 saa olla enintään 1 273 Mtoe primäärienergiaa ja/tai enintään 956 Mtoe loppuenergiaa.

Euroopan komissio julkaisi 28.11.2018 tiedonannon ”EU:n strateginen pitkän aikavälin visio vauraasta, modernista, kilpailukykyisestä ja ilmasto-neutraalista taloudesta”. Tiedonannossa on tarkasteltu useita eri päästövähennyskkenaarioita, ml. lukien skenaariot joissa tarkastellaan nettonollapäästöjä vuonna 2050 ja negatiivisia päästöjä tämän jälkeen. Komission mukaan EU:n tulee pyrkiä nettonollapäästöihin eli hiilineutraaliuteen vuonna 2050.

Keskeiset kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen liittyvät EU-säädökset ja tiedonannot on esitetty alla (**Taulukko 1**).

Taulukko 1. Keskeiset EU-säädökset ja tiedonannot

Sektori	2020	2030	2050
Poikkileikkaava		Energiaunionin hallintomalliasetus (2018/1999/EU) ¹	EU:n strateginen pitkän aikavälin visio vauraasta, modernista, kilpailukykyisestä ja ilmastoneutraalista taloudesta (COM(2018) 773) ²
Päästökauppa	Uudistettu päästökauppadirektiivi (2003/87/EY, 2009/29/EY)	Uudistettu päästökauppadirektiivi (2018/410/EU) ³	
Päästökaupan ulkopuoliset sektorit	Taakanjakopäätös (206/2009/EY)	Taakanjakoasetus (2018/842/EU) ⁴	
Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF)		LULUCF-asetus (2018/841/EU) ⁵	
Uusiutuvan energian edistäminen	Direktiivi uusiutuvan energian edistämisestä (2009/28/EY)	Uusiutuvan energian direktiivi (2018/2001/EU) ⁶	
Energiatehokkuuden edistäminen	Energiatehokkuusdirektiivi (2012/27/EU)	Energiatehokkuusdirektiivi (2018/2002/EU) ⁷ Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2018/844/EU) ⁸	

2.2 Kansalliset tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi

EU:n vuoteen 2030 ulottuvassa ilmastopolitiikassa määritellään jäsenmaakohtaiset tavoitteet päästökaupan ulkopuolisille sektoreille ja LULUCF-sektorille. Taakanjakoasetuksen mukaan Suomen on vähennettävä päästöjään vähintään 39 prosenttia

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>

² https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_en.pdf

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0410&from=DE>

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0842>

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841>

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>

⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>

vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. LULUCF-asetuksen mukaisesti tavoitteena on, että sektorin päästöt eivät ylitä poistumia kausina 2021-2025 ja 2026-2030. LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöjä ja nieluja seurataan asetuksessa olevien laskentasääntöjen mukaisesti. Taakanjako- ja LULUCF-asetus sisältävät myös erilaisia joustokeinoja, joita voidaan hyödyntää velvoitteiden saavuttamisessa.

Hallintomalliasetuksen yksi keskeinen elementti ovat kansalliset ilmasto- ja energiasuunnitelmat. Komission on antanut jokaiselle jäsenvaltiolle sen suunnitelmaa koskevat suositukset kesäkuun 2019 lopussa. Lopulliset suunnitelmat hyväksytään vuoden 2019 loppuun mennessä yhdessä jäsenvaltioiden ja komission kesken. Lisäksi hallintomalliasetus edellyttää, että jäsenvaltiot laativat 1.1.2020 mennessä pitkän aikavälin vähähiilistrategian, joka ulottuisi vuoteen 2050 saakka.

Suomen kansallinen ilmasto- ja energiasuunnitelmaluonnos pohjautuu kansalliseen energia- ja ilmastostrategiaan vuodelta 2016 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017) ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaan vuodelta 2017. Suomen kansallinen ilmasto- ja energiasuunnitelmaluonnos sisältää taakanjako- ja LULUCF-asetuksen mukaiset kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteet. Näiden lisäksi suunnitelmaluonnos sisältää tavoitteet uusiutuvalla energialle, uusiutuvalla energialle tieliikenteessä sekä energiatehokkuudelle.

Kansallisessa ilmastolaissa (Finlex 2015) asetetaan pitkän aikavälin kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteeksi vähintään 80 prosenttia vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 päästötasoon. Pitkän aikavälin päästövähennystavoite koskee kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä, mutta keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma koskee vain päästökaupan ulkopuolista sektoria eli maatalouden, liikenteen, jätteiden, teollisuuden F-kaasuja ja rakennusten erillislämmityksen kasvihuonekaasupäästöjä.

3 Arviot nykyisen energiaverorakenteen toimivuudesta

Evangelos Kyritsis, Marita Laukkanen ja Kimmo Ollikka

Tämä osio kuvaa energiaverotuksen nykyrakennetta Suomessa sähkön ja lämmön tuotannon sekä teollisuuden polttoaineiden käytön näkökulmasta. Koska sähkön tuotanto sekä lämmön tuotanto ja teollisuus kuuluvat myös Euroopan Unionin päästökauppaan, osiossa tarkastellaan myös päästökauppaa energiaverotuksen kanssa rinnakkaisena tapana hinnoitella teollisuuden päästöjä sekä lämmön tuotannon päästöjä. Sähkön tuotannon polttoaineiden ja teollisuuden prosessipäästöjen hintaohjaus perustuu ainoastaan päästökauppaan, sillä niistä ei peritä energiaveroa. Taustaksi kuvataan myös merkittävimmät energiankäyttöön liittyvät valtiontuet, sähkön ja lämmön tuotannon sekä teollisuuden polttoaineiden käytön nyky rakenne sekä päästöjen hinnoittelun laajuus kansainvälisesti. Lisäksi esittelemme tutkimuksia, joissa hiilidioksidipäästöjen hinnoittelun vaikutuksia energiankäytön suuntaamiseen on arvioitu empiirisesti. Lopuksi arvioimme kuinka toimiva energiaverojen päästöjen vähentämisen näkökulmasta talousteorian ja aikaisemman empiirisen tutkimustiedon valossa.

3.1 Lainsäädännön mukaiset energiaverot energialähteittäin

Energiaveroa maksetaan nestemäisistä polttoaineista, sähköstä ja lämmön tuotantoon käytetyistä polttoaineista, kuten kivihilestä ja maakaasusta. Valmisteveroa ei makseta polttoaineista, joita käytetään esimerkiksi energianlähteenä öljynjalostusprosessissa, teollisessa tuotannossa raaka- tai apuaineena, välittömässä ensikäytössä tavarantoimittajan valmistuksessa, sähköntuotannossa tai alusliikenteen polttoaineena muuten kuin yksityisessä huvialuksessa.⁹

Kuva 1 esittää energiaverot energiayksikköä kohden tärkeimmille energialähteille.¹⁰ Kuvioon ei ole merkitty verottomia kiinteää ja kaasumaista biomassaa. Energiaverot esitetään kaikkien valmisteverojen summana eli mukana ovat energiasältövero ja CO₂-vero (vuodet 2011-2019) tai perusvero ja lisävero (vuosi 2010). Näin nähdään, mikä on kunkin energialähteen todellinen valmistevero kokonaisuudessaan, energiasältöön suhteutettuna.

⁹ Polttoaineiden verotuksesta säädetään laissa nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta (1472/1994) ja laissa sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996). Kattava listaus valmisteverottomista energialähteistä ja energiaverotuksesta tarkemmin Verohallinnon ohjeissa: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverot/>.

¹⁰ Energiaveroihin on laskettu energiasältövero ja CO₂-vero (vuodet 2011-2019) tai perusvero ja lisävero (vuosi 2010). Biopolttoöljyn osalta R tarkoittaa tuotetta, joka täyttää biopolttoaineista ja bionesteistä annetussa laissa (393/2013) säädetyt kestävyyskriteerit ja T tarkoittaa tuotetta, joka täyttää kestävyyskriteerit ja on tuotettu jätteistä, lähteistä, syötäväksi kelpaamattomasta selluloosa-aineksesta tai lignoselluloosasta.

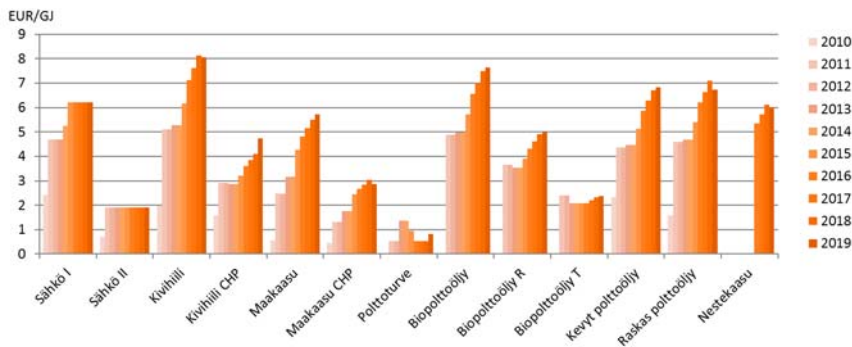
Teollisuuden sähkövero on nykyisellään huomattavasti alhaisempi kuin fossiilisten polttoaineiden verot. Nykyinen energiaverojen rakenne suosii lisäksi selvästi turvetta, sillä turvetta verotetaan polttoaineista kaikkein vähiten energiasisältöön suhteutettuna. Toisaalta sähkön verotus on kevyempää kuin fossiilisten polttoaineiden verotus, mikä osaltaan tuottaa kannustimen siirtymään teollisuudessa fossiilisista polttoaineista sähköön.

Lämmöntuotannossa ja yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotannossa (CHP) käytetty turve on kevyimminkin verotettu polttoaine, verottomien puupolttoaineiden jälkeen.¹¹

CHP-laitoksissa sähköntuotantoon käytetyt polttoaineet ovat verottomia. CHP-laitosten lämmön tuotannon verolliset polttoaineet määritellään puolestaan kulutukseen luovutetun lämmön perusteella. Vero suoritetaan polttoainemäärästä, joka saadaan kertomalla kulutukseen luovutettu lämpö kertoimella 0,9, joka keskimäärin vastaa lämmölle hyödynjakomenetelmällä allokoitavaa polttoaineosuutta. Jos oletetaan CHP-laitoksien hyötysuhteeksi noin 90 prosenttia, niin CHP-laitosten lämmön tuotannon efektiiviset verotasot ovat silloin noin 80 prosenttia vastaavan hyötysuhteen omaavan lämmityslaitoksen verotasoista. Lisäksi CHP-laitosten lämmön tuotannossa hiilidioksidivero oli vuosina 2011-2018 puolet normaalista CO₂-verosta. Vuoden 2019 alusta CHP-laitosten CO₂-vero muutettiin muuta polttoa vastaavaksi, mutta CHP-laitoksissa poltettavien kivihiilen ja maakaasun energiasisältövero poistettiin¹². Tämä nosti kivihiilen verotusta ja laski maakaasun veroa CHP-laitosten lämmön tuotannon polttoaineissa. Kaikkiaan CHP-laitoksissa poltettujen polttoaineiden verotasot ovat noin 50-60 prosenttia muiden laitosten lämmön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden verotasoista.

¹¹ Turpeen ja mäntyöljyn verotus ei nykyisellään perustu ympäristöperusteiseen veromalliin – niistä ei kanneta energiasisältö- ja hiilidioksidiveroa vaan erillistä energiaveroa. (HE 191/2018)

¹² Tarkemmin (1260/1996, 4 §): "Jos kivihiiltä tai maakaasua käytetään yhdistetyssä sähkö- ja lämmön tuotannossa, energiasisältövero alennetaan 100 prosentilla verotaulukossa säädetystä."



Kuva 1. Energiaverot energialähteittäin 2010-2019. CHP-laitoksien efektiiviset verotaso ovat noin 80 % vastaavan hyötysuhteen omaavan lämmityslaitoksen verotasoista - oletuksena CHP-laitoksille 90 % hyötysuhde. Lisäksi on hyvä huomioida, että kiinteä ja kaasumainen biomassa ovat verottomia.

3.1.1 Energiaverotuksen päästöohjauksen voimakkuus

Hiilidioksidipäästöjen kustannustehokas vähentäminen edellyttää, että päästöille asetetaan päästökohdeesta tai sen sijainnista riippumaton yhtenevä hinta hiilidioksidiveron tai päästömaksujen avulla. Suuret poikkeamat päästöjen hinnoittelussa johtavat siihen, ettei päästöjä vähennetä siellä, missä se olisi edullisinta. Seurauksena päästöjen vähentämisen yhteiskunnallinen kustannus on suurempi. Lisäksi hiilidioksidipäästöjen hinnan tulisi riittävän korkealla tasolla, jotta se kattaisi päästöjen aiheuttamat yhteiskunnalliset kustannukset ja kannustaisi päästöjen vähentämiseen.

CO₂-päästöjen yhteiskunnallisia kustannuksia on arvioitu useassa tutkimuksessa. Esitetyt arviot vaihtelevat runsaasti (Tol 2018). Esimerkiksi OECD pitää yhteiskunnallisten kustannusten alarajana hintatasoa 30 euroa/tCO₂ (OECD 2018a). Tulevaisuuteen katsovia skenaariomalleja hyödyntävissä tutkimuksissa puolestaan on pyritty arvioimaan, millainen hiilidioksidin hinta tuottaisi jonkin tietyn tavoitteen mukaisen päästövähennyspolun. Esimerkiksi eri alojen tutkijoista koostuva komissio "High-Level Commission on Carbon Prices" arvioi, että hinnan pitäisi olla 40–80 dollaria/tCO₂ vuoteen 2020 mennessä ja 50–100 dollaria/tCO₂ vuoteen 2030 mennessä, jotta saavutettaisiin Pariisin sopimuksen mukaiset päästövähennykset (Maa-ilmankansio 2017).¹³

¹³ OECD on selvityksissään laskenut energiaverotuksen ja päästökauppajärjestelmien aiheuttamaa CO₂-päästöjen todellista hintaa eri maissa (OECD 2018a ja 2018b). Vuoden 2015 osalta laskelmat osoittavat, että hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu eroaa merkittävästi maittain, se ei ole riittävän kattavaa maailmanlaajuisesti ja hiilidioksidipäästöille asetettu maksu on pääsääntöisesti kaukana arvioista päästöjen yhteiskunnallisista kustannuksista. Yleisesti ottaen tieliikenteen polttoaineiden verotus on hiilidioksidipäästöjä kohden huomattavasti kireämpää kuin muiden sektoreiden. Lisäksi arvioissa ei ole kyetty huomioimaan kaikkia energiaverotuksen vähennyksiä tai palautuksia esimerkiksi energiantensiiviselle teollisuudelle.

Polttoaineiden vaihtamisen ja investointien kannalta merkitystä on hiilidioksidin hinnan lisäksi sillä, mitkä eri polttoaineista perittävien hiilidioksidiperusteisten maksujen sekä muiden verojen ja veroluonteisten maksujen väliset suhteet ovat. Investointipäätökset tehdään sen perusteella, mitkä eri energialähteiden hinnat ovat kokonaisuudessaan. Veroilla voidaan pyrkiä vaikuttamaan polttoaineiden suhteellisiin hintoihin. **Kuva 2** esittää keskeisimpien polttoaineiden valmisteverot Suomessa vuosina 2010-2019 siten, että energiasisältövero ja hiilidioksidivero on eritelty (vuoden 2010 osalta esitetään perusvero ja lisävero). Näin voidaan havainnollistaa sekä hiilidioksidiveroja nykyisessä energiaverorakenteessa että eri energialähteiden kaikkien valmisteverojen suhdetta toisiinsa.



Kuva 2. Energiasisältövero ja hiilidioksidivero eri energiamuodoille 2010-2019. (*Vuosi 2010: Perusvero + lisävero.)

Energialähteiden vero CO₂-tonnia kohden on turvetta lukuun ottamatta noussut huomattavasti vuosina 2011-2019. **Taulukko 2** kuvaa hiilidioksidiveron perusteena käytettyä hiilidioksiditonin arvoa lämmitys- ja työkonepolttoaineille. Taulukkoon on vertailun vuoksi kuvattu vastaavat arvot myös liikennepolttoaineille. Vuonna 2010 energiaveron koostui perus- ja lisäverosta. Tällöin lisäveron perusteena oli hiilidioksiditonin arvo noin 20 euroa tonnilta. Vuodeksi 2018 energiaverotuksen perustana oleva hiilidioksiditonin arvo oli noussut jo 62 euroon tonnilta.

Lämmityspolttoaineiden osalta hiilidioksiditonin arvo laski vuonna 2019 siinä yhteydessä, kun hiilidioksidivero muutettiin kattamaan polttoaineiden elinkaariaikaiset kasvihuonekaasupäästöt (**Taulukko 2**)¹⁴. Verolaskennassa käytetty hiilidioksiditonin arvo on nyt 53 euroa. Lämmityspolttoaineiden hiilidioksidiverojen verolaskennan

¹⁴ Elinkaaripäästöjen huomioiminen siten, että verotuotot olisivat pysyneet muuttumattomina, olisi laskenut verolaskennassa käytetyn hiilidioksiditonin arvon 52 euroon. Arvo 53 sisältää samanaikaisesti tehdyn lämmityspolttoaineiden hiilidioksidiveron korotuksen 1 eurolla.

perusteena olevat tiedot polttoaineiden lämpöarvoista ja hiilidioksidipäästöistä päivitettiin myös uusimpiin, mikä sai aikaan pieniä muutoksia energiasisältöön suhteutetuissa hiilidioksidiveroissa vuoden 2019 alussa (**Kuva 2**)¹⁵. Kokonaisuudessaan lämmityspolttoaineiden verotasot pysyivät kuitenkin jokseenkin muuttumattomina.

Liikennepolttoaineille vastaava laskentamuutos tehtiin vuonna 2012. Tuolloin CO₂-veron perusteena ollutta hiilidioksiditonin arvoa nostettiin ensin vuoden alussa 60 eroon tonnilta. Arvo laskettiin myöhemmin samana vuonna takaisin 50 euroon hiilidioksiditonnilta, kun polttoaineiden hiilidioksidipäästöihin laskettiin mukaan niiden elinkaariaikaiset päästöt. Myöskään tällöin hiilidioksiditonin arvon lasku ei vaikuttanut liikennepolttoaineiden verotasoihin.

Taulukko 2. Lämmitys- ja liikennepolttoaineiden CO₂-veron laskentaperusteena olevan hiilidioksiditonin arvo 2011-2019 (EUR/tCO₂).

	2010	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19
Lämmitys- ja työ-konepolttoaineet	20**	30	30	35	35	44	54	58	62	53*
Liikennepolttoaineet	20**	50	60 / 50*	50*	58*	58*	58*	62*	62*	62*

* Liikennepolttoaineilla vuodesta 2012 ja lämmityspolttoaineilla vuodesta 2019 on huomioitu myös elinkaari-päästö.

** Vuoden 2010 osalta taulukossa on silloisen lisäveron perusteena käytetty hiilidioksiditonin arvo.

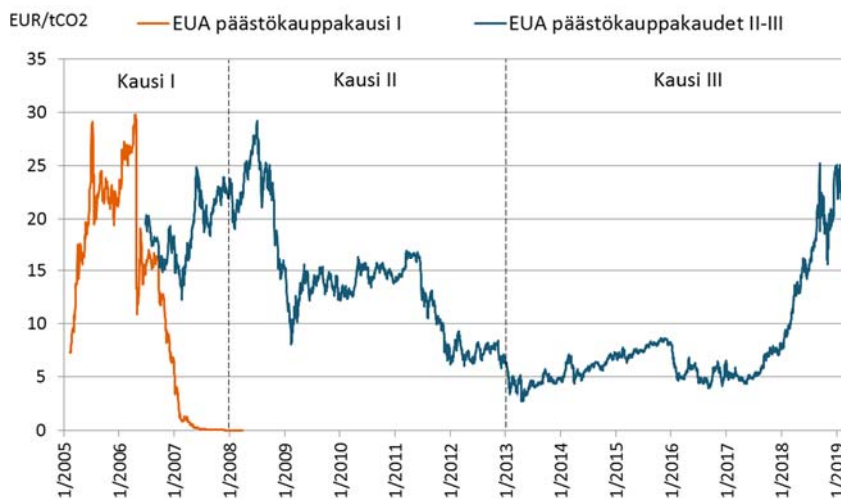
Lähteet: Hallituksen esitykset HE 147/2010, HE 53/2011, HE 26/2012, HE 91/2012, HE 110/2013, HE 128/2014, HE 34/2015, HE 136/2016, HE 138/2017, HE 191/2018.

Lämmitys- ja liikennepolttoaineiden hiilidioksidivero on viime vuodet ollut merkittävästi suurempi kuin EU:n päästöoikeuden hinta. **Kuva 3** esittää EU päästöoikeuden hintakehityksen EU:n päästökaupan alusta asti. Kuluvalle päästökaupakaudella III päästöoikeuden hinta on korkeimmillaan ollut lähes 30 euroa/tCO₂. Silti lämmityspolttoaineista maksettavat verot ovat merkittävästi korkeammat kuin päästöoikeuden hinta. Monien lämmityspolttoaineiden vero CO₂-tonnia kohden on jo tasolla tai yli verotasojen, joilla on katsottu olevan riittävää ohjausvaikutusta Pariisin ilmastopimuksen velvoitteiden kannalta.¹⁶ Tämä ei yksin kuitenkaan tarkoita, että koko verorakenne kokonaisuudessaan tuottaisi toivotun päästöohjauksen. Suomessa sähköntuotannon päästöt ovat jo verrattain alhaiset. Valmistavan teollisuuden päästöjä voitaisiin saada edelleen vähennettyä sähköistymisen kautta. Tällöin keskeistä on se, että verotus ja päästökauppa tuottavat valmistavalle teollisuudelle kannustimia siirtyä polttamisesta päästöttömästi tuotetun sähkön käyttöön. Tältä osin nykyisiä energiasisältöverojen ja hiilidioksidiverojen suhteellisia tasoja (**Kuva 2**) voi pitää

¹⁵ Energiasisältöön muutettuna kivihillen hiilidioksidivero laski 6,01 eurosta gigajoulelta 5,95 euroon gigajoulelta ja raskaan polttoöljyn 4,97 eurosta gigajoulelta 4,62 euroon gigajoulelta kun taas maakaasun hiilidioksidivero nousi 3,41 eurosta gigajoulelta 3,59 euroon gigajoulelta ja kevyen polttoöljyn 4,61 eurosta gigajoulelta 4,71 euroon gigajoulelta.

¹⁶ Erityisesti, jos mukaan lasketaan sekä energiasisältövero että CO₂-vero.

päästötavoitteiden suuntaisena. Suomen hiilidioksidiveron käyttöönoton ja asteittaisen kiristämisen vaikutuksista valmistavan teollisuuden energiankäyttöön ei kuitenkaan ole toistaiseksi saatavilla yritysten toteutuneeseen energiankäyttöön perustuvia empiirisiä tutkimustuloksia.



Kuva 3. EU päästöoikeuden (EUA) hintakehitys 1/2005 - 3/2019.
Lähteet: NordPool, ICE, Sandbag.

3.1.2 Teollisuuden energiaverojen palautukset

Energiaintensiivinen teollisuus saa suuren osan maksamistaan energiaveroista palautuksena takaisin. Edellä tarkasteltiin suoraan lainsäädännöstä tulevia valmisteveroja eikä energiaverojen palautuksia huomioitu (**Kuva 1** ja **Kuva 2**). **Taulukko 3** näyttää energiaverojen palautusten osuuden maksetuista energiaveroista (%) eri toimialoilla. Palautusprosentit on laskettu toimialoittain yhteenlaskettujen veronpalautusten ja maksettujen energiaverojen välisenä suhteena. Keskimääräiset palautusprosentit ovat vuoden 2011 energiaverouudistuksen jälkeen vaihdelleet eri toimialoilla 40 ja 78 prosentin välillä. Kaikkiaan veronpalautuksiin oikeutetut yritykset ovat saaneet veronpalautuksina takaisin noin 70 prosenttia maksamistaan energiaveroista. Veronpalautuksia saavien yritysten lopulliset hiilidioksidiverot ovat alhaisemmat kuin muilla yrityksillä. Jos yritys esimerkiksi sai vuonna 2016 veronpalautuksina takaisin 70 prosenttia maksamistaan energiaveroista, sen lopullinen hiilidioksidi-vero lämmityspolttoaineiden osalta oli 16 euroa/tCO₂, kun vero normaalisti olisi ollut 54 euroa/tCO₂.

Taulukko 3. Energiaverojen palautusten osuus maksetuista energiaveroista (%) eri toimialoilla ja veronpalautusta saaneiden yritysten lukumäärä 2012-2016.

Toimiala (TOL 08)	2012	2013	2014	2015	2016
Elintarvikkeet	53 %	54 %	55 %	58 %	57 %
Sahatavara ja puutuotteet	50 %	47 %	43 %	43 %	48 %
Paperi ja paperituotteet	75 %	78 %	77 %	75 %	75 %
Kemikaalit ja kemialliset tuotteet	73 %	75 %	74 %	74 %	76 %
Muut ei-metalliset mineraalituotteet	50 %	48 %	50 %	40 %	50 %
Metallien jalostus	75 %	73 %	73 %	73 %	74 %
Muut	62 %	62 %	65 %	61 %	61 %
Kaikki veronpalautusta saaneet yritykset	71 %	72 %	72 %	71 %	71 %
Yritysten lukumäärä yhteensä	129	146	142	143	151

Lähteet: Tulli ja Verohallinto.

3.2 Päästökaupan kattavuus Suomessa

EU:n päästökauppaan kuuluvien suomalaisten laitosten osuus Suomen kokonaispäästöistä oli vuonna 2017 noin 45 prosenttia (Tilastokeskus 2018). Päästökauppa on rajattu koskemaan verrattain suuria tuotantolaitoksia. Siksi toimialojen välillä on vaihtelua siinä, kuinka suuri osa päästöistä kuuluu päästökauppaan. Päästökauppa hinnoittelee vain ne päästöt, jotka syntyvät päästökaupan piiriin kuuluvissa laitoksissa. Päästökauppaan kuuluvat teollisuuslaitokset ja lämmöntuotanto saavat osan päästöoikeuksista ilmaiseksi. Päästökaupan ohjausvaikutukseen vaikuttaa luonnollisesti se, mikä osuus päästöistä on päästökaupan piirissä. Ilmaiseksi jaettujen päästöoikeuksien määrä saattaa heikentää päästökaupan ohjausvaikutusta.

Tähän saakka kattavin EU:n päästökaupan vaikuttavuutta arvioinut tutkimus on Dechezleprêtre, Nachtigallin ja Venmansin (2018) tutkimus, jossa hyödynnetään tilinpäätöksiin perustuvia tietoja yritysten toteutuneista tuloksista. Tarkastelussa on mukana koko EU-alue ja yhteensä 1800 päästökauppaan kuuluvaa yritystä. Tutkimuksessa tarkastellaan päästökaupan vaikutuksia vuosina 2005-2012 vertaamalla päästökauppaan kuuluvia yrityksiä sellaisiin EU:ssa toimiviin yrityksiin, jotka ovat muuten hyvin samanlaisia mutta joiden hiilidioksidipäästöjä ei säädellä päästökaupalla. Päästökauppa vähensi säädeltyjen yritysten hiilidioksidipäästöjä 6 prosenttia ensimmäisellä päästökauppakaudella (2005-2007) ja 15 prosenttia toisella päästökauppakaudella (2008-2012). Teollisuuslaitokset, jotka saivat päästöoikeuksia enemmän kuin historiallisten päästöjensä verran, eivät keskimäärin vähentäneet

päästöjään. Myös Jaraiten ja Di Marian ensimmäistä päästökauppakautta ja sähköntuotantoa tarkastelleen tutkimuksen mukaan ilmaisjako oli yhteydessä heikompaan päästövähennyskehitykseen (Jaraitte ja Di Maria 2012).

Tulos ilmaisjaon päästökaupan ohjausvaikutusta heikentävästä merkityksestä ilmaisia päästöoikeuksia saaneissa yrityksissä saattaa vaikuttaa yllättävältä, muodostaahan päästöoikeuden hinta vaihtoehtokustannuksen myös näissä yrityksissä. Yritykset voivat käyttää ilmaiset päästöoikeudet itse tai vähentää päästöjään ja myydä päästöoikeudet markkinahintaan. Montgomeryn (1972) analyysin mukaan sillä, jaetaanko liikkeelle lasketut päästöoikeudet alun perin ilmaiseksi vai huutokauppaamalla, ei olekaan merkitystä. Myöhemmissä tutkimuksissa on kuitenkin arvioitu, että kun luovutaan täydellisten markkinoiden oletuksesta, alkujaon toteutus tapa voi vaikuttaa yritysten päästövähennystoimiin. Stavins (1995) tarkastelee staattista teoreettista mallia päästöoikeusmarkkinasta, jolla on transaktiokustannuksia. Markkinaosapuolet saattavat esimerkiksi joutua maksamaan konsulteille markkinoiden seuraamisesta ja päästöoikeuksien hankkimisesta. Transaktiokustannusten vuoksi myyjän päästöoikeuksista saama hinta eroaa ostajan maksamasta hinnasta Stavinsin mallissa. Ilmaisjako johtaa Stavinsin mallissa siihen, että kauppa käydään vähemmän kuin tilanteessa, jossa kaikki päästöoikeudet huutokaupataan. Tällöin päästölähde, joka ilman transaktiokustannuksia olisi myynyt päästöoikeuksia, saattaa jättää osan oikeuksista myymättä ja tuottaa vastaavasti enemmän päästöjä itse. Kustannustehokkuus ei Stavinsin mallissa tällöin toteudu, vaikka yritykset yhteensä vähentävätkin päästöjään päästökaton mukaisesti. Hahn (1984) puolestaan tarkastelee teoreettista mallia, jossa yhdellä markkinaosapuolella on markkinavoimaa. Ilmaisten päästöoikeuksien antaminen tällaiselle yritykselle saa Hahnin mallissa yrityksen käyttämään itse enemmän päästöoikeuksia kuin se käyttäisi tilanteessa, jossa se joutuisi ostamaan päästöoikeuksia markkinoilta. Käyttämällä itse osan ilmaisista päästöoikeuksista se pystyy nostamaan myymiensä päästöoikeuksien hintaa. Kokonaiskustannukset päästöjen vähentämisestä ovat korkeammat kuin täydellisen kilpailun tilanteessa, vaikka päästökatto tässäkin tapauksessa rajoittaa päästöt tavoitetasolle. Kahneman, Knetsch ja Thaler (1990) analysoivat kokeilua, jossa osa markkinaosapuolista sai hyödykettä lahjoituksena. Kokeilut tuottivat tukea hypoteesille, jonka mukaan lahjoituksena jotakin vaihdettavaa hyödykettä saaneet potentiaaliset myyjät pitävät sen arvoa korkeampana kuin ostajat, jolloin kauppa käydään vähemmän kuin tilanteessa ilman lahjaksi jaettuja hyödykkeitä. Kahnemanin, Knetschin ja Thalerin (1990) tulokset koskevat kulutusvaikutusta, transaktiokustannuksia tai epätäydellistä kilpailua voi kuitenkin pitää yhtenä mahdollisena selityksenä sille, että ilmaisjako näytti Dechezleprétren, Nachtigallin ja Venmansin (2018) sekä Jaraiten ja Di Marian (2012) tutkimuksissa heikentävän ilmaisia päästöoikeuksia saaneiden yritysten päästövähennyskehitystä.

EU:ssa sähköntuotanto sai päästöoikeuksia ilmaiseksi päästölähteiden historiallisten päästöjen perusteella vain päästökaupan alkuvaiheessa. Sähköntuotannon osalta on sittemmin siirrytty huutokauppaan. Teollisuus kuuluu edelleen ilmaisjaon piiriin, jossakin määrin myös lämmöntuotanto. Suomessa teollisuuslaitoksille annetaan ilmaisia päästöoikeuksia pääsääntöisesti enemmän kuin laitosten todennetut

päästöt ovat).¹⁷ Yhteenlaskettuna Suomen teollisuuslaitosten käyttämän energian päästöistä päästökaupan piiriin kuului vuonna 2016 yhteensä 90 prosenttia. Päästökaupan ulkopuolelle jäänyt 10 prosenttia teollisuuslaitosten käyttämän energian päästöistä oli vuonna 2016 noin 4 prosenttia päästökaupan ulkopuolisen eli niin sanotun taakanjakosektorin päästöistä.¹⁸ Ilmaiseksi jaettujen päästöoikeuksien määrä oli jokseenkin samansuuruinen kuin laitosten päästöt. Ohjausvaikutuksen kannalta merkittävämpi ongelma lienee kuitenkin ollut päästöoikeuksien ylimitoitettu kokonaisuus, joka on luonut ylitarjontaongelman ja pitänyt päästöoikeuden hinnan pitkään varsin alhaalla. Kolmannella päästökaupakaudella päästöoikeuden hinta pysyi pitkään alle 10 eurossa hiilidioksiditonnia kohden, kun esimerkiksi OECD arvio vasta 30 euron hinnan vastaavan hiilidioksiditonniin pitkällä aikavälillä aiheuttamia yhteiskunnallisia kustannuksia ja kannustavan riittävästi investoimaan puhtaampiin teknologioihin (OECD 2018a). Päästöoikeuksien ylitarjonnan ja teollisuuden merkittävän ilmaisaon valossa voidaan ajatella, että kansallisella hiilidioksidiperusteisella verolla saattaa olla ohjaava vaikutus myös päästökaupan ohessa.

Taulukko 4. EU:n päästökaupan kattama osuus teollisuuden CO₂-päästöistä Suomessa.¹⁹ Lähteet: Tilastokeskus (2019), EU ETS Union Registry (https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/register_en) ja omat laskelmat tilastojen perusteella.

Toimiala	Osuus CO ₂ -päästöistä päästökaupassa 2016	Ilmaisaika suhteessa päästöihin 2016
Paperi ja paperituotteet	100 %	152 %
Öljytuotteet	100 %	80 %
Kemikaalit ja kemialliset tuotteet	14 %	211 %
Muut ei-metalliset mineraalituotteet	86 %	94 %
Metallien jalostus	98 %	91 %
Muut	33 %	-
Yhteensä	90 %	102 %

¹⁷ Päästöoikeuksien ilmaisaossa on käytössä harmonisoidut EU-tason säännöt. Ilmaisaon merkittävä määrä suhteessa päästöihin tarkoittaa myös, että Suomessa toimivat laitokset ovat keskimääräistä vähäpäästöisempiä.

¹⁸ Tilastokeskuksen laatimassa kasvihuonekaasuinventaariossa päästökauppaan kuuluviin päästöihin lasketaan mukaan niiden laitosten päästöt, jotka kuuluvat päästökauppaan. Muut teollisuuslaitokset ovat inventaariossa päästökaupan ulkopuolella. Tilastokeskuksen Teollisuuden energiankäyttö -tilaston tietojen perusteella päästökaupan ulkopuolelle jääneet teollisuuslaitosten päästöt olivat vuonna 2016 yhteensä 1,2 miljoonaa tonnia CO₂ ja Tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaariossa mukaan päästökaupan ulkopuoliset päästöt yhteensä 30,7 miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenteja.

¹⁹ Muun teollisuuden ilmaisaon osuus on merkitty taulukkoon tyhjäksi. Näiden laitosten päästöt ja päästöoikeuksien ilmaisaika liittyy merkittävästi osin laitosten yhteydessä sijaitsevien teollisuuslämpöä tuottavien polttolaitosten päästöihin. Polttolaitokset ovat EU ETS:n rekisterissä oma sektorinsa sisältäen sekä sähköä että lämpöä tuottavat laitokset. Sähköä tuottavat laitokset eivät saa päästöoikeuksia ilmaiseksi, eikä EU ETS:n rekisteritiedoista laskettu polttolaitosten yhteenlaskettu ilmaisaon osuus täten vastaa tässä taulukossa esitettyjen teollisuuslaitosten (rivi muut) ilmaisaikaa. Muilla toimialoilla Tilastokeskuksen ja EU ETS:n rekisteritiedot vastaavat paremmin toisiaan.

3.3 Energiaan liittyvät suorat tuet ja verotuet

Taulukko 5 esittää suurimmat energian tuotantoon ja energian käyttöön liittyvät suorat tuet ja verotuet. Mukaan on otettu tuet, joiden suora tai laskennallinen määrä on vähintään 30 miljoonaa euroa vuodessa. Suurimpia suorien tukien eriä ovat uusiutuvan energian tuotantotuki, johon on vuodelle 2019 varattu 261 miljoonaa euroa, sekä energiaintensiivisten yritysten veronpalautus, johon on varattu 220 miljoonaa euroa.

Verotukien suuruuden arvioimiseksi tarvitaan vertailukohta, joka on jossain määrin sopimuksenvarainen. Arviot verotukien suuruudesta ovat myös paikoin tulkin-
nanvaraisia. Alla vertailukohta on sähköveron osalta toisilla toimialoilla toimivien yritysten verokanta ja polttoaineiden osalta muiden, vastaavien polttoaineiden verokanta. Laskennallinen verotuen määrä saadaan kertomalla alemman verokannan mukaiset sähkön tai polttoaineen ostot verokantojen erotuksella. Alhaisemmalla verokannalla ostetun sähkön tai polttoaineen määrä ei kuitenkaan välttämättä ole sama kuin se määrä, jonka yritykset hankkisivat, mikäli alemmasta verokannasta luovuttaisiin ja vero nousisi kaikille ylemmän verokannan mukaiselle tasolle. Verotason nostaminen saattaisi johtaa sähkön tai polttoaineen käytön vähenemiseen. Alemman verokannan puitteissa hankitun sähkön tai polttoaineen määrän ja ylemmän ja alemman veroluokan välisen erotuksen perusteella laskettu verotuki ei siis välttämättä kuvasta valtion menettämiä verotuloja, vaan saattaa yliarvioida niitä. Verotukien poistaminen ei siten välttämättä lisäisi vastaavalla määrällä verotuloja.

Taulukko 5. Suurimmat energian tuotantoon ja energian käyttöön liittyvät suorat tuet ja verotuet vuonna 2019 (vähintään 30 miljoonaa euroa)

Suorat tuet	Miljoonaa euroa
Uusiutuvan energian tuotantotuki. Tuulivoima, biokaasu, puupolttoaine, mesähake (syöttötariffi)	261
Energiatuki (investointituki)	47
Päästökaupan epäsuorien kustannusten kompensaatiotuki	30
Energiaintensiivisten yritysten veronpalautus	220
Maatalouden energiaveron palautus	55 *

Verotuet	Miljoonaa euroa (laskennallinen)
Teollisuuden, kasviuoneiden ja konesalien alempi sähköverokanta	603
Työkoneissa käytetyn kevyen polttoöljyn dieseliä alempi verokanta	422
Turpeen normia alempi verokanta	189
Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon (CHP) alennettu energiasisältövero	96
Dieselpolttoaineen alempi verokanta (josta vähennetty henkilöautojen käyttövoimaverosanktio)	451

*Vuonna 2019 maksettaviin maatalouden energiaverojen palautuksiin sisältyy korotettu palautus vuodelta 2018, 20 miljoonaa euroa.

Lähde: Valtion talousarvio vuodelle 2019. Verotukien osalta taulukossa esitetään talousarviossa ilmoitettu laskennallinen tuen määrä, joka on saatu vertaamalla kyseessä olevalla alemmalla verokannalla saatuja verotuloja vertailukohtaan mukaisesti laskennallisiin verotuloihin. Vertailukohta on sähköveron osalta toimialoilla toimivien yritysten verokanta ja polttoaineiden osalta muiden, vastaavien polttoaineiden verokanta. Dieselpolttoaineen alemman verokannan osalta eri polttoaineiden verorasituksen eroa pyritään tasaamaan käyttövoimaveron avulla. Tämä koskee henkilöautoja. Muiden ajoneuvojen kuin henkilöautojen käyttövoimaverolla on fisikaalisia ja EU-oikeudellisia perusteita.

Energiaintensiivisten yritysten veronpalautus koskee teollisuudessa toimivia yrityksiä. Yritykset voivat tilikauden päätyttyä saada hakemuksesta veronpalautusta maksamistaan energiaveroista. Jos yrityksen maksamat energiaverot ylittävät 0,5 prosenttia yrityksen jalostusarvosta, yritys voi saada veronpalautuksena takaisin 85 prosenttia kynnysarvon ylittävästä veron määrästä. Näin lasketusta veronpalautuksesta vähennetään kuitenkin 50 000 euron omavastuuosuus. Euromääräisesti paljon energiaveroa maksavat yritykset saavat suhteessa suurimmat palautukset, enimmillään lähes 80 prosenttia yrityksen maksamista energiaveroista. Toimialojen välillä, toimialojen sisällä ja yritysten välillä on suuria eroja siinä, miten suuri osa energiaveroista palautetaan (Harju ym. 2016, Laukkanen ja Maliranta 2019).

Energiaverojen palautukset sekä vuodesta 2016 alkaen käytössä ollut päästökaupan epäsuorien kustannusten kompensaatiotuki ovat kohdentuneet pääasiassa suurille paperiteollisuuden, kemianteollisuuden ja metallien peruserusteollisuuden

yriyksille (Laukkanen ja Maliranta 2019). Kokonaisuudessaan suorat energiatuet ovat viime vuosikymmenellä olleet kasvussa. Laukkanen, Ollikka ja Tamminen (2019) pyrkivät arvioimaan, mitä vaikutuksia energiaverojen palautusten laajentamisella vuonna 2011 on ollut yritysten menestykseen, työllisten määrään ja energiatehokkuuteen. Tutkimuksen tulokset tukivat eniten johtopäätöstä, että veronpalautukset eivät ole parantaneet yritysten taloudellisia tuloksia tai työllisyyttä. Vuosina 2011-2012 energiaverojen palautusten piiriin tulleiden laitosten tuotannon arvo kehittyi vuosien 2010 ja 2016 välillä heikommin kuin ilman palautuksia jääneiden laitosten. Tuotannon energiatehokkuuden kehitys jäi vuosina 2011-2012 energiaverojen palautusten piiriin tulleissa laitoksissa heikommaksi kuin ilman palautuksia jääneissä laitoksissa.

Osa energiaverojen palautuksista liittyy sähköveroon, osa fossiilisten polttoaineiden käyttöön. **Kuva 4** esittää Tullin ja Verohallinnon aineistoihin perustuvan arvon siitä, kuinka suuri osa energiaverojen palautuksista kohdentuu fossiilisista polttoaineista maksettuihin veroihin.²⁰ Veronpalautukset maksetaan tilikauden päätyttyä. Kuva esittää veronpalautukset siltä vuodelta, jonka aikana maksettuja veroja on palautettu. Toimialojen väliset erot fossiilisten polttoaineiden osuudessa ovat suuria. Kumi- ja muovituotteissa ja elintarvikkeissa fossiilisille polttoaineille on viime vuosina kohdentunut 60-70 prosenttia energiaverojen palautuksista, juomien valmistuksessa useina vuosina yli 80 prosenttia. Näiden toimialojen osuus energiaverojen palautuksista jää kuitenkin pieneksi verrattuna paperiteollisuuden, kemianteollisuuden ja metallien peruserusteollisuuden yrityksiin. Paperiteollisuudessa ja kemianteollisuudessa fossiilisten osuus palautuksista on viime vuosina ollut 20 ja 30 prosentin välillä, metallien jalostuksessa hieman yli 10 prosenttia. Kokonaisuutena fossiilisille polttoaineille on vuosina 2011-2016 kohdentunut 21-25 prosenttia energiaverojen palautuksista. Ennen vuoden 2011 energiaverouudistusta energiaverojen palautuksia sai vain hieman yli 10 yritystä vuodessa, ja fossiilisille polttoaineille kohdentui noin kolmasosa energiaverojen palautuksista (vuonna 2010 kaiken kaikkiaan 35 prosenttia). Vuoden 2016 jälkeen lämmityspolttoaineiden veroja on nostettu sähköveron pysyessä ennallaan. On mahdollista, että veromuutosten seurauksena fossiilisten osuus palautuksista on kasvanut vuosiin 2011-2016 verrattuna.

²⁰ Energiaverotus ja energiaverojen palautusten hoitaminen siirtyivät Tullista Verohallintoon vuoden 2017 alusta.



Kuva 4. Fossiilisten polttoaineiden osuus energiaverojen palautuksista. Palautukset on kuvassa kohdennettu sille vuodelle, jonka aikana verotetut polttoaineet on käytetty. Lähteet: Tulli ja Verohallinto.

3.4 Polttoaineiden käytön nykyrakenne sähkön ja lämmön tuotannossa sekä teollisuudessa

3.4.1 Sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineet

Taulukko 6 ja Kuva 5 esittävät sähkön tuotannon energialähteittäin vuonna 2017. Tiedot perustuvat Tilastokeskuksen sähkön ja lämmön tuotantotilastoon. Sähköä tuotettiin Suomessa 65,0 TWh vuonna 2017. Tästä ydinvoimalla tuotettiin 33 prosenttia, fossiililla polttoaineilla yhteensä 15 prosenttia ja turpeella 4 prosenttia. Vesivoimalla tuotettiin sähköä 14,6 TWh. Vesivoiman osuus sähköntuotannossa vaihtelee vuosittain vesitilanteen mukaan. Yhteensä uusiutuvilla energialähteillä tuotettiin sähköä 30,7 TWh eli 47 prosenttia sähkön kokonaistuotannosta. Miltei puolet uusiutuvilla energialähteillä tuotetusta sähköstä tuotettiin vesivoimalla, 16 prosenttia tuulivoimalla ja lähes koko loppuosa puuperäisillä polttoaineilla.

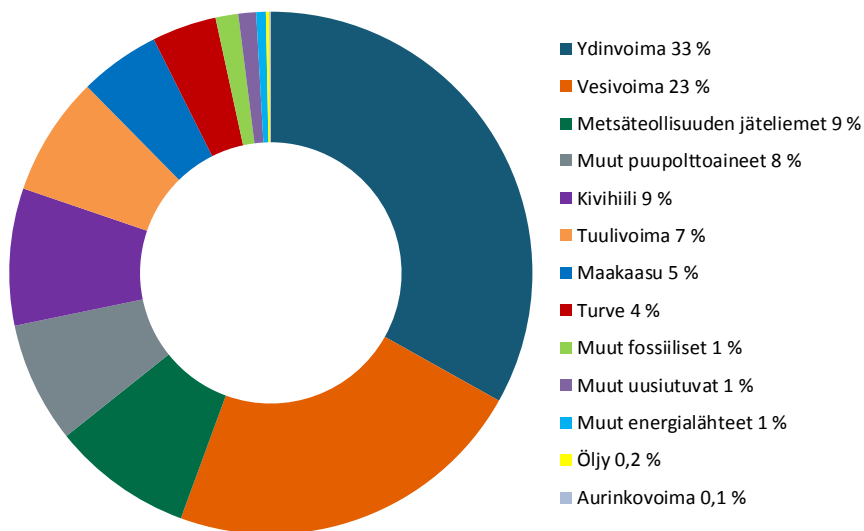
Sähkön ja lämmön tuotannossa vuonna 2017 yhteensä käytetystä turpeesta arviolta 82 prosenttia kohdentui lämmöntuotantoon. Lämmöntuotannossa osa päästöoikeuksista jaetaan edelleen maksutta, eivätkä kaikki laitokset kuulu päästökauppaan. Päästökauppaan kuuluva sähkön tuotanto ei saa ilmaisia päästöoikeuksia. Lisäksi turvetta käytetään esimerkiksi maataloussektorilla, joka ei kuulu päästökauppaan. Jotta voidaan muodostaa kokonaiskuva kansallisen vero-ohjauksen

merkityksestä turpeen osalta, olisi selvitettävä, kuinka suurta osaa turpeen energia-käytöstä säädelään päästökaupassa ja kuinka suurta osaa kansallisella vero-ohjauksella ilmaisjako huomioiden.

Taulukko 6. Sähkön tuotanto 2017 (sisältää lauhdevoiman sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannon sähkön)

Energiälähde	GWh	Osuus tuotannosta %
Ydinvoima	21 574	33,2
Öljy (Fossiilinen polttoaine)	158	0,2
Kivihili (Fossiilinen polttoaine)	5 531	8,5
Maakaasu (Fossiilinen polttoaine)	3 220	5,0
Muut fossiiliset (Fossiilinen polttoaine)	893	1,4
Turve	2 602	4,0
Vesivoima (Uusiutuva energiälähde)	14 610	22,5
Tuulivoima (Uusiutuva energiälähde)	4 795	7,4
Aurinkovoima (Uusiutuva energiälähde)	44	0,1
Metsäteollisuuden jäteliemet (Uusiutuva energiälähde)	5 673	8,7
Muut puupolttoaineet (Uusiutuva energiälähde)	4 863	7,5
Muut uusiutuvat (Uusiutuva energiälähde)	710	1,1
Muut energiälähteet	369	0,6
SÄHKÖN TUOTANTO YHTEENSÄ	65 042	100,0

Lähde: Tilastokeskus, Sähkön ja lämmön tuotantotilasto



Kuva 5. Sähkön tuotanto 2017 (sisältää lauhdevoiman sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannon sähkön)

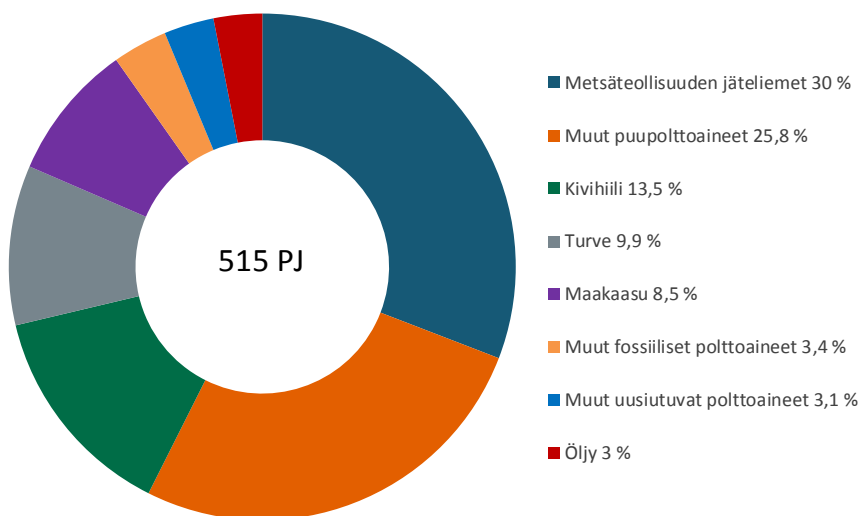
Taulukko 7 ja **Kuva 6** näyttävät sähkön ja lämmön tuotannossa vuonna 2017 käytetyt polttoaineet. Tiedot perustuvat Tilastokeskuksen sähkön ja lämmön tuotantotilastoon. **Taulukko 6** ja **Taulukko 7** esittävät osittain päällekkäisiä tietoja sikäli, että lauhdevoiman sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannon sähkön tuottamiseen käytetyt polttoaineet ovat mukana molemmissa taulukoissa. Lämmön tuotannossa merkittäviä polttoaineita ovat metsäteollisuuden jätehiemet, jota käytetään teollisuuslämmön tuottamisessa, sekä puupolttoaineet. Kokonaisuudessaan lauhdevoiman, sähkön ja lämmön yhteistuotannon ja lämmön erillistuotannon polttoaineista merkittävimpiä ovat metsäteollisuuden jätehiemet, puupolttoaineet sekä kivihiili.

Tilastokeskuksen katsaus (Suomen virallinen tilasto 2017) erottelee tarkemmin kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotantoon käytetyt polttoaineet. Kaukolämmön tuotannossa merkittävimmät energialähteet olivat vuonna 2017 puupolttoaineet (33 prosenttia) ja kivihiili (23 prosenttia). Turpeella tuotettiin 14 prosenttia. Teollisuuslämmöstä puolet tuotettiin vuonna 2017 mustalipeällä. Teollisuuslämmön suurimpia käyttäjiä on metsäteollisuus, joka käyttää lämmön tuotannossa oman prosessin jätehiemiä ja muita puupolttoaineita.

Taulukko 7. Sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineet 2017: Lauhdevoima, sähkön ja lämmön yhteistuotanto ja lämmön erillistuotanto

Polttoaine	TJ	Osuus polttoaineiden kokonaiskäytöstä %
Öljy (Fossiilinen polttoaine)	15 475	3,0
Kivihiili (Fossiilinen polttoaine)	69 431	13,5
Maakaasu (Fossiilinen polttoaine)	43 675	8,5
Muut fossiiliset (Fossiilinen polttoaine)	17 315	3,4
Turve	51 213	9,9
Metsäteollisuuden jäteliemet (Uusiutuva polttoaine)	154 761	30,0
Muut puupolttoaineet (Uusiutuva polttoaine)	132 662	25,8
Muut uusiutuvat (Uusiutuva polttoaine)	15 827	3,1
Muut energialähteet	14 825	2,9
SÄHKÖN JA LÄMMÖN TUOTANNON POLTTOAINEET YHTEENSÄ	515 184	100,0

Lähde: Tilastokeskus, Sähkön ja lämmön tuotantotilasto



Kuva 6. Sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineet 2017 (lauhdevoima, sähkön ja lämmön yhteistuotanto ja lämmön erillistuotanto)

3.4.2 Teollisuuden energiankäyttö

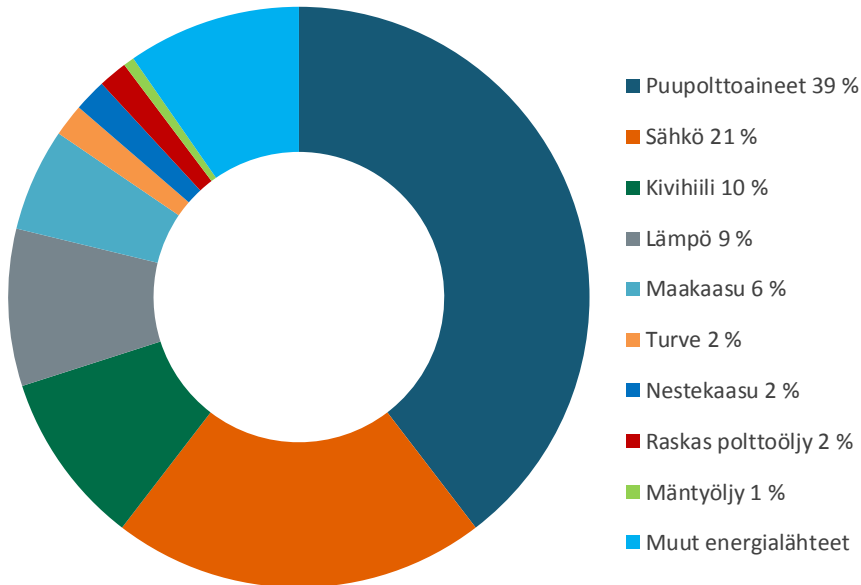
Taulukko 8 ja Kuva 7 kuvaavat teollisuuden energiankäyttöä energialähteittäin vuonna 2016. Tiedot perustuvat Tilastokeskuksen Teollisuuden energiankäyttö -tilastoon. Teollisuus käytti energiaa yhteensä 480 PJ vuonna 2016. Merkittävien energianlähteiden olivat puupolttoaineet, joiden osuus teollisuuden energiankäytöstä oli 39 prosenttia. Sähkön osuus teollisuuden energiankäytöstä oli 21 prosenttia ja lämmön 9 prosenttia²¹. Fossiilisista polttoaineista merkittävimpiä olivat kivihiili (10 prosenttia) ja maakaasu (6 prosenttia). Turpeen osuus teollisuuden energiankäytöstä jäi 2 prosenttiin.

Taulukko 8. Teollisuuden energiankäyttö energialähteittäin vuonna 2016

Energialähde	TJ	Osuus tuotannosta %
Sähkö	99 439	20,7
Lämpö	41 517	8,7
Kivihiili	46 072	9,6
Maakaasu	27 516	5,7
Turve	8 823	1,8
Mäntyöljy	2 649	0,6
Biopolttoaineet	69	0,0
Kevyt polttoöljy	2 310	0,5
Raskas polttoöljy	7 644	1,6
Nestekaasu	8 825	1,8
Puupolttoaineet	189 031	39,4
Muut energialähteet	46 040	9,6
ENERGIANKÄYTTÖ YHTEENSÄ	479 936	480,0

Lähde: Tilastokeskus, Teollisuuden energiankäyttö -tilasto.

²¹ Vuonna 2016 prosessihöyryn osuus teollisuuden lämmön käytöstä oli noin 86 prosenttia ja kaukolämmön 14 prosenttia. Teollisuuden energiankäyttö -tilaston mukaan teollisuustoimipaikat hankkivat lämpöä kaikkiaan noin 42 840 TJ edestä ja myivät sitä edelleen noin 1 440 TJ. Hankitun lämmön käyttö oli vuonna 2016 siten 41 400 TJ. Lisäksi teollisuuslaitokset tuottivat itse lämpöä hankkimistaan polttoaineista.



Kuva 7. Teollisuuden energiankäyttö energialähteittäin vuonna 2016.

3.5 Hiilidioksidin hinnoittelu ja energiamurros: kirjallisuuskatsaus

Kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä hinnoitella päästöt. Riittävän korkea hiilidioksidipäästöjen hinta kannustaa vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä, vaihtamaan päästöttömiin tai puhtaampiin teknologioihin sekä kehittämään uusia, vielä puhtaampia teknologioita. Päästöt voidaan hinnoitella kahdella tavalla: hiilidioksidiverolla tai päästökaupalla. Hiilidioksidivero asettaa suoraan hinnan päästöille ja antaa markkinoiden määrittää veroa vastaavan päästövähennyksen. Päästökauppa puolestaan asettaa katon päästöille ja antaa markkinoiden määrittää hinnan.

Kuinka tehokkaasti ja nopeasti päästöjen hinnoittelu lopulta vähentää hiilidioksidipäästöjä ja kannustaa vaihtamaan päästöttömiin tai puhtaampiin teknologioihin on lopulta empiirinen kysymys. Seuraavassa esitetään yhteenveto viimeaikaisesta päästöjen hinnoittelun vaikuttavuutta tarkastelleesta tutkimuskirjallisuudesta sähköntuotannon ja valmistavan teollisuuden osalta.

Käytössä olevat hiilidioksidipäästöjen hinnat vaihtelevat huomattavasti sekä eri maiden että eri vero- ja päästökauppajärjestelmien välillä, alle 1 dollarista hiilidioksiditonnia kohden aina 139 dollariin hiilidioksiditonnia kohden. (Maailmanpankki ja

Ecofys, 2018). Suurimmalle osalle hiilidioksidipäästöistä päästöjen hinnoittelu jää alle tason, jonka on arvioitu riittävän ohjaamaan energiamurrosta Pariisin sopimuksen tavoitteiden mukaisesti (esim. Maailmanpankki 2017).

Lisäksi hiilidioksidin hinnoittelu kattaa nykyisellään alle 20 prosenttia maailman kasvihuonekaasupäästöistä. Noin kolme neljäsosaa katetuista päästöistä on hinnallaan 10 dollaria CO₂-tonnia kohden, mikä jää kauas alle hiilidioksidipäästöjen arvioidujen yhteiskunnallisten kustannusten (Maailmanpankki ja Ecofys, 2018; käytetty hiilidioksidipäästöjen yhteiskunnallinen kustannus Tol, 2011 mukaan). Ruotsissa polttoaineiden hiilidioksidi veron laskentaperuste on korkeampi kuin missään muualla, 114 euroa CO₂-tonnia kohden. Ruotsissa hiilidioksidiveron laskennassa ei huomioida polttoaineen elinkaarenaikaisia päästöjä. Vero koskee fossiilisia lämmityspolttoaineita, turvetta lukuun ottamatta, ja liikennepolttoaineita. Teollisuusyritykset on vapautettu kansallisista hiilidioksidiveroista, mikäli ne kuuluvat päästökauppaan. Aiemmin päästökaupan ulkopuolelle jäivät teollisuusyritykset maksoivat alhaisempaa hiilidioksidiveroa kuin muut käyttäjät, mutta vuodesta 2018 alkaen vero on muutettu yleisen verorakenteen mukaiseksi. Kaiken kaikkiaan noin 90 prosenttia Ruotsin hiilidioksidipäästöistä kuuluu hiilidioksidin hinnoittelun piiriin joko päästökaupan tai kansallisen veron kautta. Yhdysvalloissa hiiliveron tai päästökaupan käyttöön otaneissa osavaltioissa hiilidioksidin hinnat ovat viime aikoina olleet välillä 5-15 dollaria/tCO₂. Kanadassa puolestaan on otettu käyttöön kansallinen hiilidioksidivero, joka on aluksi 15 dollaria/tCO₂ ja joka on tarkoitus nostaa tasolle 38 dollaria/tCO₂ vuoteen 2022 mennessä (valuutta USA:n dollareina vertailun mahdollistamiseksi). Hiilidioksidivero koskee fossiilisia lämmitys- ja liikennepolttoaineita. Suuret teollisuuslaitokset on vapautettu hiilidioksidiverosta. Sen sijaan niiden päästöjä säädelään päästökaupan kaltaisella järjestelmällä.²²

Hiilidioksidin hinnoittelua ja sen vaikutuksia arvioivat tutkimukset ovat enimmäkseen vaikutuksia ennakoivia ex ante -simulaatiotarkasteluja, mutta myös joitakin toteutuneita vaikutuksia tarkastelevia ex post -analyyskejä löytyy. Seuraavassa käydään tiiviisti läpi aikaisemman tutkimuskirjallisuuden tuloksia.

Bruvold ja Larsen (2004) arvioivat hiilidioksidiveroja ilmastopolitiikan välineenä Norjassa yleisen tasapainon mallin avulla ja arvioivat päästöjen vähentyneen merkittävästi vuosina 1990–1999. Hiilidioksidivero selitti kuitenkin vain 2 prosenttia vähennyksestä. Di Cosmo ja Hyland (2013) arvioivat hiilidioksidiveron vaikutusta hiilidioksidipäästöihin Irlannissa simulointimallin avulla. Mallilaskelmien perusteella hiilidioksidivero, joka olisi suuruudeltaan 50 euroa/tCO₂ vuonna 2025, tuottaisi noin 4 prosentin vähennyksen päästöissä verrattuna tilanteeseen ilman veroa. Meng ym. (2013) puolestaan simuloivat hiilidioksidiveron vaikutusta hiilidioksidipäästöihin Australiassa. Suuruudeltaan hiilidioksidivero oli 23 euroa/tCO₂. Tulosten mukaan hiilidioksidivero voisi vähentää päästöjä tehokkaasti, mutta sillä olisi myös heikko negatiivinen vaikutus talouteen.

Calderon ym. (2016) korostivat sähköntuotannon merkittävää roolia hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä ja tarkastelivat päästövähennyspolkuja Kolumbiassa

²² <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/pricing-pollution-how-it-will-work.html>

niin ikään simulointimallien avulla. Tulosten mukaan 50 dollaria/tCO₂ vero vähentäisi päästöjä 45 prosenttia tai jopa yli 100 prosenttia, mikäli hiilidioksidin talteenotto olisi käytössä.

Kök ym. (2016) arvioivat hiilidioksidipäästöjen hinnoittelun vaikutusta paitsi päästöihin myös uusiutuvan energian investointeihin. Tutkimus tarkasteli sekä hiilidioksidiveroja että uusiutuvalla energialle suunnattuja tukia. Tulosten mukaan molemmat vähentäisivät päästöjä, mutta suorat tuet lisääisivät uusiutuvan energian investointeja päästöveroja enemmän. Myös Palmer ym. (2018) tarkastelivat mahdollisuuksia hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen siirtymällä vähäpäästöisempiin energialähteisiin. Tulosten mukaan USA:n sähköntuotannossa hiilidioksidivero vauhdittaisi siirtymistä sekä hiilestä että kaasusta uusiutuviin energialähteisiin. Korkeat maakaasun hinnat lisäävät tulosten mukaan hiilidioksidiverojen tehokkuutta vauhdittamalla kaasun korvaamista uusiutuvilla energialähteillä. Yin ym. (2018) tarkastelivat hiilidioksidin hinnoittelun ja uusiutuvan energian tukea Kiinassa, jossa energiasektori tuottaa 40 prosenttia hiilidioksidipäästöistä. Simulointianalyysin mukaan keskimäärin 1,3-1,7 dollari/tCO₂ kasvu hiilidioksidin hinnassa tuottaisi 1 prosentin lisäyksen uusiutuvan sähkön osuudesta sähköntuotannossa.

Sen ja Vollebergh (2018) arvioivat, mikä olisi OECD-maiden yhtenäisen, fossiilisille polttoaineille kohdennetun hiiliveron vaikutus energian kulutukseen pitkällä aikavälillä. Tulosten mukaan öljytuotteita, kivihiihtä, maakaasua ja turvetta koskeva, suuruudeltaan 45 euroa/tCO₂ vero, voisi vähentää energiankäytön päästöjä Yhdysvalloissa noin 30 prosentilla vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoihin. EU:ssa keskimääräinen päästövähennys olisi arvion mukaan 17 prosenttia, mikä olisi huomattava vähennys mutta jäisi kuitenkin tavoitetason alle.

Lin ja Li (2011) tutkivat ekonometrisen mallin avulla hiilidioksidiveron vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin viidessä Pohjois-Euroopan maassa: Tanskassa, Suomessa, Ruotsissa, Alankomaissa ja Norjassa. Hiilidioksidivero alensi hiilidioksidipäästöjä henkeä kohti vain Suomessa, kun taas muissa maissa hiilidioksidiveron vaikutusta näytti heikentävän erilaisten erikoiskohteluiden soveltaminen energiaintensiivisiin toimialoihin. Johansson (2000) katsoo myös, että hiilidioksidiveron vaikutus Ruotsin teollisuuteen on todennäköisesti ollut pieni Ruotsissa aiemmin käytössä olleen verovapautuksen vuoksi. Murray ja Rivers (2015) tarkastelivat hiilidioksidiveroja Brittiläisessä Kolumbiassa, jossa vero oli 30 dollaria/tCO₂ vuonna 2012. Empiirisistä ja simulointimalleista saatujen tulosten perusteella vero on vähentänyt provinssin päästöjä 5–15 prosentilla ilman merkittävää vaikutusta talouteen kokonaisuudessaan.

Useat viimeaikaiset tutkimukset ovat tarkastelleet EU:n päästökaupan vaikutuksia yritysten menestykseen hyödyntäen tilinpäätöksiin perustuvia tietoja yritysten toteutuneista tuloksista. Jo aiemmin mainittu Dechezleprêtre, Nachtigallin ja Venmansin (2018) tutkimus on toistaiseksi kattavin. Tarkastelussa on mukana koko EU-alue ja yhteensä 1800 päästökauppaan kuuluvaa yritystä. Tutkimus tarkastelee EU:n päästökaupan vaikutuksia vuosina 2005-2012 vertaamalla päästökauppaan kuuluvia yrityksiä sellaisiin EU:ssa toimiviin yrityksiin, jotka ovat muuten hyvin sa-

manlaisia mutta joiden hiilidioksidipäästöjä ei säädellä. Säädeltyjen yritysten hiilidioksidipäästöjä päästökauppa vähensi 6 prosenttia ensimmäisellä päästökauppa-kaudella (2005-2007) ja 15 prosenttia toisella päästökauppa-kaudella (2008-2012).

Päästökaupalla ei Dechezleprêren, Nachtigallin ja Venmansin (2018) tutkimuksen perusteella ole ollut kielteisiä vaikutuksia yritysten menestykseen globaalissa kilpailussa. Yritysten liikevaihto vaikutti jopa kasvaneen hieman päästökaupan ansiosta, samoin niiden kiinteät varat. Mahdollinen selitys tuloksille on, että päästökauppaan kuuluvat yritykset ovat lisänneet investointeja puhtaampiin ja samalla tehokkaampiin teknologioihin ja siten parantaneet tuottavuuttaan. Toisessa tutkimuksessa on myös havaittu, että päästökauppa on lisännyt yritysten vähähiilisiin teknologioihin liittyvää innovointia (Calel ja Dechezleprêtre 2016).

3.6 Johtopäätöksiä nykyisen energiaverorakenteen toimivuudesta

Sähkön tuotanto kokonaisuudessaan sekä lämmön tuotanto ja teollisuuden polttoaineet osittain kuuluvat päästökauppaan. Voidaan ajatella, että päästökauppa on ensisijainen ohjauskeino näillä toimialoilla. Lisäksi on pidettävä mielessä, että energiaverotus on EU:ssa yhdenmukaistettu ja on siten myös EU-laajuinen toimi. Toisaalta ainakin teollisuuden osalta ilmaiseksi jaettavien päästöoikeuksien määrä ylittää toteutuneet päästöt useimmilla toimialoilla ja teollisuudessa kokonaisuudessaan, mikä saattaa heikentää päästökaupan ohjausvaikutusta. EU:n päästöoikeuden hinta on myös pitkään jäänyt alle hintatason, jonka eri tutkimuksissa ja selvityksissä on arvioitu riittävän ohjaamaan päästövähennyksiä Pariisin sopimuksen tavoitteiden mukaisesti tai vastaavan hiilidioksidipäästöjen yhteiskunnallisia kustannuksia. Kansallinen lisäohjaus energiaveroilla saattaa siis näiden huomioiden pohjalta olla perusteltua myös päästökaupasektorilla.

On kuitenkin syytä pysähtyä myös miettimään, mitä kansallisella lisäohjauksella tavoitellaan ja minkä kokonaisuuden tasolla päästöjä pyritään vähentämään. Mikäli tavoitteena on Suomen hiilineutraalius, päällekkäisten ohjauskeinojen käyttö voi olla perusteltua. Mikäli taas päästövähennystavoitetta mietitään EU:n tasolla, päästökaupan kanssa päällekkäisten ohjauskeinojen vaikutus saattaa kumoutua, jos laskeva päästöoikeuksien kysyntä Suomessa johtaa päästöjen kasvuun päästökaupasektorilla muualla EU:ssa. Tähän vaikuttaa keskeisesti se, miten ja millä aikataululla päästöoikeuksia mitätöidään markkinavakausvarannosta.

Fossiilisista polttoaineista maksettavien polttoaineverojen palauttaminen energiaverojen palautusjärjestelmän kautta vähentää verotuksen ohjausvaikutusta. Koska vain verrattain suuret yritykset pääsevät energiaverojen palautusten piiriin, myös kustannustehokkuus kärsii – lopulliset hiilidioksidiverot eroavat palautusten vuoksi eri kokoisten yritysten välillä.

Ylipäätään energiaverojen palautusjärjestelmä ei täytä hyvän veropolitiikan periaatteita. Se kohtelee eri kokoisia yrityksiä eri tavoin ja on monille yrityksille heikosti ennakoitavissa. Veronpalautushakemusten toimittamisesta ja käsittelystä aiheutuu hallinnollisia kustannuksia. Jos energiantensiivisyyttä mitataan sähkön kulutuksella

suhteessa kokonaiskustannuksiin, palautusten piiriin vuosina 2011-2012 tulleet tuotantolaitokset eivät olleet erityisen energiantensiivisiä verrattuna veronpalautuksia paitsi jääneisiin tuotantolaitoksiin. Palautusjärjestelmän tavoitteena on ylläpitää Suomessa toimivan teollisuuden kilpailukykyä. Tutkimustulokset tukevat kuitenkin eniten johtopäätöstä, että veronpalautukset eivät ole parantaneet yritysten taloudellisia tuloksia, työllisyyttä tai energiatehokkuutta ainakaan vuosina 2011-2012 palautusten piiriin tulleiden yritysten osalta yleisesti ottaen. Yksittäisen, paljon fossiilisia polttoaineita käyttävän tuotantolaitoksen kannalta energiaverojen palautuksella voi olla merkitystä tuloksen kannalta, mutta samalla se silloin kannustaa päästötavoitteiden vastaisesti fossiilisten polttoaineiden käyttöön.

4 Muut ohjauskeinot ja niiden toimivuus - Euroopan unionin päästöoikeuskauppa

Markku Ollikainen

Päästöoikeuskauppa on Euroopan unionin keskeisin ohjauskeino ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Päästöoikeuskauppa alkoi vuonna 2005. Se toimii ns. cap and trade -periaatteella: päästökauppaan kuuluvien toimialojen kasvihuonekaasupäästöille asetetaan poliittisella päätöksellä sitova päästökatto, jota ei voi ylittää mutta jonka puitteissa yritykset voivat vapaasti ostaa ja myydä päästöoikeuksia. Päästöoikeuden hinta määräytyy markkinoilla kysynnän ja tarjonnan mukaan. Täydellisten markkinoiden oloissa päästöoikeuksien alkujakotapa ei vaikuta järjestelmän tehokkuuteen. Päästökauppa on kustannustehokas mekanismi, eli saavuttaa halutun päästökaton pienimmin mahdollisin kustannuksin, mikä on päästökaupan tärkein tehtävä. Samalla päästöoikeuden hinta siirtyy sähkön ja lämmön hintaan sekä päästökauppaan kuuluvan teollisuuden tuotteiden hintoihin muuttaen talouden hintasuhteita vähäpäästöisten tuotteiden ja prosessien hyväksi sekä ohjaa energiainvestointeja kohti hiilivapaita ratkaisuja. Pariisin ilmastositomuksen myötä päästökaupan roolin on lisäntynyt liitetty fossiilisten polttoaineiden, erityisesti kiivihiilen ulossulkeminen tuotannosta.

Tässä luvussa tarkastellaan päästöoikeuden hinnan kehitystä ja roolia päästöjen vähentämisessä sekä keskustellaan kansallisista tavoista voimistaa päästökaupan ohjaavuutta ns. päästökaupan lattiahinnan avulla. Koska päästöoikeuden hinnan lähivuosien kehitykseen vaikuttavat päästökauppajärjestelmässä tehdyt viime aikojen reformit, luku aloitetaan hahmottamalla päästökaupan pääpiirteet kauppakausittain.

4.1 EU:n päästökaupan pääpiirteet

Alle (**Taulukko 9**) on koottu pääpiirteet EU:n päästökaupan kehityksestä päästöoikeuksien määrän, alkujakon, osallistuvien maiden ja keskeisten sektoreiden suhteen kullakin kauppakaudella.

Taulukko 9. Pääpiirteet EU:n päästökaupan kehityksestä kauppakausittain.

	Kauppakausi 1 (2005-2007)	Kauppakausi 2 (2008-2012)	Kauppakausi 3 (2013-2020)	Kauppakausi 4 (2021-2030)
Tavoite	Opetteluperiodi	-8% vs. 2005	-21 % vs. 2005	-43 % vs. 2005
Maat	EU-25	EU-27, Norja, Islanti, Liechtenstein	Kausi 2 + Kroatia	Kausi 3
Kaasut	CO ₂	CO ₂ , N ₂ O	CO ₂ , N ₂ O, PFC	CO ₂ , N ₂ O, PFC
Päästökatto	2078 Mt/v kansalliset katot	2083 Mt/v kansalliset katot	2084 Mt/v, - 1.74 %/v EU:n yhteinen katto	1739, - 2.2 %/v, EU:n yhteinen katto
Kustannusten kompensointi	Mahdollinen	Mahdollinen	Mahdollinen	Mahdollinen
Päästöoikeuksien alkujako	ilmaisjako	ilmaisjako	40% - 60% huutokauppa. Ilmaisjako: benchmarking, markkinavakausmekanismi (MRS)	57% huutokauppa. Ilmaisjako: benchmarking. MRS ja oikeuksien eliminointi 2023
Keskeisimmät sektorit	Energia (teho alle 20 MW), teräs-, mineraali- ja metalliteollisuus, lasin ja sementin valmistus,	Kausi 1 lentoliikenne typpihappo	Kausi 2, CCS laitokset, petrokemikaalit, alumiini, kipsi	Kausi 3

Ensimmäinen kauppakausi oli päästökaupan opettelukausi edeltäen sitovia Kioto-sopimuksen edellyttämiä päästövähennystavoitteita. Hiilidioksidi oli ainoa kaupan piiriin kuuluva kasvihuonekaasu. Päästökauppaan sisällytettiin noin 11 000 laitosta, jotka vastasivat noin 40 prosentista EU:n hiilidioksidipäästöistä. Kausi päättyi päästöoikeuksien merkittävään ylijäämään, joka mitätöitiin (Euroopan komissio a). Hiilivuotoalttiille aloille sallittiin päästökaupan epäsuorien kustannusten kompensointi, mikä on jatkunut siitä eteenpäin.

Toinen kauppakausi oli Kioton ensimmäinen velvoitekausi. Päästökaupan vähennysvelvoite oli 8 % verrattuna vuoden 2005 päästötasoon. Hiilidioksidin lisäksi typpidioksidi tuli kaupan piiriin. Päästökauppaan liittyi EU:n ulkopuolisia valtioita: Norja, Islanti ja Liechtenstein. Päästöoikeuksista jaettiin ilmaiseksi noin 90 %. (Euroopan komissio a). Päästöjä sai kattaa myös hankeyksiköillä Kioton joustomekanismeista, ja niitä käytettiin yhteensä 1050 miljoonaa hiilidioksiditonnia. Markkina jäi noin 1330 miljoonaa tonnia ylijäämäiseksi. Hankeyksiköiden runsaan määrän ohella

tarjontaa lisäksi vuonna 2008 alkanut laskusuhdanne ja päällekkäiset uusiutuvan energian tavoitteet. Ylimääräiset oikeudet siirtyivät kaudelle 3 (Aatola ym. 2013.)

Kolmas kauppakausi on samalla Kioton pöytäkirjan toinen velvoitekaus, jolle päästöjen vähennystavoite on 21 % verrattuna vuoteen 2005. Komissio otti päästöoikeuksien jaon päätösvaltaansa kansallisen vapaamatkustamisen estämiseksi. Teollisuuden alkujako toteutetaan ns. benchmarking-periaatteella. Teollisuustuotteille määritetään parhaan 10 % mukaiset keskiarvoiset vertailupäästöt (54 benchmarkkia) ja näille laitoksille jaetaan ilmaisia päästöoikeuksia benchmarkin mukaisesti. Benchmarkin alapuolella olevat laitokset saavat oikeuksia tarvitsemaansa vähemmän, jotta ne joutuisivat vähentämään päästöjään tai ostamaan lisää oikeuksia. Ilmaisia oikeuksia jaetaan toimialoille, joilla hiilivuodon riski on suurin. Vuodesta 2012 lähtien myös Euroopan talousalueen sisäiset lennot kuuluvat päästökauppaan ja toimialojen määrää kasvatettiin.²³ Kasvihuonekaasuista päästökauppa kattaa hiilidioksidin, typpidioksidipäästöt sekä PFC-kaasupäästöt. Päästökattoa lasketaan vuosittain 1,74 prosenttia ja huutokaupattavien oikeuksien osuutta kasvatetaan kohti 60 prosenttia (EU ETS Handbook). Huutokauppa voidaan perua, mikäli kaikki päästöoikeudet eivät tule huudetuksi tai jos selvityshinta jää liian alhaiseksi. (EU ETS Handbook). Osa huutokaupoista onkin peruttu vähäisen kysynnän vuoksi (Aatola ym. 2013). Vuosina 2014–2016 siirrettiin noin 900 miljoonaa päästöoikeutta huutokaupattaviksi myöhemmin (ns. backloading) alhaisen tarjotun hinnan vuoksi. Kysynnän ja tarjonnan epäsuhdan vuoksi komissio esitti markkinavakausvarannon käyttöönottoa vuonna 2015 ja se otettiin käyttöön vuoden 2019 alusta (Känkänen ym. 2017).

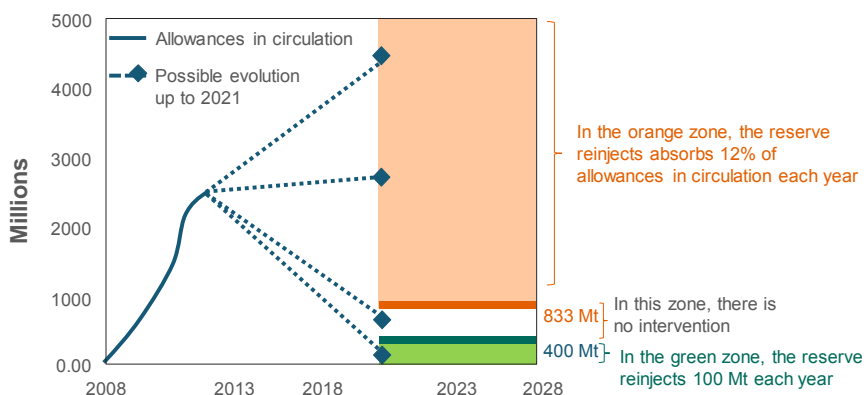
Neljäs kauppakausi (2021-2030) sai muotonsa vuonna 2018 uudistetun päästökauppadirektiivin perusteella, jolloin päätettiin, että vuodesta 2021 eteenpäin päästökattoa leikataan vuosittain 2,2 %, aiemman 1,74 % sijaan. Markkinavakausvarantoon siirrettävien oikeuksien määrä kaksinkertaistetaan 24 prosenttiin vuoteen 2023 saakka ja säilytettävien oikeuksien enimmäismäärää rajoitetaan vuodesta 2024 eteenpäin eliminoimalla sieltä se määrä oikeuksia, joka ylittää edellisenä vuonna huutokaupattujen oikeuksien määrän. Huutokaupattavien päästöoikeuksien osuus on 57 %, ja niiden ehdollinen vähennysprosentti on 3 %. Ilmaiseksi jaettavien oikeuksien jakamisperusteita tarkistetaan vastaamaan paremmin todellisia tuotantotasoja. Päästöoikeuksien benchmark-perusteinen ilmaisjako jatkuu aloilla, joilla hiilivuoto on suuri uhka, muun teollisuuden osalta ilmaisjaosta pyritään asteittain pääsemään eroon vuodesta 2026 alkaen, lukuun ottamatta kaukolämpöalaa. Nykyistä innovaatorahastoa laajennetaan uudeksi nykyaikaistamisrahastoksi, jolla helpotetaan investoimista energia-alan nykyaikaistamiseen sekä energiatehokkuuden parantamiseen. (Euroopan unionin parlamentti ja neuvosto 2018).

²³ Mukana ovat voimalaitokset, muut polttolaitokset, joiden terminen nimellisteho on enemmän kuin 20 MW pois lukien vaarallisen jätteen sekä sekajätteen polttolaitokset, öljyjalostamot, koksiiunit, raudan ja teräksen valmistus, sementtiklinkkeri, lasin, kalkin, tiilien, savituotteiden, sellun, paperin, kartongin, alumiinin, petrokemian tuotteiden, ammoniakkin, typpi-, adipiini-, ja glykossiylihapon tuotanto, hiilidioksidin talteenotto ja kuljetus putkissa, sekä hiilidioksidin geologinen varastointi.

Kauppakausien 3 ja 4 rakenteelliset piirteet vaikuttavat siihen, kuinka päästöoikeuksien hinnan arvioidaan kehittyvän ja millainen tarve on ottaa käyttöön päästökauppaa voimistavaa kansallista politiikkaa, Näitä kysymyksiä tarkastellaan seuraavissa jaksoissa.

4.1.1 Markkinavakausvaranto, päästöoikeuksien hinta ja kansallisen politiikan mahdollisuus

EU:n päästöoikeuskaupan perusongelma on ollut suuri päästöoikeuksien tarjonta verrattuna kysyntään, minkä vuoksi päästöoikeuden hinta ei ole ohjannut riittävästi hiilivapaisiin investointeihin. Markkinavakausvarannon avulla on tarkoitus vähentää päästöoikeuksien ylitarjontaa markkinoilla ja parantaa päästöoikeuskaupan mukautumiskykyä sekä vakauttaa hintatasoa korkeammalle tasolle. Markkinavakausvaranto toimii tavalla, jota hahmottaa **Kuva 8**.



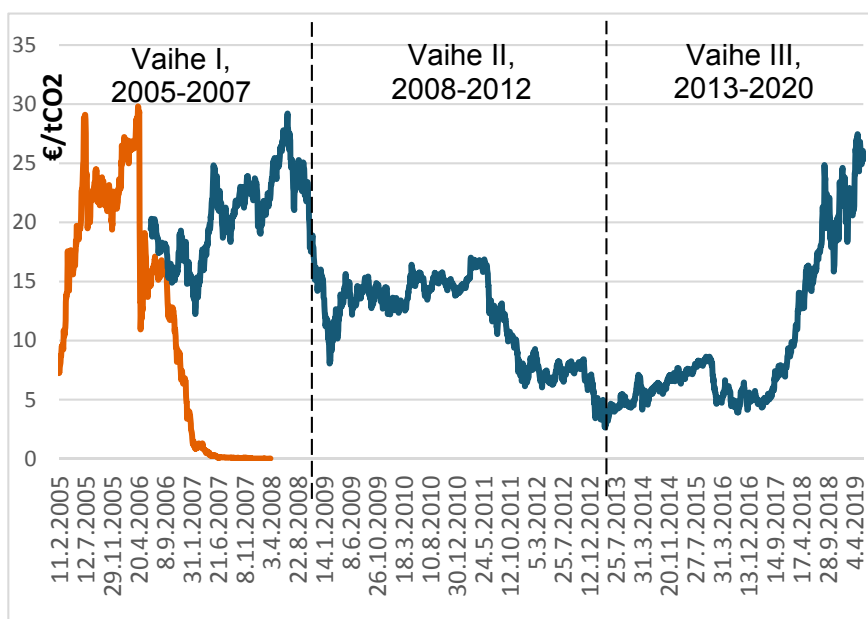
Kuva 8. Markkinavakausvarannon toimintamekanismi (vuoden 2023 oikeuksia poistetaan 12% sijaan 24%). Lähde: Trotignon et al. 2014.

Kuvan lähtökohdaksi on se, että EU:n komissio raportoi vuosittain kierrossa olevien päästöoikeuksien määrän. Kierrossa oleva määrä saadaan laskemalla yhteen liikkeelle lasketut päästöoikeudet ja päästökauppaan tuodut hankeyksiköt Kioton mekanismeista. Tästä summasta vähennetään todennetut päästöt, markkinavakausvarannossa olevat päästöoikeudet ja mitätöidyt päästöt. Mikäli tämän laskutoimituksen tulos ylittää 833 miljoonaa, niin 24 % (vuoden 2023 jälkeen 12 %) tästä määrästä jätetään huutokauppaamatta ja siirretään markkinavakausvarantoon. Tätä alkujaon lykkäämistä jatketaan niin pitkään, kunnes kierrossa olevien päästöoikeuksien määrä laskee 400 miljoonaan. Jos kierrossa olevien päästöoikeuksien määrä laskee tämän luvun alle, niin 100 miljoonaa päästöoikeutta siirretään markkinavakausvarannosta huutokauppaan, kunnes markkinavakausvaranto on tyhjä tai

kierrossa olevien päästöoikeuksien määrä nousee takaisin 400 miljoonan yläpuolelle. EU arvioi päästökaupan uudistustaan vuonna 2024, kun markkinavakaussmekanismi ja päästöoikeuksien eliminoiminen vaikutusta voidaan arvioida.

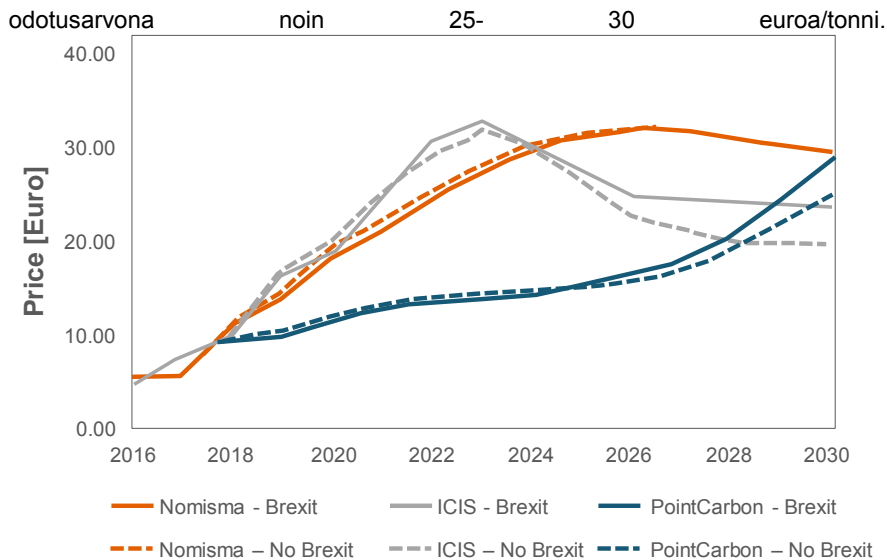
Kuinka suureksi markkinavakaussvarannosta eliminoitavien päästöoikeuksien määrä voi nousta? Perino ja Willner (2017) arvioivat täksi määräksi noin 1 700 miljoonaa päästöoikeutta, mikä vastaa vuoden päästöjä (ennakkotieto päästökaupan päästöistä 2018 on 1 754 Mt). Pahle et al. (2018) arvioivat määräksi jopa 2000 miljoonaa tonnia.

Oikeuksien määrän laskun voi arvioida nostavan päästöoikeuksien hintaa ainakin lyhyellä aikavälillä. **Kuva 9** havainnollistaa päästöoikeuksien hinnan kehitystä yli kauppakausien. Pitkän alhaisen hinnan vaihe vuodesta 2011 vuoteen 2017 kääntyi nousuun syksyllä 2018. Monet arvioijat liittävät tämän nousun juuri markkinavakaussmekanismi voimaantumiseen vuoden 2019 alusta ja hinnan arvioidaan nousevan hieman yli 30 euron tonnilta (Carbon Tracker 2019).

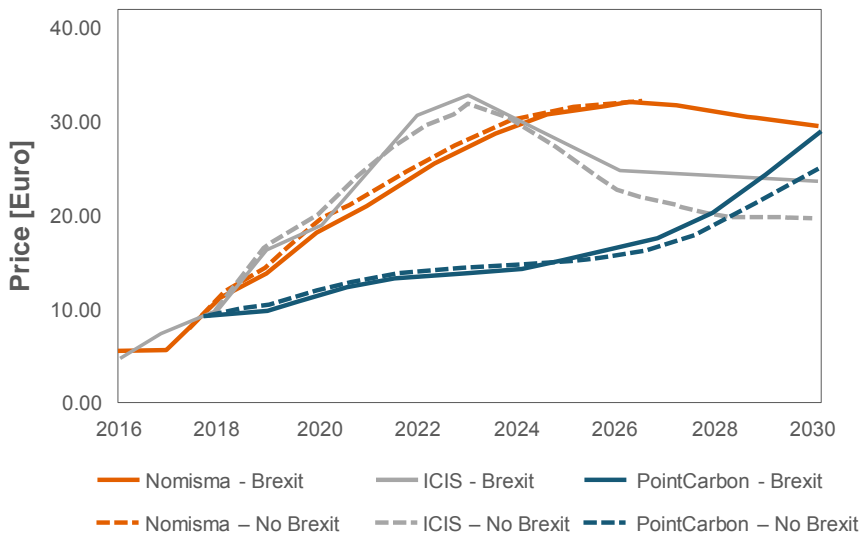


Kuva 9. Päästöoikeuden hinnan kehitys kauppakausittain. Lähde: Carbon Tracker 2019.

Jos päästöoikeusmarkkinan voi olettaa olevan kauas katsova, niin markkinavakaussmekanismi hintavaikutus olisi jo pääosin sisällä toteutuneessa hinnan nousussa. Hinnan kehitystä ennustavien konsultti- ja muiden toimijoiden ennusteet hinnan kehityksestä vuoteen 2030 mennessä osuvat 25 – 50 euron arviohaarukkaan,



Kuva 10 esittää joukon hintaennusteita, joissa myös Britannian mahdollinen ero EU:sta otetaan huomioon.



Kuva 10. Päästöoikeuksien hintakehitys, kun huomioidaan EU:n uusiutuvan energian (30 %) ja energiatehokkuuden (30 %) 2030 tavoitteet sekä mahdollinen Brexit. Lähde Marcu et al. 2019. Huomioitavaa: PointCarbon pricescenario is for 27% RES and 30 % EE.

Hintaurat lähtevät vuonna 2018 noin 10 euron tasolta (vastaten karkeasti toteutunutta hintakehitystä) ja nousevat noin 30 euroon tonnilta vuoteen 2030 mennessä.

ICIS ja Nomisma Energia ennustavat hinnan nousevan aluksi yli 30 euron, mutta laskevan takaisin noin 25 euron tasolle, kun taas PointCarbonin ennusteessa hinta nousee 30 euroon tasaisesti. Brexit vaikuttaa päästöoikeuden hintaa nostavasti, koska Britanniassa päästöjen vähentäminen on ollut keskimääräistä nopeampaa. Mikäli 4. kauppakauden puitteisiin ei tehdä muutoksia, päästöoikeuden hinnan odotusarvo tuolla kaudella on noin 25 euroa tonnilta, ja sitä käytetään seuraavissa luvuissa laskennan lähtökohtana.

Päästöoikeuksien hinnan kehitys on kuitenkin epävarmaa, koska siihen vaikuttavat monet tekijät. Näihin kuuluvat esimerkiksi EU:n ilmastopolitiikan johdonmukaisuus ja mahdolliset päätökset ilmastopolitiikan kiristämisestä Pariisin ilmastopoliittisen mukaisesti, hiilivapaa teknologian kehitys ja omaksuminen sähkön ja lämmön tuotantoon sekä teollisuuden prosesseihin liittyvien uusien innovaatioiden edistyminen. Laadulliset vaikutukset päästöoikeuden hintaan on suhteellisen helppo määrittää. Mitä nopeammin hiilivapaa teknologiaa tulee käyttöön, sitä enemmän oikeuksia jää käyttämättä ja sen pienempi paine hintaan. Mitä tiukempaa ilmastopolitiikkaa EU ajaa, sen vahvempi on yritysten usko, että tulevaisuudessa päästöoikeuksista on niukkuutta ja se pyrkii nostamaan hintaa. Selkein ja nopeimmin päästöoikeuden hintaan vaikuttava tekijä on kuitenkin itse jaettavien päästöoikeuksien määrä. Mikäli EU päättäisi nostaa 2030 ilmastotavoitteensa 55 prosenttiin ja kohdistaisi pääosan vähennyksestä päästökauppaan niin että päästöoikeuksien leikkuri nousisi kohti 4 prosenttia, tällä oli välittömästi merkittävä hintaa nostava vaikutus. Toistaiseksi tällaisia päätöksiä ei ole.

Markkinavakausvarannon perustamisen voi katsoa muuttaneen ainakin lyhytaikaisesti kansallisen päätöksenteon roolia päästökauppasektorilla. Perinteinen argumentti kansallisten ohjauskeinojen käyttöä vastaan päästökauppasektorilla on ollut se, että päästöjen rajoittaminen yhdessä maassa laskee päästöoikeuksien hintaa ja lisää päästöjä muissa maissa. Täten päästöjen kokonaismäärä ei muutu, mutta niiden sijainti muuttuu (ns. vesisänkyefekti, ks. **Kuva 11**). Markkinavakausvarannon oloissa tällainen kytkentä ei ole enää itsestään selvä (Perino ja Willner 2017, Danske Klimarådet 2017). Kun markkinavakausvarantoon siirretään ylimääräisiä oikeuksia, niin kiinteä päästökatto korvautuu markkinoilla toimivalla muuntuvalla päästökatonalla. Tämä uuden säännön ansiosta vesisänkyefekti heikkenee lyhyellä aikavälillä, mutta vahvistuu asteittain vuosien kuluessa, kun oikeuksia palautuu takaisin kiertoon. Ylimääräisten päästöoikeuksien leikkaaminen vuonna 2024 kannustaa erityisesti lyhyen aikavälin kansallisiin päästövähennyksiin maissa, jotka haluavat kunnianhimoisempaa ilmastopolitiikka kuin mitä EU päästökaupan katon muodossa a edellyttää. Omaehtoiset toimet, kuten uusiutuvan energian edistäminen tai energian tuotannon päästöjen tiukempi ohjaus, vähentävät kansallisia päästöjä ja erityisesti mikäli ne tehdään ennen vuotta 2024, ne vähentävät päästöoikeuksien tarjontaa ja pyrkivät nostamaan päästöoikeuden hintaa koko EU:n alueella.



Kuva 11. Vesisänkyefekti: yhden maan yksipuolinen päästöjen vähentäminen lisää päästöjä päästökaupan muissa maissa. Lähde: Perino 2019.

Se ovatko yksipuoliset toimet perusteltuja pidemmällä aikavälillä, riippuu monista tekijöistä ja ennen muuta siitä, kuinka EU:n ilmastopolitiikan kunnianhimo nousee 2030 – 2050 välisenä aikana. Tanskan ilmastopaneelin analyysissä markkinava-kausvarannosta palautuu päästöoikeuksia vielä vuoden 2050 jälkeenkin (Danske Klimarådet 2017, s. 12). Yritysten kannalta olennainen kysymys on, kuinka uskottavana tätä voi pitää, vai onko perusteltua ajatella, että vuoden 2050 jälkeen EU ei käytännössä salli päästöjä päästökauppasektorilta. Tällaisten odotusten vallitessa kansallisella politiikalla ei ole ainakaan vahvaa vesisänkyefektiä, mutta asian arviointi on monimutkainen. Perino (2018) arvosteleeekin päästökaupan neljännelle kaudelle voimaan tulevia muutoksia monimutkaisiksi ja läpinäkymättömiksi. Nämä muutokset tulevat vaikeuttamaan yritysten investointipäätösten lisäksi poliitikkojen työhön löytää mahdollisimman toimiva ilmastopolitiikan ohjauskeinojen yhdistelmä. (Perino, 2018.)

Vesisänkyefektin merkitystä voidaan arvioida myös kansallisen kunniahimon ja elinkeinopoliittisen strategian näkökulmasta. EU:n päästökauppa on kyllä kustannustehokas, mutta päästökatto on monien maiden mielestä löysä eikä vastaa pyrkimystä Pariisin ilmasopimuksen 1,5 asteen tavoitteeseen. Päästökatto ei tue jäsenmaiden maiden progressiivisesti kasvavien päästövähennyslupausten antamista Pariisin sopimukseen, eikä se sovi kansallisiin tavoitteisiin luoda kilpailukykyä ja edelläkävijyyttä hiilivapaista energia- ja teollisuusratkaisuista. Tällöin punnittavaksi tulee omaehtoisten toimien kansallinen hyöty (ilmastoarvostus ja liiketoiminta) sekä uusien ratkaisujen mahdollistama päästöjen vähennys tulevaisuudessa suhteessa siihen kustannusrasitukseen ja kilpailukykyvaikutukseen, jonka ilmastopolitiikan korkeampi kunnianhimo luo. Tähän ei ole yksikäsitteistä vastausta. Sen sijaan voidaan analysoida, miten kansalliset tavoitteet vaikuttavat päästökauppaan ja kuinka se voisi parhaiten toteuttaa.

4.2 Kansalliset ratkaisut: kiellot ja kansalliset lattiahinnat päästökaupan tukena

Mikäli EU on haluton nostamaan päästökaupan kunnianhimoa, päästöoikeuksille voidaan tuottaa lattiahinta kansallisin toimin. Yhden maan näkökulmasta katsottuna toimiva keino on asettaa kansallinen hiilidioksidin hinta päästöoikeuden hinnan

päälle. Toinen mahdollisuus on, että useampi kunnianhimoisen maa muodostaa koalition, joka asettaa huutokaupattaville oikeuksille riittävän korkean ja ajassa kasvavan reservaatihinnan (hinta, jonka alapuolisilla hinnoilla oikeuksia ei myydä) (Wood and Jotzo 2011). Kolmas mahdollisuus on, että maa tai koalition vaatii päästökaupassa olevia laitoksia tilittämään ylimääräisiä päästöoikeuksia kansallisille viranomaisille (Fisher ja Böhringer 2019). Tämä tulee lähelle vaihtoehtoa, jossa on päästökaupassa olevilla yrityksillä kansallinen vero, joka kohdennetaan päästöoikeuksien hankkimiseen. Jos reservaatihintaa määrittävä koalition on riittävän suuri, se voi samalla vaikuttaa päästöoikeuden hintaan ja sitä kautta myös koalition kuulumattomien maiden päästöjen vähentämiseen. Useissa maissa päätetty kivihiilen ulossulkeminen määrä sääntelynä olisi ollut periaatteessa mahdollista saavuttaa myös riittävän suuren lattiahinnan ja kansallisen hiiliveron avulla.

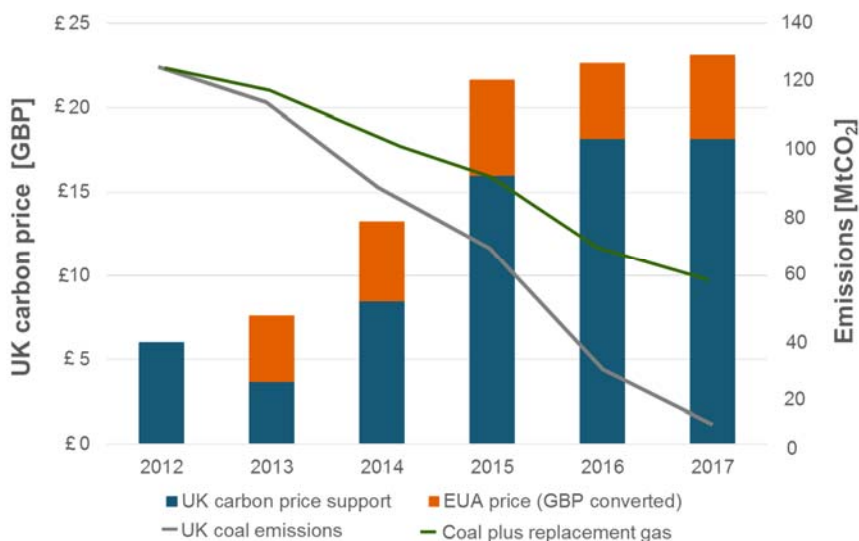
Fisher ja Böhringer (2019) analysoivat simulaatiomallien avulla kaikkea kolmea vaihtoehtoa. He ottavat myös lähtökohdaksi ilmastopoliittisesti kunnianhimoisen koalition ja tutkivat reservaatihinnan ja hiiliveron ohella vaihtoehtoa, jossa päästökaupassa toimivilta yrityksiltä vaaditaan kansallisesti lisää tilitettäviä päästöoikeuksia, niin että haluttu lattiahintaa saavutetaan. Heidän mukaansa reservaatihinta vähentää tehokkaimmin oikeuksia kierrosta, kansallinen vero tuo eniten verotuloja koalitiolle ja lisäpäästöoikeuksien vaatiminen nostaa päästöoikeuksien hintaa.

Pahle et al. (2018) simuloivat kivihiilikiellon vaikutusta päästökaupaan käyttäen huutokauppojen reservaatihintaa lattiahintana. Tarkastelussa on 11 kivihiilikoalition EU-maata, jotka ovat asettaneet sitovan takarajan kivihiilen poistamiselle tuotannosta (Ranska ja Ruotsi 2020, ja muut joko 2025 tai 2030; Saksa mukana, vaikka virallista päätöstä ei ole). Kivihiilen ulossulkeminen ilman reservaatihintapolitiikkaa sellaisenaan laskee merkittävästi päästöoikeuden hintaa (40 euron tasolta 20 euron). Jos maat ottavat käyttöön reservaatihinnan tuottamaan päästökaupalle lattiahinnan, tämä vesisänkyvaikutus voidaan poistaa. Analyysissä asetettiin reservaatihinnaksi 25 €/t vuonna 2020 ja sitä nostettiin vuosittain 5 %. He havaitsivat, että hiilikoalition pystyy pitämään oikeuksia poissa kierrosta reservaatihinnan avulla niin, että lattiahintaa saavutetaan. Jos yritysten diskonttokorko on suurempi kuin reservaatihinnan nousun 5 %, niin oikeuksia jää sivuun erityisesti alkuvaiheessa ja päästöoikeuksien hinta nousee enemmän kuin 5 % vauhtia. Koalition toimilla on hyvinvointivaikutuksia: Saksa, Puola ja Italia kantavat politiikan suurimmat kustannukset.

Kummankin tutkimuksen tulos on, että omaehtoinen EU:n päästökatto kunnianhimoisempi politiikka on mahdollista toteuttaa niin, että vesisänkyvaikutus vältetään, mikäli koalitiossa on riittävästi osallistujia. Mikäli koalition ei synny tai se on pieni, omaehtoisen politiikan valinta palautuu lattiahinnan asettamiseen kansallisen hiilidioksidiveron avulla. Se on harkinnan arvoinen vaihtoehto myös Suomelle, kun turpeen osuutta halutaan vähentää energiapaletista. Britannian kokemukset hiilidioksidiverosta ovat tässä suhteessa rohkaisevat.

Britannia on ensimmäinen EU maa, joka otti käyttöön omat ohjauskeinonsa jouduttamaan kansallisten, päästökauppaan kuuluvien yritysten päästövähennyksiä. Ratkaisun taustalla on Britannian ilmastolaki ja sen mukaiset -viisivuotiskausittain

parlamentissa hyväksyttävät hiilibudjetit, jotka hallituksen tulee saavuttaa. Kansallisten tavoitteiden saavuttamisessa kustannustehokkuus edellyttää toimia niin energia kuin muillakin sektoreilla. Britannian asetti lattiahinnan juuri hiilidioksidiveron avulla. Tarkemmin sanoen, määritetään se hiilen hinta, joka kulloinkin on tarpeen hiilibudjetin saavuttamiseksi. Jos päästöoikeuksien hinta on tämän tason alapuolella, niin asettamalla hiiliveron tukemaan päästöoikeuksien hintaa saavutetaan haluttu hinta hiillelle. **Kuva 12** havainnollistaa veron ja päästöoikeuksien hinnan suhdetta.



Kuva 12. Lattiahinta, hiilidioksidivero ja kivihiilen päästöt Britanniassa.

Lähde: On Climate Change Policy.

Esitetyn nojalla voidaan päätellä, että Suomi voisi halutessaan asettaa oman hiilidioksidiveron päästöoikeuksien hinnan päälle ja tuottaa lattiahinnan tasolle, joka tarvitaan turpeen ajamiseen ulos Suomen CHP-laitoksista, jos päästöoikeuden hinta ei tähän riitä. Mikäli EU ei nosta vuoden 2030 tavoitteitaan 55 % tasolle, on myös mahdollista että kunnianhimoiset jäsenmaat ryhtyvät luomaan aktiivista koalitiota reservaatihinnan ja sen myötä päästöoikeuden hinnan nostamiseksi. Annettuna Suomen kunnianhimoiset ilmastotavoitteet osallistuminen koalition voisi tarjota toisen tien turvata se, että päästöoikeuden hinta nousisi tasolle, jolla kansalliset tavoitteet esimerkiksi turpeen käytön suhteen voidaan saavuttaa.

4.3 Johtopäätöksiä päästöoikeuden hinnan kehityksestä ja kansallisen politiikan luomisesta

Euroopan unionin päästöoikeuskauppa on luonut päästöille markkinan, jossa päästöoikeuksien hankinta ja myyminen on sujuvaa ja laajamittaista. Joustavaa kauppaa varjostavat kuitenkin päästöoikeuksien liikatarjonta ja ajan saatossa tehdyt useat reformit, viimeisimpänä markkinavakausmekanismi, jotka monimutkaistavat järjestelmää. Tämä tekee päästöoikeuksien hintakehityksen ennakoinnin haastavaksi. Markkinavakausmekanismin luominen on samalla luonut tilaa ainakin lyhyellä aikavälillä korkeammalle kansalliselle kunnianhimolle ilman olennaista hiilivuotoa toisissa jäsenmaissa toimiviin päästökaupan alaisiin yrityksiin. Tarkastelun pääjohtopäätökset voidaan tiivistää seuraavasti.

EU:n päästökauppaan liittyy jäsenmaiden välinen ilmastopoliittikan kunnianhimoa koskeva jännite. Päästöoikeuskauppa on kustannustehokas ohjauskeino annetun päästökaton saavuttamiseen, mutta kauppakaudelle 2021-2030 asetettu katto on kompromissi, johon ilmastopoliittisesti kunnianhimoiset maat ovat tyytymättömiä. Löyhä katto ei edistä riittävästi Pariisin ilmastopimuksen 1,5 tavoitetta eikä tue näiden maiden kansallista kunnianhimoa puhtaiden ratkaisujen luomiseen.

Päästöoikeuksien hinta jää keskimäärin tasolle 25 €/t. Annettuna neljännen kauppakauden (2021-2030) alkujako ja muut rakenteelliset puitteet, päästöoikeuksien hinnan voi arvioida asettuvan tällä kauppakaudella keskimäärin tasolle 25 €/t. Vuoden 2024 vaiheilla hinta nousee tämän tason yläpuolelle, mutta useiden arvioiden mukaan laskee takaisin tälle tasolle. Suomen osalta tämä hinta ei välttämättä riitä hallitusohjelman mukaiseen turpeen käytön hallittuun alasajoon. Päästöoikeuksien hinnan odotusarvo jää myös selvästi sen tason (30-80 €/t) alapuolelle, mitä eri tutkimukset (esim. Maailmanpankki 2017 ja Knopf ym. 2014) esittävät tarpeelliseksi, jotta EU:n ja sen jäsenmaiden päästöt vähenisivät Pariisin sopimuksen ilmastotavoitteiden mukaisesti.

Kansallisen hiilidioksidiveron avulla tuotettu päästöoikeuksien lattiahintaa sopii yksittäisen maan ohjauskeinoksi. Markkinavakausmekanismi on luonut tilaa kansallisen kunnianhimon nostamiseen ilman päästöjen kasvua toisaalla. Paras tapa yksittäiselle maalle omaehtoiseen kunnianhimon nostamiseen on asettaa kansallinen hiilidioksidivero päästöoikeuksien hinnan päälle, kuten Britannia tekee. Tällainen vero tarjoaisi myös Suomelle mahdollisuuden edistää 2035 hiilineutraaliustavoitetta sekä turpeen käytön hallittua alasajoa, jos päästöoikeuden hintakehitys ei tähän johda. Kansallinen hiilidioksidivero nostaa kansallisia kustannuksia lyhyellä aikavälillä, mutta voi johtaa kilpailuetuun pidemmällä aikavälillä.

Kunnianhimoisten maiden koalitio voi edistää sekä kansallisen että päästökaupan kunnianhimon nostamista. Mikäli kunnianhimoisten maiden koalitio on riittävän suuri, niin se pystyy reservaatiohinnan avulla nostamaan päästöoikeuden hintaa ja edistämään päästöjen vähennystä myös maissa, joiden kunnianhimo on alhainen. Samalla koalition kustannus- ja kilpailukykyvaikutukset vähenevät.

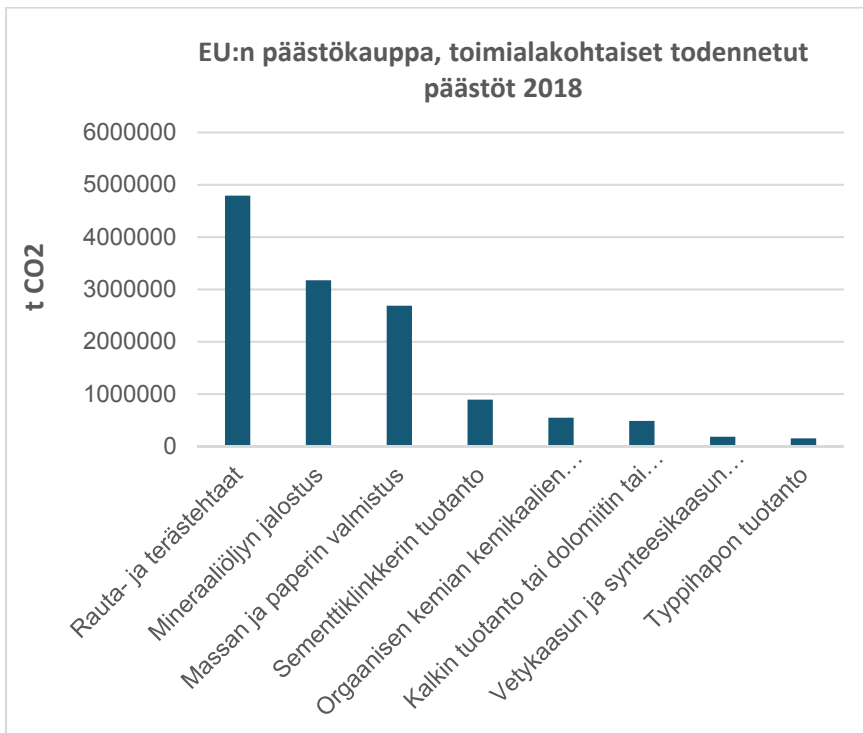
5 Teollisuuden ja energiantuotannon mahdollisuudet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä Suomessa

Göran Koreneff, Tomi J. Lindroos, Esa Pursiheimo, Miika Rämä, Hanne Siikavirta

5.1 Energiaintensiivinen teollisuus

Teollisuuden kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat prosessipäästöistä ja polttoaineiden käytöstä (ml. oman sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineet) sekä teollisuuden jätehuollosta, työkoneista ja kuljetuksista. Teollisuuden prosessiperäiset kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2018 5,9 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. Tästä 4,2 miljoonaa tonnia CO₂-ekv kuului päästökaupan piiriin ja 1,7 miljoonaa tonnia CO₂-ekv päästökaupan ulkopuolisille sektoreille (tästä F-kaasujen käyttö 1, 3 miljoonaa tonnia CO₂-ekv). Teollisuuden polttoaineiden käytön (sisältää teollisuuden oman sähkön ja lämmön tuotannon sekä muun polttoaineiden käytön) kasvihuonekaasupäästöt olivat 6,9 milj. tonnia CO₂-ekv. vuonna 2018 (Tilastokeskus 2019).

Eräiden toimialojen todennetut päästöt EU:n päästökaupassa vuonna 2018 on esitetty alla kuvassa (**Kuva 13**) perustuen Energiaviraston (2019) julkaisemiin tietoihin.



Kuva 13. Eräiden toimialojen todennetut päästöt EU:n päästökaupassa vuonna 2018. Lähde: Energiavirasto 2019.

Teollisuuden kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää muun muassa:

- lisäämällä resurssi- ja energiatehokkuutta
- korvaamalla teollisuuden omassa sähkön ja lämmöntuotannossa fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla energialähteillä
- korvaamalla fossiilisia tai hiilidioksidipäästöjä aiheuttavia materiaaleja
- prosessimuutoksilla (ml. prosessien sähköistäminen) sekä
- hiilidioksidin erotus- ja varastointiteknologioilla.

Seuraavassa on tarkasteltu mahdollisuuksia teollisuuden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomessa.

5.1.1 Kemianteollisuus

Kemianteollisuuden päästöt ovat vähentyneet 45 prosenttia vuosien 2008–2018 aikana. Suurin osa vähenemästä johtui vuonna 2009 käyttöön otetuista päästöjä alentavista katalyyteistä typpihapon valmistuksessa (Tilastokeskus 2019).

Porvoon öljynjalostamon alue on Pohjoismaiden suurin petrokemianteollisuuden keskittymä. Toinen jalostamo sijaitsee Naantalissa. Biodieselin tuotannosta huolimatta mineraaliöljyn jalostuksen volyymin kehitys ei ole toistaiseksi osoittanut merkkejä kääntymisestä laskuun.

Biopolttoaineiden jalostuksen osalta PITKO-hankkeen tulokset viittasivat vahvasti siihen, että biopolttoaineiden tuotantotekniikassa kannattaa tulevaisuudessa painottua erilaisiin vedytys- ja vetykäsittelyprosesseihin (esim. vetytehostetut kaasutukseen perustuvat synteesisprosessit, hydrotermiset menetelmät), jotka voivat oleellisesti tehostaa biomassasyötteen käyttöä ja jotka toisaalta voivat hyödyntää vaihtelevaa uusituvaa sähköntuotantoa silloin, kun se on edullista. Näin rajallisten biomassavarojen energiakäyttö ja vaihteleva uusiutuva energia tukevat toisiaan (Koljonen et al. 2019).

Vedyn valmistuksen päästöt ovat kasvaneet nelinkertaisiksi vuodesta 2007 lähtien uusien laitosten käyttöönoton seurauksena (Tilastokeskus 2019). Valmistettaessa maakaasusta vetyä syntyy CO₂:a, jota otetaan jo nykyisin talteen ja hyödynnetään. Kasviuonekaasupäästöjä olisi mahdollista vähentää kuljettamalla vedyn valmistuksessa talteen otettu CO₂:n pysyvästi varastoitavaksi esim. Norjaan. Vetyä voidaan tuottaa myös vedestä elektrolyysillä.

5.1.2 Terästeollisuus

Keskeiset tuotantolaitokset Suomessa ovat SSAB:n Raahen tehdas ja Outokummun Tornion tehdas. Merkittävimmät kasviuonekaasupäästöt syntyvät Raahen tehtaiden masuuneissa, joissa rautamalmin sisältämät rautaoksidit pelkistetään metalliseksi raudaksi koksien avulla. SSAB:n mukaan Raahen tehtaan masuunit on määrä vaihtaa päästöttömiin vaiheittain. SSAB, LKAB ja Vattenfallin HYBRIT-hankeessa kehitetään teknologiaa, jossa koksi korvataan vedyllä. Vetyä tuotettaisiin vedestä elektrolyysin avulla. Vedyn tuotanto vaatii sähköä, joka tulisi tuottaa päästöttömästi kasviuonekaasupäästövähennemien aikaansaamiseksi (SSAB 2019).

Uuden prosessiteknologian lisäksi kasviuonekaasupäästöjä voidaan vähentää resurssi- ja energiatehokkuutta lisäämällä. HYBRIT- hankkeessa kehitettävä teknologia on vaihtoehto CCS:lle eli sitä ei tarvitse/voi soveltaa esim. Raahen tehtailla.

5.1.3 Sementin valmistus

Sementtiklinkkeriä tuotetaan Suomessa Finnsementin Paraisten ja Lappeenrannan tehtailla. Suuri osa sementin valmistuksen kasviuonekaasupäästöistä syntyy, kun kalkkikivi poltetaan klinkkeriksi. Loput sementin valmistuksen aiheuttamasta hiilidioksidista on peräisin polttoaineista. Kasviuonekaasupäästöjä on vähennetty parantamalla uunien energiatehokkuutta ja ottamalla käyttöön perinteisiä polttoaineita korvaavia energialähteitä (Finnsementti 2018). Sementin seosmateriaalina voidaan käyttää myös klinkkeriä korvaavia materiaaleja kuten masuunikuonaa. Masuunikuonaa ei ole kuitenkaan enää saatavilla, kun terästeollisuus siirtyy vetypelkistykseen (Koljonen et al. 2019). Sementinvalmistuksen prosessi- ja energiaperäisiä

päästöjä on mahdollista vähentää myös uudentyypisillä sähkö- ja hybridiuuneilla, joita ollaan kehittämässä sekä CCS:llä.

5.1.4 Paperi- ja selluteollisuus

Massan ja paperin valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää lisäämällä resurssi- ja energiatehokkuutta sekä korvaamalla teollisuuden omassa sähkön ja lämmöntuotannossa fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla energialähteillä. Metsäteollisuuden tehdaspolttoaineista yhteensä 85,3 % oli vuonna 2017 uusiutuvia (bioliemiä ja kiinteitä puupolttoaineita). Tämän lisäksi tehdaspolttoaineita olivat maakaasu (6,1 %), turve (3,6 %), raskas polttoöljy (2,5 %), kivihiili (1,2 %) ja muut (1,2 %) (Metsäteollisuus 2018). Prosessi- ja energiaperäisiä päästöjä on mahdollista vähentää myös uudentyypisillä sähkö- ja hybridiuuneilla, joita ollaan kehittämässä.

Metsäteollisuuslaitokset tuottavat myös bioperäistä CO₂:a, jonka erotus ja varastointi tarjoavat mahdollisuuden tuottaa negatiivisia päästöjä.

5.1.5 Power to X

Pidemmälle tulevaisuuteen katsovissa Power to X -konsepteissa X voi olla kaasua, nestettä tai vetyä. Merkittävä osa energiasta voitaisiin tuottaa aurinko- ja tuulivoimalla ja varastoida synteettiseen maakaasuun. Järjestelmä olisi hiilidioksidin suhteen neutraali. Sähkö-energiajärjestelmän hiilidioksidikierto voidaan sulkea, ja liikenteen sekä teollisuuden päästöt voidaan sitoa uudelleen käyttämällä ilmakehän hiilidioksidia energijärjestelmän hiilenlähteenä. Synteettistä maakaasua voidaan jakaa jo olemassa olevassa maakaasuverkossa. Tätä voidaan katsoa myös uusituvan energian laajana varastointimahdollisuutena (Tekes 2017)

5.2 Sähkö, kaukolämpö ja rakennusten lämmitys

5.2.1 Nykytilanne

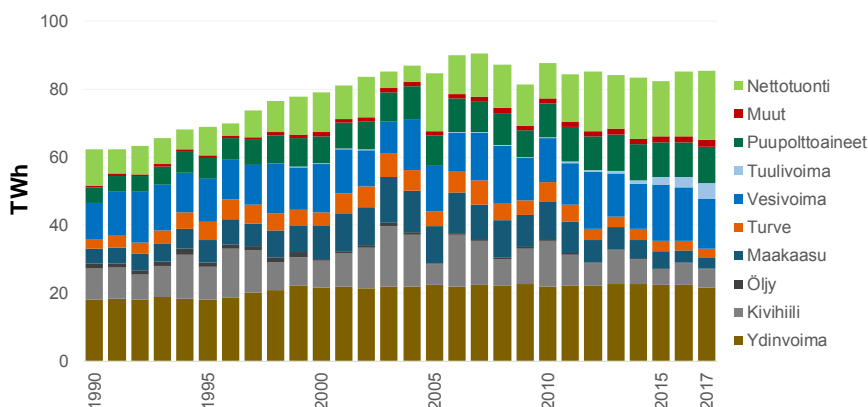
Suomen sähköjärjestelmä on oleellinen osa pohjoismaisia sähkömarkkinoita, jotka puolestaan entistä voimakkaammin integroituvat Euroopan muihin sähkömarkkinoihin. Pohjoismaista on merkittävät siirtoyhteydet Saksaan, Alankomaihin, Baltiaan, Puolaan ja Venäjälle ja uusia yhteyksiä on tulossa muun muassa Isoon-Britanniaan. Euroopan sähköpörssit ovatkin pitkälti linkattuja, eli energia virtaa ylijäämäalueilta alijäämäalueille. Säättö- ja reservimarkkinoiden yhdenmukaistaminen on myös käynnissä, ja mitä paremmat yhteydet ovat käytössä, sitä paremmin saadaan uusiutuva tuotanto integroitua energijärjestelmään.

Sähköpörssit ovat energiapohjaisia (ns. energy-only), mikä tarkoittaa sitä, että kapasiteetille ei ole erillistä maksua, vaan ainoastaan tuotetulle energiamäärälle

maksetaan korvaus. Lyhyen aikavälin marginaalin mukainen hinnoittelu automaattisesti suosii energiahinnaltaan halpojen (mutta usein investoinneiltaan kalliiden) tuotantomuotojen, kuten tuuli-, aurinko- ja myös ydinvoiman, ajamista ennen polttoainehinnaltaan kalliita tuotantomuotoja.

Kuten luvussa 1 esitettiin, sähkötuotannossa polttoaineilla ei ole erillistä energia-veroä, jotta yhteiseurooppalainen markkina ei vinoutuisi. Polttoaineteholtaan 20 MW suuremmat fossiilisia polttoaineita ja turvetta käyttävät laitokset osallistuvat kuitenkin EU:n päästökauppaan, jossa ne maksavat EU:n päästökaupan mukaisen päästöoikeuden hinnan.

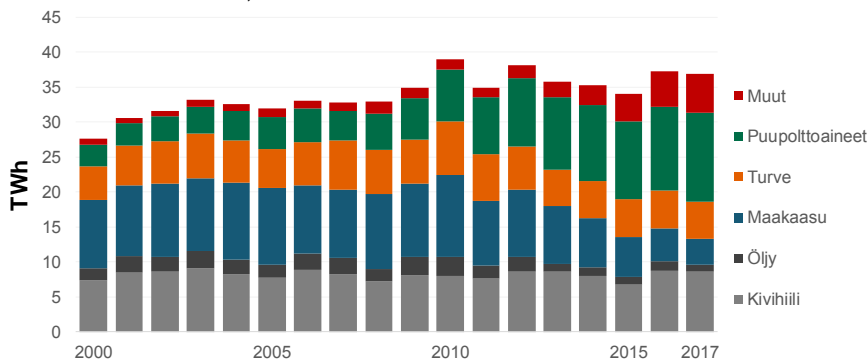
Suomen sähkön hankinta perustuu ydinvoimaan, tuontiin, yhteistuotantoon ja vesivoimaan ja kasvavin määrin myös tuulivoimaan. Lauhdetuotannon määrä riippuu pohjoismaisesta vesivuodesta. Kuivana vuonna tuotantoa on ollut enemmän, märkänä vähemmän, mutta lauhdetuotantokapasiteettia on viime vuosina voimakkaasti ajettu alas ja suurin hiililauhdelaite Meri-Porikin on pääasiassa markkinoiden ulkopuolisessa tehoreservissä. Polttoaineita käytettävästä sähkön tuotannosta suurin osa saadaan nykyään puupolttoaineista. Hiilen, maakaasun, turpeen ja tukipolttoaineena käytettävän öljyn osuus sähkön hankinnasta oli alle 15 % vuonna 2017 (ks. Kuva 14).



Kuva 14. Sähkön tuotantorakenne 1990-2017. Lähde: Tilastokeskus, 2019.

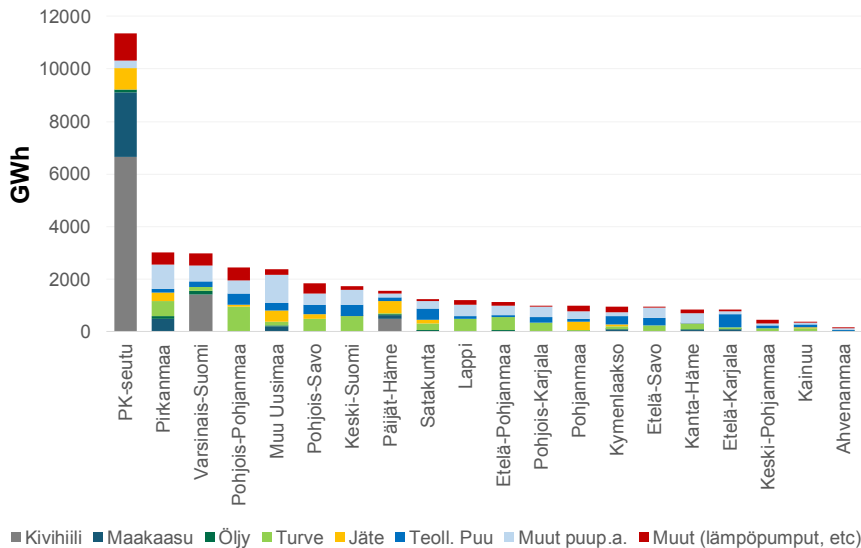
Kaukolämmön tuotanto on alueellista monopoliliiketoimintaa. Kaukolämpö on tuotettava paikallisesti kaukolämpöverkon yhteydessä, mikä saattaa asettaa rajoituksia lämmönlähteiden potentiaalille ja hinnalle. Lisäksi sähkön ja lämmön yhteistuotanto linkittää paikallisen kaukolämmön tuotannon pohjoismaiseen sähkömarkkinaan tuotetun sähkön markkinahinnan kautta. Näin ollen sähkön markkinahinnan vaihtelu vaikuttaa tuotetun kaukolämmön kannattavuuteen. Toisaalta myös lämpöpumppujen käyttö lisää sähkön markkinahinnan vaikutusta kaukolämmön tuotantoon. Kaukolämpö kilpailee muiden lämmöntuotantomuotojen (lämpöpumput, suora sähkölämmitys, puulämmitys) kanssa pääasiassa vain kaukolämpöverkon laajentumisessa. Suomessa polttoaineteholtaan yli 20 MW olevat kaukolämpöjärjestelmät ovat

mukana päästökauppajärjestelmässä ja kaukolämmön tuotantoon käytetyistä polttoaineista kivihiili, maakaasu, polttoöljyt ja turve ovat energiaverotuksen piirissä. Kivihiili, öljy, maakaasu ja turve muodostivat vuonna 2017 karkeasti noin puolet kaukolämmön tuotannosta, ks. **Kuva 15**.



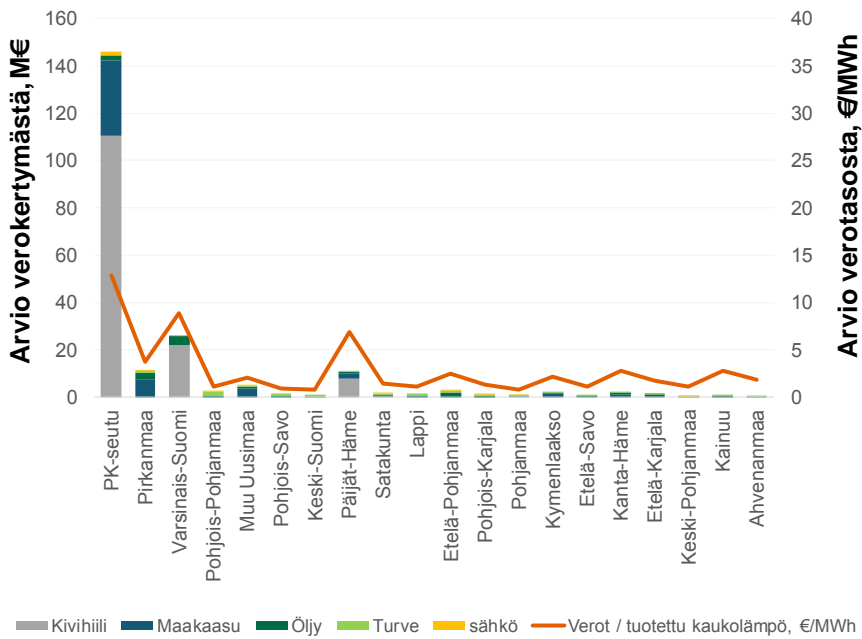
Kuva 15. Kaukolämmön tuotantorakenne 2000-2017. Lähde: Tilastokeskus, 2019.

Kaukolämmön tuotannon volyymit ja polttoaineet vaihtelevat merkittävästi maakunnasta toiseen (**Kuva 16**). Kivihiilen käyttö on keskittynyt suuriin kaupunkeihin Etelä-Suomessa, pääasiassa pääkaupunkiseudulle, Turkuun ja Lahteen. Maakaasun käyttöä rajoittaa maakaasuverkko, joka kattaa Etelä-Suomen. Suomeen on tosin rakennettu viime vuosina nesteytetyn maakaasun vastaanottoterminaaleja ja varastoja maakaasuverkon ulkopuolelle, mutta niiden kapasiteetti on erittäin pieni ja käyttö on tarkoitettu lähinnä teollisuuden ja liikenteen polttoaineiksi. Turve ja puupolttoaineet kasvavat tärkeimmiksi polttoaineiksi, kun siirrytään kohti Keski- ja Pohjois-Suomea. Keskeisiä syitä tähän ovat kaukolämpöverkkojen pienenevä koko ja polttoaineiden paikallinen tarjonta.



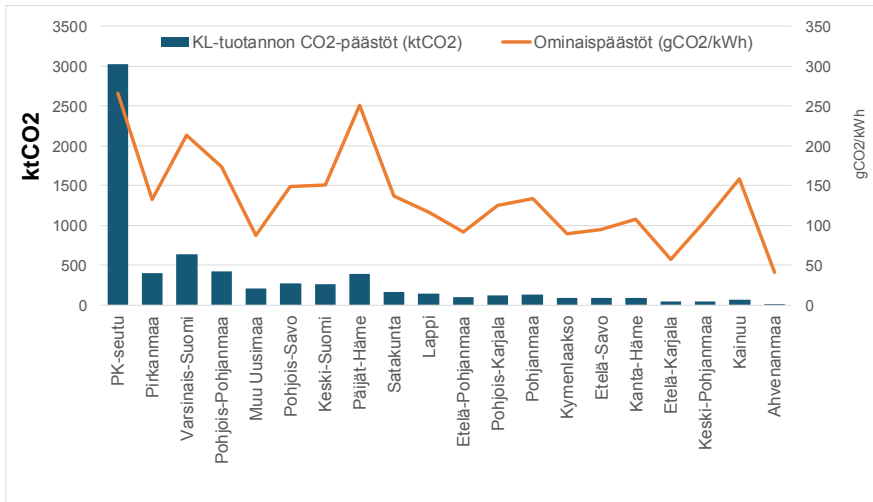
Kuva 16. Arvio kaukolämmön tuotannosta polttoaineittain maakunnissa vuonna 2017. Lähde: VTT:n laitostietokanta 2019.

Noin 64 % kaukolämmön tuotannon energiaveroista kannettiin kivihiilestä, 22 % maakaasusta, 9 % öljystä, 4 % turpeesta, ja vain noin 1 % kaukolämmön tuotantoon käytetystä sähköstä (VTT laitostietokanta). Määrällisesti tarkasteltuna kyseessä on niiden suurten kaupunkien verottamista, jotka eivät käytä puupolttoaineita tai turvetta kaukolämmön tuotantoon (**Kuva 17**). Energiaverot kasvattivat pääkaupunki-seudulla kaukolämmön hintaa noin 12 €/MWh, kun pääasiassa turvetta ja puuta käyttävissä maakunnissa verojen tuoma lisähinta oli alimmillaan noin 1 €/MWh tasolla.



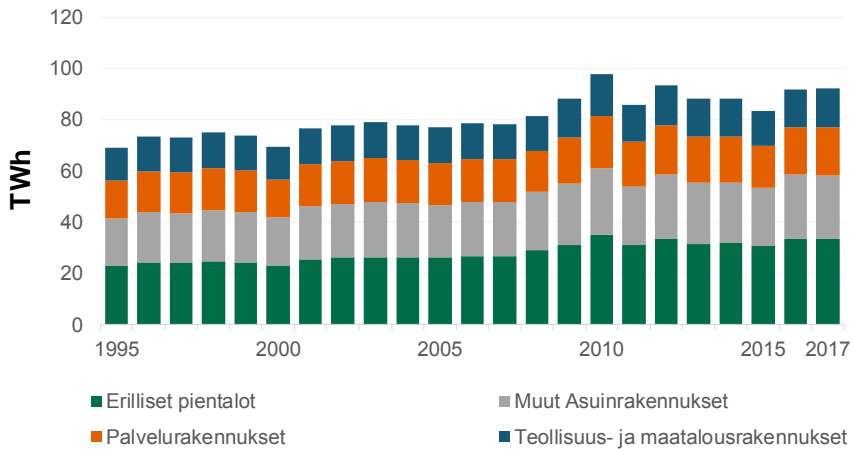
Kuva 17. Arvio kaukolämmön tuotannon energiaveroista ryhmiteltyinä polttoainelaitain ja maakunnittain vuonna 2017. Lähde: VTT:n laitos tietokanta 2019.

Kaukolämmön tuotannon päästöt jakautuvat maakunnittain pitkälti samassa suhteessa kuin energiaverot, sillä energiaveroissa on turvetta lukuun ottamatta hyvin voimakas hiilidioksidikomponentti. Kaukolämmön tuotannon päästöintensiteetti (gCO₂/kWh) on korkein kivihiiltä käyttävissä kaupungeissa (ks. maakuntajakauma **Kuva 18**).



Kuva 18. Arvio kaukolämmön tuotannon CO₂-päästöistä maakunnissa vuonna 2017. Lähde: VTT:n laitos-tietokanta 2019.

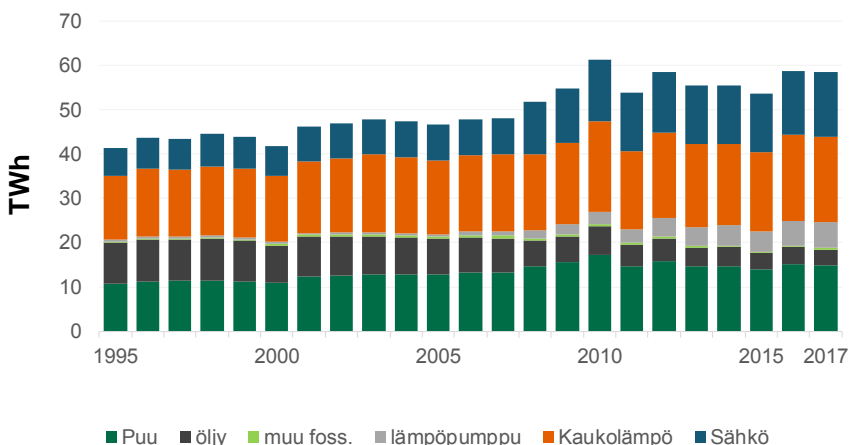
Kaukolämmön tuotannon lisäksi rakennusten erillislämmityksessä syntyy CO₂-päästöjä ja energiaverotuloja. Tilastokeskuksen tilastoinnissa rakennusten energiankulutus jakautuu karkeasti kolmeen yhtä suureen osaan: erillisiin pientaloihin, muihin asuinrakennuksiin, ja muihin rakennuksiin (**Kuva 19**).



Kuva 19. Rakennusten energiakulutus rakennustyypeittäin 1995-2017. Lähde: Tilastokeskus, 2019.

Rakennusten lämmityksessä kaukolämpö ja sähkö muodostavat merkittävimmän osuuden (**Kuva 20**). Lämmityssähköä kuluu pääasiassa suoraan sähkölämmitykseen, mutta myös lämpöpumppujen käyttämiseen. Sähkön markkinahinnan ja kaukolämmön tuotantokustannusten ja siten lämmön hinnan kehitys vaikuttavat merkittävästi sekä näiden keskinäiseen voimasuhteeseen että myös kilpailuasemaan öljy- ja puulämmitykseen nähden.

Rakennuksissa käytetyn lämmitysöljyn määrä on vähentynyt 42 % vuodesta 1995 vuoteen 2017 ja trendi on jatkumassa. Vuonna 2017 rakennusten lämmitysjästä käytettiin 37 % teollisuusrakennuksissa, 33 % asuinrakennuksissa ja 27 % palvelurakennuksissa. Öljylämmityskenttä onkin hyvin hajanainen ja energiaverotus on teknistaloudellisesti kustannustehokas keino sen ohjaamiseen. Toisaalta monissa tapauksissa siirtyminen öljylämmityksestä esimerkiksi lämpöpumpuihin olisi jo nykyään kustannustehokasta, mikä viittaa siihen, että öljylämmityksestä luopumiseen liittyy muita esteitä (Koljonen et al. 2017).



Kuva 20. Rakennusten energiakulutus²⁴ energiamuodoittain 1995-2017.

Lähde: Tilastokeskus, 2019.

5.2.2 Kehitysnäkymät ja päästövähennyskeinot

Sähkö

Suomen sähkön tuotanto kilpailee eurooppalaisilla markkinoilla ja on marginaalissa varsinkin Saksan rusko- ja kivihillilauhdesähköä vastaan. Päästöoikeuskaupan tarkoituksena on varmistaa kustannustehokkaasti tapahtuva kasvihuonekaasujen vähenemä.

²⁴ Lämpöpumppujen ympäristölämpö näkyy kohdan "Lämpöpumppu" alla ja lämpöpumppujen sähkön käyttö sisältyy "Sähkö"-osiin.

Puuttuminen toimiviin markkinoihin heikentää niiden toimintaa ja lisää kustannuksia. Päästökauppamekanismi on ollut yksi keskeinen elementti päästöjen vähentämiseksi ja sen toimintaa on käsitelty edellisissä luvuissa. Esimerkiksi kivihiilikielon myötä luovutaan energiatehokkaasta sähkön ja lämmön yhteistuotannosta, jolloin muiden tuotantomuotojen sähköntuotantoa on lisättävä. On siis mahdollista, että kivihiilikielto saattaisi lisätä sähkön lauhdetuotantoa Pohjoismaissa tai muilla lähialueilla. Toisaalta kivihiilikielto on selkeä signaali uusiutuvaa energiaa kehittäville tahoille sekä investoijille, että keskitetty fossiilisiin polttoaineisiin perustuva energianhankinta on tulossa tiensä päähän.

Pohjoismaissa erityisesti vaihtelevan sähköntuotannon lisääntyessä markkinahinnan hintavaihtelu tulee lisääntymään. Vaikka Norjan, Ruotsin ja Suomen vesialtailla saadaan osa tuotannosta tasoitettua, siirron pullonkaulat ja tuotannon yhtäaikaisuus tulevat korostumaan. Tuulivoiman tuottajille tämä ei ole hyvä asia, sillä mitä enemmän tietyllä hetkellä tuotetaan, sitä todennäköisemmin sähkön hinta on alhainen. Ei olekaan taattua, että tuulivoimaan investoidaan markkinaehtoisesti toivutussa laajuudessa, vaikka tuotannon elinkaarikustannus laskisi hyvinkin alas. Lisäksi, mitä enemmän alhaisen hinnan hetkiä koetaan markkinoilla, sitä heikommin myös yhteistuotantolaitosinvestoinnit kannattavat. Nämä vaikutukset heijastuvat myös kaukolämmön tuotantoon. Jo tällä hetkellä kaukolämpötoimijat, kuten Helen, eivät enää investoi yhteistuotantolaitoksiin poistuvien laitostensa tilalle, vaan pelkkin lämpökattiloihin ja vaihtoehtoisin lämmönlähteisiin (Helen 2019).

Mitä paremmin eurooppalaiset markkinat ovat integroituneet, sitä paremmin saataneen hintavaihtelut myös tasattua sekä tuulivoimaa ja aurinkosähköä integroitua järjestelmään ja hyödynnettyä. Järjestelmän säädeltävyyttä tukevat myös kuluttajien joustot ja älykäs ohjaus, energiavarastot sekä erilaiset energiamuuntoratkaisut (esim. Power to X, ks. luku 5.1.5). Varsinkin kaukolämpöjärjestelmästä saadaan merkittävää joustoa sähköjärjestelmälle, sillä joustoa tarjoaa sekä sähkön yhteistuotanto että sähkön käyttö lämmön tuotannossa. Myös sähkölämmitykseen liittyvät joustonratkaisut ovat jo Suomessa arkipäivää. Säädettävyyden mahdollistamiseksi on huolehdittava siitä, ettei verotus ole esteenä tai haittaa toimintamalleja.

Uusiutuvaan energiaan pohjautuva loppuasiakastuotanto tulee lisääntymään, eli erityisesti aurinkokennot. Energiayhteisöt oletettavasti lisääntyvät myöskin, mutta koska Suomessa loppuasiakkaalla on mahdollisuus myydä ja ostaa sähköä kuka-kuinkin spot-markkinahintaan, asiakkaiden välisen kaupankäynnin merkittävin rahallinen kannustin on sähkönsiirron energiapohjainen komponentti, joka tosin on jäämässä vähemmälle painoarvolle tehotariffikomponenttien odotettavan yleistymisen myötä. Onkin todettava, että kuluttajajousto palvelee parhaiten kokonaisjärjestelmää sekä markkinajoustopa että säätövoimana ja reservinä. Naapureille myynti ei hyödytä koko sähköjärjestelmää muuten kuin erityistilanteissa.

Sähkövero itsessään tukee aurinkokennojen kannattavuutta ja loppuasiakaspään sähkövarastojen hankintaa, sillä mitä suurempi sähkövero on, sitä suuremmaksi myös taloudellinen säästö loppuasiakkaalle muodostuu. Sama logiikka koskee myös sähkölaitteiden energiatehokkuutta. Mitä arvokkaampaa sähkö on, sitä kannattavampaa on sähkön käytön tehostaminen, esimerkiksi siirtymällä suorasta

sähkölämmityksestä lämpöpumppeihin. Öljylämmityksen ollessa kyseessä, sähkövero tosin hidastaa sähkölämmitykseen siirtymistä. Toisaalta lämmitysöljyn verotuksen kiristäminen ja/tai bioöljyjen sekoitusvelvoitteen kasvattaminen toimii vastalääkkeenä, ja sähkövero ohjaa siis tässäkin tapauksessa lämpöpumppeihin suoran sähkölämmityksen sijasta.

Ydinvoima on ja pysyy merkittävänä päästöttömän sähkön lähteenä vielä vuosikymmeniä. Tällä hetkellä epävarmuutta liittyy ainakin Fennovoiman ydinvoimaprojektin tulevaisuuteen. Tuulivoiman huomattavan alhaiset tukitarpeet viimeisimmässä huutokaupassa (TEM 2019) kielivät alle 35 €/MWh menevistä tuotantokustannuksista hyvillä tuotantopaikoilla. Tämä vaikuttaa jo muiden tuotantomuotojen kilpailukykyyn ja kannattavuuteen.

Kaukolämpö

Kaukolämmön tuotannossa on valittavana useita fossiilivapaita tuotantotapoja, mutta niihin jokaiseen liittyy joukko etuja ja haasteita, jotka saattavat vaihdella myös kaupunkikohtaisesti:

- 1 *Biomassa CHP-laitoksissa ja lämpökattiloissa.* Biomassan hyödyntäminen kaukolämmön tuotantoon suuressa mittakaavassa vaatii raaka-aineresursseja, joiden sijainti on saatavuuden ja hinnan suhteen tärkein tekijä. Kestävän kotimaisen biomassaresurssin saatavuus on suurissa rannikkokaupungeissa suuri haaste. Tuontibiomassan käyttö on tähän mahdollinen ratkaisu, tosin biomassan kasvava kysyntä Euroopassa vaikuttaa saatavuuteen ja hintaan.
- 2 *Lämpöpumput.* Hyödynnettävien lämmönlähteiden (jätevedet, merivesi, rakennusten poistoilma jne.) saatavuus on merkittävin rajoittava tekijä. Mahdollisia lämmönlähteitä on paljon, mutta systemaattinen kartoitus niiden todellisen potentiaalin selvittämiseksi on välttämätön. On mahdollista, että talviaikaan kysyntään nähden riittävässä määrin saatavilla olevia lämmönlähteitä löytyy niukasti läheltä kaukolämpöverkkoja. Lämpöpumppujen suurin etu on energiatehokkuus (korkeat COP-arvot), mutta toisaalta lämpöpumput lisäävät sähkönkulutusta. Huomioitavaa on, että lämpöpumppujen käytöstä kaukolämmön tuotantoon maksetaan sähköveroa korkeamman 1 veroluokan mukaan, mikä voi hidastaa suuren kokoluokan lämpöpumppujen kilpailukykyä ja käyttöönottoa.
- 3 *Geoterminen lämpö.* Maaperän lämmön hyödyntäminen ilman lämpöpumppua vaatii syvän porareian, joka näkyy korkeana investointikustannuksena. Teknologia on myös edelleen pilotointivaiheessa. Matalamman lämpötilan hyödyntäminen taas vaatii lämpöpumppuinvestoinnin. Etuna on tasainen lämmön tuotanto ympäri vuoden.
- 4 *Hukkalämpö.* Teollisuuden ja palvelujen hukkalämpöä hyödynnetään jo jossain määrin. Suurten hukkalämpölähteiden etäisyys suurista kaukolämpöverkoista on ongelma. Huomioitavaa on tulevaisuuden potentiaali liittyen data-

keskusten hukkalämmön hyödyntämiseen lämpöpumppujen lämmönlähteenä. Toisaalta hukkalämpölähteiden, esim. datakeskusten, sijainti ei ole kaukolämpöoperaattoreiden päätäntävällässä.

- 5 *Pienydinvoimareaktorit.* Kaukolämmön tuotantoon tarkoitetut pienet ydinvoimareaktorit voivat tuottaa suurella kapasiteetilla lämpöä tasaisesti ympäri vuoden. Teknologiana pienreaktorit ovat vielä pilottiasteella. Kaukolämpöä tuottavien pienreaktorien turvallisuusregulaatio on Suomessa alkutekijöissään. Kaupallinen hyödyntäminen päästöttömän kaukolämmön tuotantoon on täten vuosien päässä.
- 6 *Biokaasu.* Olemassa olevaa kaasuverkkoa ja maakaasupohjaista tuotantokapasiteettia voidaan hyödyntää biokaasulla. Haasteena biokaasun tuotantopotentiaalin sijainti ja rajallisuus. Metsäbiomassaa voidaan hyödyntää biomassan kaasutusteknologioilla (ns. SNG-laitokset), mutta kestävän biomassan saatavuus ja hinta ovat ongelmana myös tässä tapauksessa.
- 7 *Aurinkolämpö.* Kaukolämmön tuotanto aurinkokeräimillä onnistuu lähellä kaukolämpöverkkoa esim. rakennusten katoilla. Tuotanto on ilmaista, mutta investointikustannus vielä toistaiseksi suhteellisen korkea, vaikka myös aurinkojärjestelmien hinnat ovat tippuneet voimakkaasti viime vuosina. Aurinkolämmön vaihteleva saatavuus (vuorokauden ja vuodenajan suhteen) on haaste, joka vaatii lämpövarastojen hyödyntämistä.

Ilmastonmuutoksen hillinnän kasvava yhteiskunnallinen paine ja varsinkin kaukolämmön tuotannon kivihiihkielto on ajamassa erityisesti pääkaupunkiseudun kaukolämpöjärjestelmiä radikaaliin muutokseen. Helsingin ja Espoon kaukolämpöjärjestelmät nojaavat vahvasti kivihiiheen ja maakaasuun, ja tarve päästöttömän tuotantokapasiteetin investoinneille on merkittävä.

Kaukolämpöä tuottavan yhtiön näkökulmasta asia on monimutkaisempi, sillä operaattorien tulee varautua mm. riittävällä varavoimalla häiriötilanteisiin, riittävällä huippukuormalla poikkeuksellisen koviin pakkasiin, ja riittävällä vuositason huoltovarmuudella. Laitosinvestointien kustannuksia arvioitaessa tulee huomioida riittävät investoinnit kaukolämpöverkkoon ja tuotetun lämmön arvo, mikä on talvella suurempi kuin kesällä. Lisäksi kaukolämpöverkko-operaattorit haluavat lämmönlähteelle riittävän säädettävyyden ja oman päätösmahdollisuuden energialähteen käytölle. Esimerkiksi teollisuuden hukkalämmön saatavuus pitkällä aikavälillä riippuu teollisuuslaitoksen kannattavuudesta.

Kaukolämpöverkkojen siirtolämpötilatason laskeminen avaa uusia mahdollisuuksia lämpöpumppujen ja hukkalämmönlähteiden hyödyntämiseen sekä parantaa yleisesti tuotantomuotojen tehokkuutta. Myös kaukolämpöverkon lämpöhäviöt pienevät, vaikka tämän merkitys jää usein muita hyötyjä pienemmäksi. Lämpötilan lasku voi kuitenkin aiheuttaa kustannuksia asiakkaiden lämmönjakojärjestelmien säätämisen tai uusimisen takia sekä rajoitteita lämpötehon siirron suhteen kaukolämpöverkossa. Kustannuksia tulisikin arvioida kokonaisuutena, mutta kustannusten ja hyötyjen jakautuminen eri toimijoille (yhtiö, asiakkaat, mahdolliset uudet lämmöntuottajat) tekee siirtymästä joka tapauksessa haastavan. Jos hyödyt arvioidaan

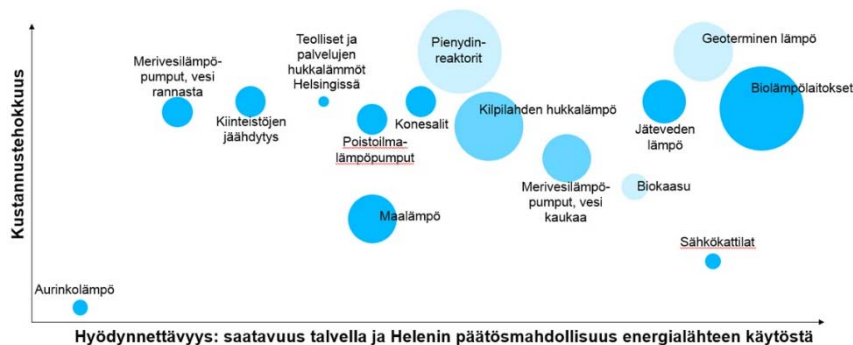
kustannuksia suuremmiksi, tulisi siirtymästä tehdä askeleittain etenevä pitkän aikavälin suunnitelma.

Pääkaupunkiseudun kaukolämmöntuotannossa käytetään merkittäviä määriä fossiilisia polttoaineita. Pk-seudulla tuotettiin fossiilisilla polttoaineilla hieman yli 6 TWh kaukolämpöä vuonna 2017. Tämän energiamäärän tuottaminen hiilineutraalisti on aito haaste. Käytännön esimerkkeinä on esitetty Helen Oy:n ja Fortum Espoon näkemyksiä. Osa teknologioista on jo valmiita kaupallisia teknologioita ja osa on vasta kehitysvaiheessa. Yritysten suunnitelmat tulevatkin tarkentumaan, kun esimerkiksi uusien teknologioiden demonstraatioista saadaan lisää tietoa.

Kuva 21 esittää Helen Oy:n näkemyksiä tulevaisuuden Helsingin tuotantovaihtoehtoista kustannustehokkuuden ja hyödynnettävyyden suhteen. Helsingissä lähitulevaisuuden investointisuunnitelmat keskittyvät biokattiloihin, lämpöpumppuihin ja suurien lämpövarastojen hyödyntämiseen. Helenin (2019) arvioiden mukaan kivihii- len korvaaminen tulee koostumaan isojen investointien lisäksi monista pienistä (0-20 MW) puroista. Merkittävänä syinä tuotantorakenteen muutokseen ovat kivihii- kelto ja Helen Oy:n tavoite olla hiilineutraali energiayhtiö vuonna 2035.

LÄMMÖNTUOTANTOMUOTOJEN HYÖDYNNETTÄVYYS

Pallon koko kuvaa potentiaalia, värin kirkkaus teknologista kypsyyttä

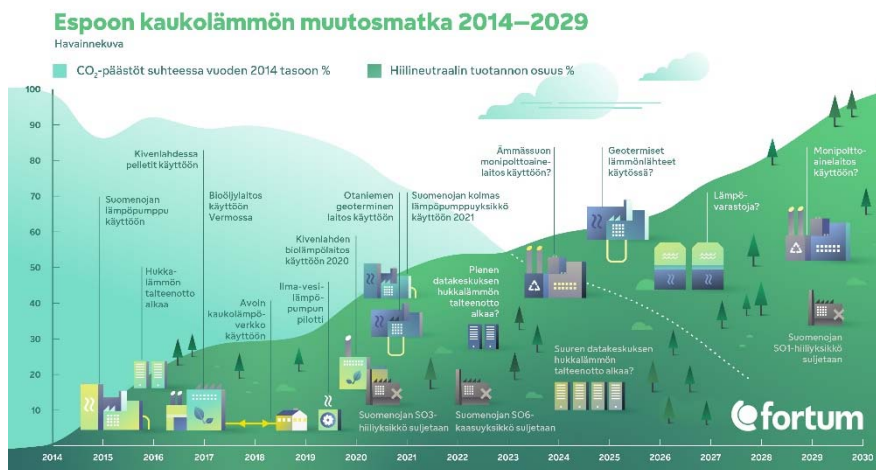


Kuva 21. Helen Oy:n näkemys kaukolämmön energialähteiden hyödynnettävyydestä ja kustannustehokkuudesta.²⁵

Lisäksi alla (**Kuva 22**) on esitetty Fortum Power and Heat Oy:n säännöllisesti päivittämä näkemys Espoon kaukolämpöjärjestelmän muutoksesta kohti hiilineutraaliutta. Investoinnit keskittyvät Kivenlahden biokattilaan sekä polttovapaisiin ratkaisuihin kuten lämpöpumppuihin, datakeskusten hukkalämmön hyödyntämiseen ja avoimen kaukolämpöverkon käyttöön pientuottajien kanssa. Suunnitelmassa on

²⁵ <https://www.helen.fi/yritys/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2019/postkivihiili/>

myös optiot monipolttoainelaitosten rakentamiseen. Fortum ja Espoon kaupunki haluavat tehdä kaukolämmöstä hiilineutraalia mahdollisimman nopeasti pitäen kuitenkin kaupunkilaisten energialaskun kohtuullisena. Fortum ja Espoon kaupunki ovat tehneet yhteiskuntasitoumuksen kaukolämmön tekemisestä hiilineutraaliksi 2020-luvulla.



Kuva 22. Fortum Power and Heat Oy:n näkemys Espoon kaukolämmön päästöjen vähentämisestä.²⁶

Helsingin ja Espoon kaukolämpöjärjestelmien investointisuunnitelmia tarkasteltaessa kannattaa huomioida, että Helsingin kaukolämmön kulutuksen vuosittainen vaihtelu on ollut 2008–2017 suurimmillaan 1,4 TWh kun taas Espoon kaukolämmön kokonaiskulutus on ollut esim. vuonna 2017 noin 2,3 TWh. Helsingin järjestelmä on siis mittakaavaltaan ja investointitarpeeltaan aivan eri luokkaa.

Kivihiilen käytön lopettaminen leikkaisi samalla noin 65 % kaukolämmöntuotannon energiaveroista (noin 220 M€), jos arvio tehdään vuoden 2017 energiamäärillä ja verotasoilla. Maakaasun ja turpeen käytöstä kerättiin vuonna 2017 yhteensä noin 25 % kaukolämmön tuotannon energiaveroista, joten näiden käytöstä luopuminen pitkällä aikavälillä leikkaisi melkein koko lopun veropohjan, ellei kaukolämmön tuotannon verotukseen tehdä rakenteellisia muutoksia. Kaukolämpöverkkoon kytkettyjen lämpöpumppujen siirto alempaan 2 sähköveroluokkaan on sisällytetty uuteen hallitusohjelmaan, jolloin verot laskisivat nykytasosta 22.5 €/MWh tasolle 7.5 €/MWh, tai jopa alhaisemmaksi, mikäli päätettäisiin laskea 2 veroluokan sähkövero.

²⁶ <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys/kaukolampo/espoo-kaukolampo-hiilineutraaliksi>

Rakennusten lämmitys

Uusiin pientaloihin ei enää käytännössä asenneta öljylämmitystä ja lisäksi kyselytutkimukset ovat osoittaneet, että suuri määrä asuinrakennusten öljylämmittäjiä on vaihtanut muihin pääasiallisiin lämmitystapoihin.²⁷ Asuinrakennusten öljynkäyttö on vähentynyt 60 % vuodesta 1995 vuoteen 2017 ja jatkaa laskuaan. Väheneminen johtuu vanhan rakennuskannan uudistamisesta mm. päälämmityslähteitä vaihtamalla (maalämpöpumppu, pelletti) sekä investoimalla uusiin sivulämmityslähteisiin (ilmalämpöpumput, poistoilmalämpöpumput) ja uusiin rakennusten lämmönkäyttöä optimoiviin IT-ratkaisuihin.

Palvelurakennusten lämmitysöljyn käyttö on vähentynyt selvästi hitaammin, noin 30 % vuodesta 1995 vuoteen 2017. Yleisestä trendistä poiketen teollisuuden öljylämmityksen määrä on kasvanut noin 9 % vuodesta 1995 vuoteen 2017. Lisäksi näitä kahta käyttäjäryhmää on tutkittu vähemmän kuin pientaloja. Öljylämmitykselle on korvaavia ratkaisua myös näissä kokoluokissa, mutta nykyinen vero-ohjaus ei tilastokeskuksen tilastojen perusteella ohjaa näitä käyttäjiä luopumaan öljylämmityksestä yhtä voimakkaasti kuin pientaloja.

Teollisuudessa olisi monesti mahdollisuus entistä paremmin hyödyntää hukkalämpöjä kehittyneiden lämpöpumppujen avulla varsinkin lämmitykseen ja jopa lämmön myyntiin kaukolämpöverkkoon. Toisaalta, kuten kuvasta (Error! Reference source not found.) voidaan todeta, teollisuuden ja palvelusektorin hukkalämpöpotentiaali, Kilpilahden teollisuusaluetta, datakeskuksia ja kaukokylmäverkkoa lukuun ottamatta, on Helsingissä varsin mitätön. Joka tapauksessa, hukkalämpöratkaisuja tukisi 2 veroluokan sähköveron alentaminen, mutta investointipäätöksiin vaikuttavat monet muutkin tekijät, joten hukkalämpöpotentiaalien hyödyntämiseen arviointiin liittyy merkittävää epävarmuutta.

²⁷ <http://www.tilastokeskus.fi/tietotrendit/artikkelit/2018/uusiutuva-energia-valtaa-alaa-pientalojen-lammityksessa/>.

6 Vaikutusarviot energiaverojen uudistustarpeesta

Antti Lehtilä, Tiina Koljonen

6.1 TIMES-VTT-energiajärjestelmämallin kuvaus

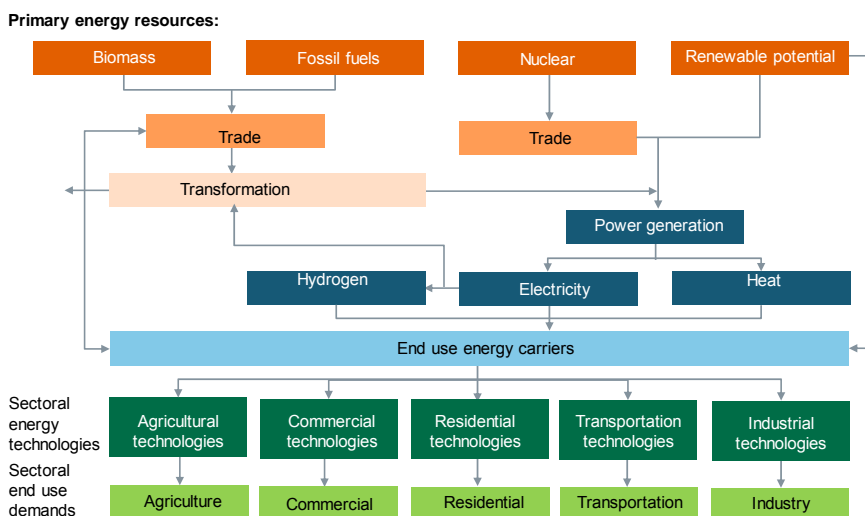
Työn laskennalliset analyysit toteutettiin TIMES-VTT-energiajärjestelmämallin avulla. TIMES-VTT -malli (Kuva 23)) kattaa energian tuotannon ja kulutuksen kaikilla sektoreilla ja kaikkien Kioton pöytäkirjan sääntelemien kuuden kasvihuonekaasupäästöjen lähteet sekä energiahyödykkeiden ja päästöoikeuksien kaupan. Mallinnuksen avulla voidaan tarkastella erilaisten energiaveroratkaisuiden vaikutuksia Suomen energia- ja päästötaseeseen ja energihuollon kehitykseen. Mallinnustulosten avulla voidaan myös karkeasti arvioida energiaverokertymiä eri laskentavaihtoehtoisissa eli skenaarioissa.

TIMES-VTT-mallissa on kuvattu yksityiskohtaisesti Suomen, Pohjoismaiden ja muun Euroopan energiajärjestelmät. Menetelmällisesti malli on niin sanottu osittais-tasapainomalli, joka maksimoi kuluttajien ja tuottajien yhteenlaskettua taloudellista ylijäämää. Malli sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen sekä energian tuotannon ja käytön nykyjärjestelmästä että tulevaisuuden teknologiavaihtoehtoista. Mallinnusmenetelmä ja -työkalut ja on kehitetty IEA:n (International Energy Agency) ETSAP (Energy Technology System Analysis Programme) ohjelmassa kansainvälisessä yhteistyössä, ja myös VTT:n kehittämä malli pohjautuu alun perin ETSAP-ohjelmassa kehitettyyn TIAM-malliin (Loulou 2008, Loulou & Labriet 2008, Loulou et al. 2016, Koljonen & Lehtilä 2015, Lehtilä & Koljonen 2018).

Mallin laaja lähtötietojen tietokanta sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen nykyisestä energiajärjestelmästä mukaan lukien energiantuotanto ja -siirtojärjestelmä, rakennuskanta, asumisen ja palvelujen energian käyttökohteet, autokanta ja muu liikennevälinekanta, energiaintensiivisten teollisuustuotteiden tuotantoprosessit ja tuotantolaitokset, muun teollisuuden energian loppukäyttökohteet sekä maa- ja metsätalouden energiakäyttö. Mallin tietokannassa on myös arviot nykyisen energiajärjestelmän poistumasta, kuten energiantuotantolaitosten, rakennusten ja autokannan poistumasta. Malli sisältää myös laajan tietokannan ja kuvauksen tulevaisuuden investointivaihtoehtojen teknologioista mukaan lukien arviot kustannusten sekä tekniikan kehityksestä (mm. energiantuotannon hyötysuhteet, käyttöikä, käytettävyyt). Lisäksi mallissa on kuvattu alueelliset energiahyödykkeiden tekniset potentiaalit, polttoaineiden ja sähkön kauppa sekä päästökauppa.

Energiajärjestelmämallin tuloksena saadaan sellaisen hankinta- ja loppukäyttöjärjestelmän kehitys, jolla hyötyenergian kysyntä voidaan tyydyttää mahdollisimman kustannustehokkaasti, ottaen huomioon muun muassa verot, tuet ja investointien tuottovaatimukset. Lisäksi mallissa voidaan asettaa järjestelmän kehitykselle monenlaisia rajoitteita. Esimerkiksi useille energian tuotantomuodoille on asetettu tuotannon, kapasiteetin tai markkinaosuuden ylä- tai alarajoja, joita ratkaisun täytyy

noudattaa. Energian kulutusta ja tuotantoa tarkastellaan mallissa yhtenäisin periaattein, jolloin energian käytön tehostusmahdollisuuksien ja tuotantoinvestointien keskinäinen vuorovaikutus tulee otetuksi huomioon.



Kuva 23. Yksinkertaistettu TIMES-mallin yhden alueen rakennekaavio.

Mallissa on kuvattuna kaikki Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähennysteknologiat ja/tai -menetelmät. Päästöjen kokonaismäärille voidaan asettaa politiikkatavoitteiden mukaisia rajoitteita, jolloin päästövähennykset toteutetaan kaikilla KHK-päästösektoreilla (pois lukien LULUCF-sektori) kustannustehokkuusjärjestyksessä. Taakanjakosektorin päästöille voidaan asettaa erikseen päästökatto. Taloudellisia ohjauskeinoja mallintamalla voidaan tarkastella esimerkiksi energiaverojen ja -tukien ohjausvaikutuksia.

TIMES-VTT-mallin laskema energian kulutus ja päästöjen kehitys riippuvat monista lähtötietoina annetuista tekijöistä. Keskeisiä mallin käyttämiä lähtötietoja ovat:

- talouden eri sektoreiden kehitys eli teollisuussektoreiden, kotitalouksien, palvelujen, maa- ja metsätalouden ja kaivannaisteollisuuden kehitys;
- energiaintensiivisen teollisuuden toimialojen tuotteiden tuotannon kehitys;
- nykyinen autokanta ja muu liikennevälinekanta sekä liikkumis- ja kuljetustarpeiden kehitys liikennemuodoittain;
- nykyinen rakennuskanta sekä sen tuleva kehitys rakennustyypeittäin;
- nykyiset energia- ja ilmastopoliittiset ohjauskeinot ml. energia- ja päästöverot, energiatuet, päätetyt energian käytön tehostamista koskevat määräykset, säädökset jne.;

- nykyisen energijärjestelmän laitos- ja laitekannan laskennallinen poistuma ja käytettävissä olevien teknologiavaihtoehtojen oletettu kehitys kaikilla sektoreilla sekä teknisten parametrien että kustannusten osalta.

Mallin tarkasteluajaväli voidaan valita vapaasti aina vuoteen 2150 saakka, mutta tarkastelun lähtövuotena on mallin nykyisessä versiossa 2010. Malli on kalibroitu kaikkien maiden osalta IEA:n yksityiskohtaisiin energiataseisiin vuosilta 2010 ja 2015. Ne perustuvat Tilastokeskuksen IEA:lle toimittamiin tilastolukuihin, mutta ovat laskentatavaltaan hieman kansallisesta energiatilastoinnista poikkeavia.

Mallin tuottamat tulokset käsittävät kaikkien mallissa kuvattujen energiahyödykkeiden, materiaalien ja päästöjen virrat kunakin vuonna tuotannosta, tuonnista ja varastoista loppukulutukseen, vientiin, varastointiin, loppusijoitukseen tai kierrätykseen. Kasviuonekaasupäästöjen määrät saadaan tuloksista eriteltyä sektoreittain ja päästölajeittain tarvittaessa prosesseittain. Tulokset sisältävät myös muun muassa kaikkien mallissa kuvattujen tuotantolaitosten ja tekniikoiden kapasiteetit, investointikustannukset ja käyttökustannukset. Malli tuottaa tuloksenaan myös energiahyödykkeiden hinnat, jotka edustavat pitkän aikavälin tasapainohintoja.

Työssä tarkastelun kohteena ovat energiaverotuksen eri kehittämismallien vaikutukset erityisesti kasviuonekaasujen päästöihin Suomessa sekä vaikutukset energianhankinnan omavaraisuuteen ja energiaverokertymiin. Vaihtoehtojen vaikutusarvioissa on oletettu tavoitteeksi seuraavien vähäpäästöisyystavoitteiden saavuttaminen:

- Energiantuotannosta 95 % on KHK-päästötöntä vuonna 2040;
- Suomi on hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä.

Tarkastelumenetelmän keskeisinä elementteinä olivat tällöin kunkin hahmotellun veromuutoksen kuvaaminen mallissa, ja mallin tulosten analysointi kussakin tapauksessa tavoitteeksi asetettujen vähäpäästöisyystavoitteiden kannalta. Energiantuotannon piiriin laskettiin kuuluvaksi sähkön, kaukolämmön ja teollisuuden prosessihöyryn tuotanto.

6.2 Vaihtoehtoisten energiaverotarkasteluiden kuvaukset

6.2.1 Tarkastellut laskentavaihtoehdot

Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiseen pääsemiseksi sopimusosapuolten tulisi pyrkiä kääntämään globaalit kasviuonekaasujen päästöt laskuun niin pian kuin mahdollista, minkä voi olettaa edellyttävän muun muassa toimia taloudellisten ohjaukeinojen vaikutusten terävöittämiseksi. Päästökauppa, päästöverot, energiaverot ja -tuet ovat tällöin tärkeimpiä käytettävissä olevia ohjaukeinoja.

Mallilaskelmissa keskityttiin tarkastelemaan energiaverotuksen muutosten vaikutuksia muutaman selväpiirteisen ja keskeisen vaihtoehdon osalta. Kaikissa vaihtoehdoissa lähtökohdiana olivat vuonna 2019 voimassa olleet energiaverojen tasot, jotka pysyvät reaalisesti ennallaan (verotaso vuoden 2019 euroina):

- **Perus- eli vertailuskenaario** (WAM, With Additional Measures): Mukana EU:n 2030 energia- ja ilmastotavoitteet; noudattaa energia- ja ilmastostrategian sekä KAISU:n WAM-skenaarion oletuksia vuoteen 2030, jonka jälkeen ei uusia politiikkatoimia. Päästöoikeuden hinnan oletetaan pysyvän reaalisesti 25 €/n vakiotasolla (2025–).
- **Politiikkaskenaario A:** lisätoimet WAM-skenaarioon verrattuna: Nykyiset sähköverot ja -veronpalautukset, mutta poistetaan turpeen verotuki, CHP-verotuki, maatalouden energiaverotuki ja energiaintensiivisen teollisuuden veronpalautukset fossiilisten polttoaineiden osalta.
- **Politiikkaskenaario B:** lisätoimet WAM-skenaarioon verrattuna: Nykyiset polttoaineverot ja -veronpalautukset, mutta teollisuuden ja muun elinkeinoelämän sähkövero alennetaan suunnilleen EU:n mahdollistamalle minimitasolle, ja energiaintensiivisen teollisuuden veronpalautus poistetaan sähkön käyttöön kohdistuvan veronpalautuksen osalta.
- **Politiikkaskenaario C:** lisätoimet WAM-skenaarioon verrattuna: Politiikkaskenaarion A ja politiikkaskenaarion B veromuutokset yhdessä.
- **Politiikkaskenaario AK:** lisätoimet WAM-skenaarioon verrattuna: Kuten politiikkaskenaario A, mutta lisäksi polttoaineiden hiilidioksidivero-komponenttia korotetaan reaalisesti 3 % vuodessa.
- **Politiikkaskenaario LC:** lisätoimet WAM-skenaarioon verrattuna: Politiikkaskenaarion A ja politiikkaskenaarion B veromuutokset yhdessä, ja lisäksi oletetaan päästöoikeuden hinnan nousevan EU:n vertailuskenaarion (Reference Scenario) mukaisesti (EC 2016, ks. **Error! Reference source not found.**).
- **Politiikkaskenaario H:** lisätoimet WAM-skenaarioon verrattuna: Kuten politiikkaskenaario B, mutta lisäksi sähkövero alennetaan myös kotitalouksien ja maatalouden osalta EU:n minimitasolle.

Kaikissa muissa, paitsi AK-laskentatapauksessa, verotukien poistot ja veronkorotukset on ajateltu tehtävän täysimääräisesti heti vuonna 2020. Politiikkaskenaario H oli mukana vain herkkyystarkasteluna, joka ei ole yleensä mukana esitettävissä tulosgraafeissa, vaan sen vaikutuksia kuvataan jäljempänä verokertymiä lukuun ottamatta kvalitatiivisesti.

6.2.2 WAM-skenaarion keskeiset oletukset

Vaikutusarvioiden vertailukohtana olevassa WAM-skenaario pohjautuu energia- ja ilmastostrategian vastaavaan WAM-skenaarioon (TEM 2017).

- EU:n ja Suomen 2030 energia- ja ilmastotavoitteet: Päästökauppasektorin päästökiintiöt supistuvat EU:n ohjelman mukaisesti, ja taakanjakosektorin päästöissä Suomen tavoite on 39 %:n vähennys vuoteen 2005 verrattuna;
- Päästöoikeuden hinnan oletetaan päästökiintiöiden supistumisesta huolimatta pysyvän vakiona, 25 €/t CO₂ tasolla (2025–);
- Taakanjakosektorille ei aseteta uusia tavoitteita vuoden 2030 jälkeen;
- Maataloudessa orgaanisten turvemaiden päästöt vähenevät Luke:n vuonna 2018 laatiman WAM-skenaarion mukaisesti;
- Terästeollisuudessa SSAB:n Raahen tuotantolaitoksessa korvataan yksi masuuni suorapelkistykseen perustuvalla prosessilla vuonna 2040 ja toinen vuonna 2050;
- Nykyiset energiaverot ja niihin liittyvät yritystuet pysyvät ennallaan;

Nämä oletukset olivat verotusta ja päästöoikeuden hintaa lukuun ottamatta voimassa myös kaikissa politiikkaskenaarioissa.

6.2.3 Tarkastellut veromuutosten vaihtoehdot

Työssä tarkastelun kohteena ovat energiaverotuksen eri kehittämissiivoksi vaihtoehtojen vaikutukset erityisesti kasvihuonekaasujen päästöihin. Vaihtoehtojen vaikutusarvioissa on oletettu tavoitteeksi seuraavien vähäpäästöisyystavoitteiden saavuttaminen:

- Energiantuotannosta 95 % on KHK-päästötöntä vuonna 2040;
- Suomi on hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä.

Kaikissa verotuksen muutosvaihtoehdoissa lähtökohtana olivat vuonna 2019 voimassa olleet energiaverojen tasot, jotka pysyvät reaalisesti ennallaan (verotaso vuoden 2019 euroina) siltä osin kuin laskentavaihtoehdoissa ei muuta oleteta. Tämä edellyttäisi siis jo nimellisten verojen korotuksia inflaatiokiehityksen mukaisesti. Poliittikkaskenaarioiden veromuutokset voidaan tiivistettynä kuvata seuraavasti:

- **A:** Poistetaan polttoaineiden energiaverojen palautukset, sekä turpeen ja yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon nykyisin saama veroetu.
- **B:** Lasketaan sähkövero teollisuudessa EU:n yrityskäytön minimitasolle: 0,5 €/MWh, ja palveluissa EU:n yksityiskäytön minimitasolle 1,0 €/MWh.
- **C** ja **LC:** Yhdistelmä, jossa ovat sekä vaihtoehdon A että B muutokset.
- **AK:** Kuten vaihtoehto A, mutta polttoaineiden hiilidioksidiverokomponenttia nostetaan reaalisesti 3 % vuodessa 2021–2040.
- **H:** Kuten B, mutta sähkövero lasketaan myös kotitalouksien osalta EU:n yksityiskäytön minimitasolle 1,0 €/MWh.

6.2.4 Politiikkaskenaarioiden yhteiset oletukset

Politiikkaskenaarioissa yhteisinä lähtökohtina olivat seuraavat laskentaoletukset:

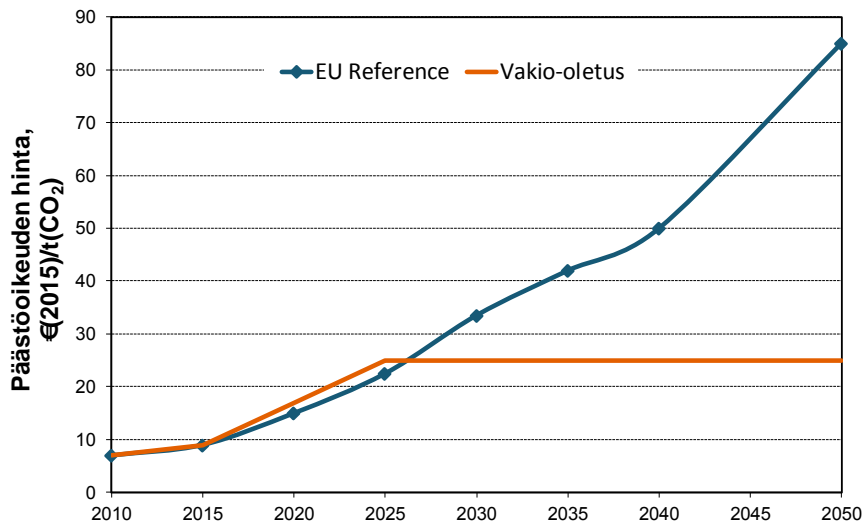
- Taakanjakosektorille ei aseteta uusia tavoitteita vuoden 2030 jälkeen, joten taakanjakosektorin ja muita jäljellä olevia päästöjä kompensoidaan nieluilla 2030–2050, jotta hiilineutraalisuus saavutetaan vuonna 2045 mennessä.
- Politiikkaskenaariota LC lukuun ottamatta päästöoikeuksien hinnan oletetaan vähähiilitavoitteista huolimatta pysyvän 25 €/t(CO₂) tasolla (2025 –), jotta tarve hiilidioksidin hinnan kasvattamisesta joko päästöoikeuksien tai kansallisen politiikan kautta tulisi mahdollisimman hyvin ilmi.
- Energiapuuta voidaan tuoda Suomeen muualta Euroopasta muun muassa pääkaupunkiseudun energiahuoltoon.
- Liikenteessä ajoneuvokanta kehitty suunnilleen liikenne- ja viestintäministeriön ILMO-työryhmän (LVM 2018) yhdistelmäskenaarion mukaisesti, eli ajoneuvokanta sähköistyy voimakkaasti vuoteen 2050 mennessä.
- Terästeollisuudessa Raahan tuotantolaitoksessa korvataan yksi masuuni vetytelkistykseen tai vetyavusteiseen sähköiseen pelkistykseen perustuvalla suorapelkistysprosessilla vuonna 2040 ja toinen vuonna 2050.

Päästöoikeuden hinnan nousulla olisi tehokas ohjaava vaikutus erityisesti energiantuotannon päästöihin. Erilaisten rinnakkaisten politiikkatoimien vuoksi on kuitenkin laskelmissa pääsääntöisesti oletettu, että hinta pysyy kiintiöiden asteittaisesta supistumisesta huolimatta kohtuullisen alhaisena 25 €/t CO₂ tasolla. Päästöoikeuden hinnan kehitystä on arvioitu luvussa 4.1.1, jonka perusteella 25 €/t CO₂ on varsin perusteltu oletus ainakin vuoteen 2030 asti. Lisäksi LC-tapaustarkastelussa vertailukohtana on tarkasteltu vähähiilipolitiikkaa, jossa päästöoikeuden hinta nousisi EU:n vertailuskenaarion arvion mukaisesti.

6.3 Vaikutukset energiajärjestelmään ja KHK-päästöihin

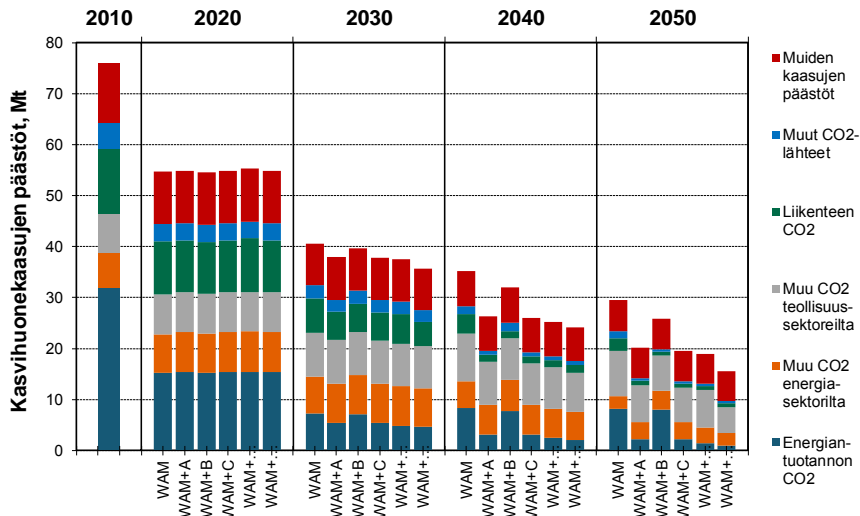
6.3.1 Vaikutukset kasvihuonekaasujen päästöihin

Laskentamalli kattaa kaikki Kioton pöytäkirjan käsittelemät neljä tärkeintä kasvihuonekaasulajia, eli hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄), typpioksiduulin (N₂O) ja niin sanotut F-kaasut (fluorihilivedyt (HFC), perfluorihilivety (PFC) ja rikkiheksafluoridi (SF₆)). Mallilaskelmissa Suomelle on kaikissa skenaarioissa asetettu kansallinen taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen vähimmäistavoite, joka on 39 % vuoden 2005 taakanjakosektorin päästöistä.



Kuva 24. Oletukset päästöoikeuden hintakehityksestä tarkastelluissa laskentavaihtoehtoissa (vakio-oletus muissa paitsi vaihtoehdossa LC (ks. luku 6.2.4))

Alla (**Error! Reference source not found.**) on esitetty kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjen kehitys Suomessa perusurassa (WAM) ja tarkastelluissa politiikkaskenaarioissa (ilman LULUCF-päästöjä). WAM-skenaariossa ovat siis mukana vain nykyiset ja suunnitellut politiikkatoimet vuoteen 2030. Tulosten mukaan energia- ja ilmastostrategiaa vastaavassa WAM-skenaariossa kokonaispäästöt vähenevät vuoden 1990 tasosta 43 %, mikä ylittää EU:n yhteisen keskimääräisen tavoitteen. Taakanjakosektorin vähennys on tällöin täsmälleen tavoitteen mukaisesti 39 % vuoteen 2005 verrattuna.



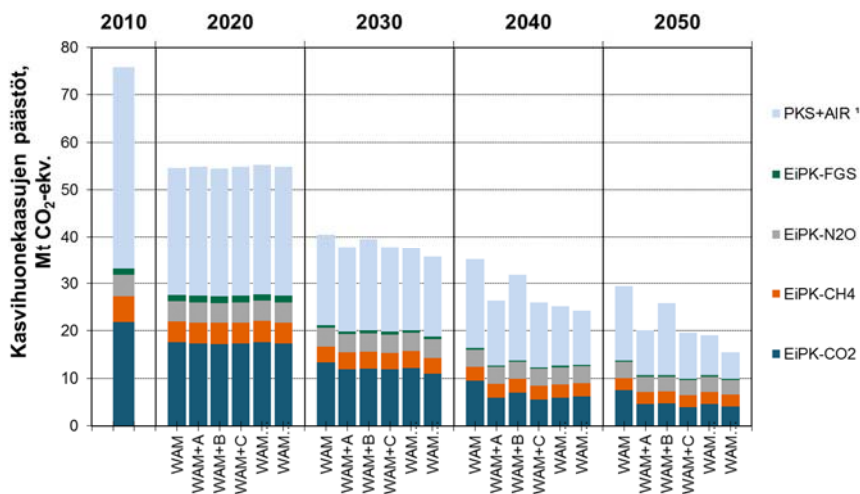
Kuva 25. Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt tarkastelluissa laskentavaihtoehtoissa. Muu CO₂ teollisuussektoreilta koostuu pääosin prosessipäästöistä ja teollisuuden pien- ja erikoispolton sekä rakennustoiminnan CO₂-päästöistä.

Kaikissa politiikkaskenaarioissa saavutetaan WAM-skenaarioon verrattuna päästöjen lisävähennyksiä, mikä on jo laskentaoletusten erojen vuoksi selvää (mm. liikenteen voimakas sähköistyminen ILMO-työryhmän (LVM 2018) suuntaviivoin sekä terästuotannon sähköistyminen). Vuotta 2050 koskevat tulokset antavat hiili-neutraalisuustavoitteen saavuttamisen asteelle hyvän mittapuun: LC-skenaariossa, jossa kokonaispäästöt ovat runsaat 15 Mt, tavoite voidaan laskea saavutettavan kompensoimalla jäljelle jäävät päästöt nieluilla. Vuoteen 1990 verrattuna kokonaispäästöjen vähennys on LC-tapauksessa 78 % vuonna 2050. LC-skenaariota lähimmäksi päästään AK-skenaariossa, jossa vuoden 2050 päästöt ovat noin 19 Mt ja 2040 päästöt noin 25 Mt, joten maankäyttösektorin nettohiilinieluilla tulisi kyetä kompensoimaan keskimäärin noin 22 Mt vuoden 2045 hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseksi (vertailun vuoksi, Suomen maankäyttösektorin nettohiili on vaihdellut merkittävästi suhdanteiden mukaan ja sen keskiarvo ollut noin 21 Mt).

Päästöt vähenevät politiikkaskenaarioissa merkittävästi sekä päästökauppa- ja taakanjakosektoreilla **Kuva 26** Tulosten mukaan päästöjen kokonaismäärä on vuonna 2020 kaikissa skenaariossa suunnilleen 55 Mt²⁸, eli 23 % vähemmän kuin vertailuvuonna 1990. Vuonna 2030 taakanjakosektorin päästöt vähenevät politiikkaskenaarioissa jo hieman yli EU:n 2030 tavoitteiden, mikä johtuu pääosin oletetusta liikenteen voimakkaasta sähköistymisestä, mutta myös tarkastelluista taakanjakosektorillekin kohdistuvista veromuutoksista. Vuoteen 2050 mennessä taakanjakosektorin päästöissä saavutetaan vuoteen 2005 verrattuna 70–72 %:n vähennys,

²⁸ Tilastokeskuksen pikaennakkotietojen mukaan vuoden 2018 kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt olivat 56,5 Mt CO₂-ekv. http://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_kat_001_fi.html

ja se on suurin C ja LC -skenaarioissa. Ilmeisesti mallinnuksen karkeudesta johtuen taakanjakosektorilla ei kuitenkaan näy näkyviä lisävähennyksiä esimerkiksi AK-skenaariossa työkoneiden päästöissä.



Kuva 26. Kasviuonekaasujen päästöt tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa päästökauppa-sektorilla ja ei-päästökauppasektoreilla kaasuittain.

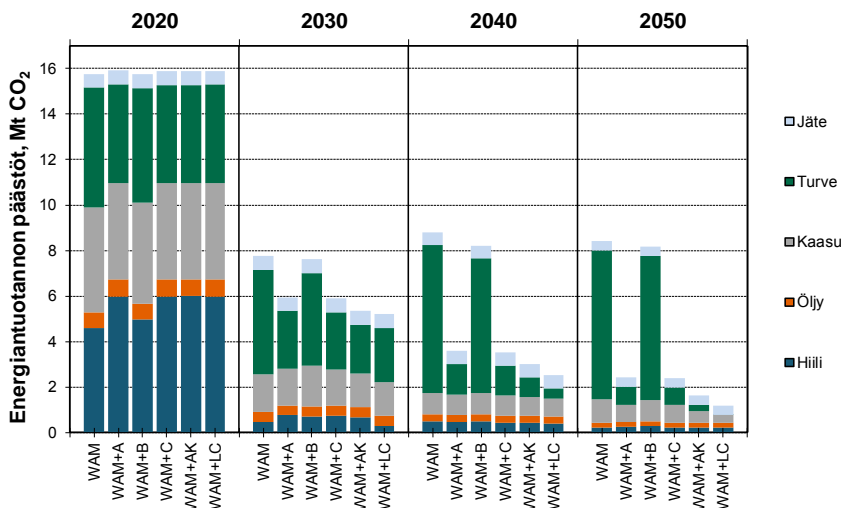
¹PKS = päästökauppa-sektori, AIR = lentoliikenne, EIPK = ei-päästökauppa-sektori, FGS = F-kaasupäästöt, N₂O = N₂O-päästöt, CH₄ = CH₄-päästöt, CO₂ = CO₂-päästöt

Tuloksista voidaan myös nostaa esiin päästökauppa-sektorin päästöjen vähennysten jääminen selvästi taakanjakosektorista jälkeen B-skenaariossa, jossa ainoastaan alennettiin sähkövero ja poistettiin sen palautukset. Sähköveron alentaminen ei siis tulosten mukaan yksinään saa aikaan päästöjen vähennystavoitteiden kannalta läheskään riittävää siirtymää nimenomaan päästöttömästi tuotetun sähkön käyttöön. Päästökauppa-sektorille tarvittaisiin siten lisäksi muuta lisäohjausta, jollaista päästöoikeuksien hinnan nousu tarjoaisi tehokkaimmin. Toisaalta mallinnuksessa ei huomioitu mahdollisia epäsuoria päästövähennyksiä, joita voisi syntyä esimerkiksi lisääntyvien konesali-investointien ja niiden hukkalämmön hyödyntämisen myötä tai yritysten oletettua nopeampien investointien myötä uusiin vähäpäästöisiin prosesseihin perustuen ns. sähköisiin polttoaineisiin.

Kasviuonekaasujen kokonaispäästöjen kehityksen ohella työn keskeisimpiin tarkastelukohteisiin kuului päästöjen kehitys energiantuotannossa, jotta voitaisiin arvioida energiantuotannon päästöttömyyttä koskevan tavoitteen saavuttamista (95 % KHK-päästötöntä vuonna 2040). Vaikka energiantuotannossa syntyy hiilidioksidin ohella metaani- ja typpioksiduulipäästöjä, näiden muiden päästöjen osuus on ollut vain noin 2 % energiantuotannon kokonaispäästöistä, ja biomassan poltosta

syntyvien päästöjen osuus noin 1 %. Tämän vuoksi päästöttömyyden kriteeriksi voitiin varsin hyvin ottaa muun kuin fossiililla polttoaineilla (ml. turve) tuotetun sähkön ja lämmön osuus kokonaistuotannosta.

Kuva 27 esittää hiilidioksidipäästöjen kehityksen energiantuotannossa energia-lähteittäin (hiili, öljy, maakaasu, turve ja energiantuotantoon käytetyn jättepolttoai-neen fossiilinen osuus). Tulosten mukaan energiantuotannon hiilidioksidipäästöt vähenevät WAM-skenaariossa vuoden 2015 noin runsaasta 17 miljoonasta tonnista noin 8 miljoonaan tonniin vuoteen 2030 mennessä, mutta sen jälkeen päästöt eivät enää vähene. Oletettu päästöoikeuden verrattain matalana pysyvä hinta, päätös luopua kivihiilen käytöstä vuonna 2029 ja turpeen nykyinen kevyempi verokohtelu säilyttävät tai jopa parantavat turpeen kilpailukykyä energiantuotannossa vuoden 2030 jälkeen, kun fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahinnat puolestaan nousevat myös vuoden 2030 jälkeen, kun niiden globaali kysyntä jatkaa kasvuaan.



Kuva 27. Energiantuotannon CO₂-päästöt tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

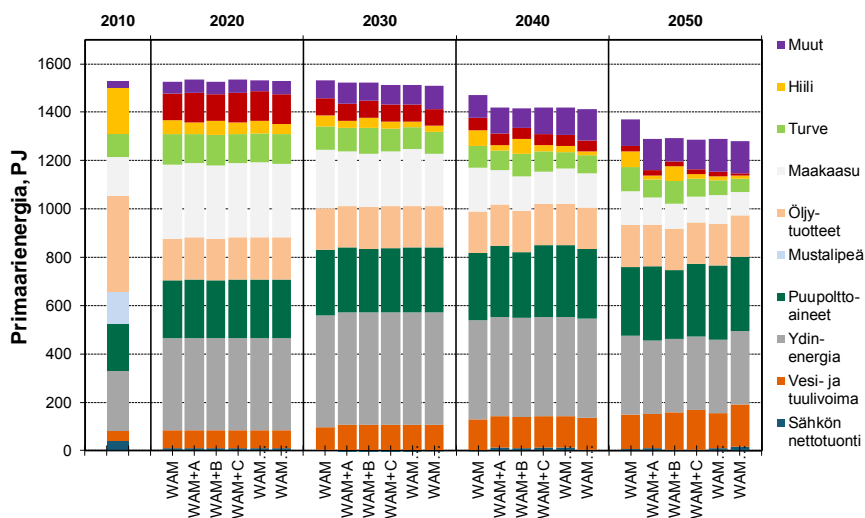
Tarkastelluissa politiikkaskenaarioissa sen sijaan päästöt saadaan kääntymään merkittävään laskuun vaihtoehtoa B (sähköverojen alennus) lukuun ottamatta. Vaihtoehdossa A päästöt ovat vuonna 2040 noin 3,6 Mt, vaihtoehdossa C noin 3,5 Mt ja vaihtoehdossa AK noin 3,0 Mt. Vertailuvaihtoehdossa LC, jossa päästöoikeuksien hinta nousee, päästöt vähenevät 2,5 Mt:n tasolle, josta turpeen hiilen osuus on 0,4 Mt, öljyn 0,3 Mt, kaasun 0,8 Mt, turpeen 0,5 Mt ja jätteen 0,5 Mt. Sekä turvetta että kivihiiltä käytetään politiikkaskenaarioissa edelleen pieniä määriä lauhdetuotantoon, mikä on perusteltua niin energijärjestelmän joustavuus- kuin huoltovarmuusnäkökulmista.

Tuotanto-osuuksien perusteella 95 %:n päästöttömyystavoite saavutetaan sekä AK- että LC-skenaariossa, sillä vaikka AK-vaihtoehdossa päästöt ovat hieman suu-

remmat, pääosa erosta (0,4 Mt) johtuu turpeen suuremmasta käytöstä lauhdesähkön tuotantoon AK-skenaariossa. Ero vastaa noin 0,4 TWh:n sähköntuotantoa, ja syntyy mallissa lähinnä turvetta ja biomassaa käyttävien väliottolauhdelaiteiden tuotannossa, joka soveltuu nopeaan tehon säätöön. Esimerkiksi vuonna 2014 energiantuotannon CO₂-päästöt turpeesta olivat 6,2 Mt, josta noin 1 Mt syntyi lauhdesähkön tuotannosta.

6.3.2 Vaikutukset energiajärjestelmään

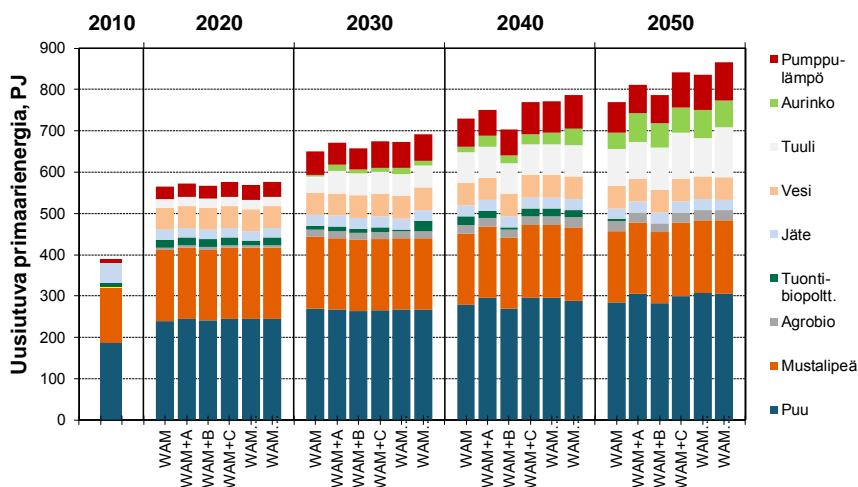
Laskentamallin tuottama primaarienergian kokonaiskulutuksen kehitys on esitetty alla (Kuva 28). Primaarienergian kulutus on mallinnettu ja raportoitu yhdenmukaisesti IEA:n energiataseiden kanssa, joten luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia Tilastokeskuksen kansallisen energiatilastoinnin kanssa. Kokonaiskulutus on WAM-skenaariossa korkeimmillaan noin 1531 PJ (425 TWh) vuonna 2030, jonka jälkeen kulutus alkaa pienentyä. Poliittikkaskenaarioissa kokonaisenergian kulutus on WAM-skenaarioon verrattuna noin 1,5 % pienempi vuosina 2020–2030 ja 4–6 % pienempi vuosina 2040–2050. Oletetut veromuutokset selittävät kuitenkin erosta vain pienen osan, ja pääosa vaikutuksesta aiheutuu skenaarioiden eroista oletuksissa vähähiiliteknikaan käyttöönotossa, erityisesti liikenteen ajoneuvokannan sähköistymisen osalta.



Kuva 28. Primaarienergian kokonaiskulutus (TPES) energialähteittäin tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee kaikissa skenaarioissa merkittävästi jo vuoteen 2030 mennessä, sillä jo WAM-skenaariossa oletettu päästöoikeuksien hintataso, ja uusiutuvan energiateknikaan kehitys heikentävät fossiilisten polttoaineiden

kilpailukykyä. Lisäksi kivihiilikielto on huomioitu WAM-skenaariossa. Poliittikkaskenaariossa erityisesti tuulivoiman määrä kasvaa ja vastaavasti mineraaliöljyn ja turpeen kokonaiskulutus vähenevät WAM-skenaariota voimakkaammin jo vuoteen 2030 mennessä. Maakaasu sen sijaan säilyttää asemansa verrattain hyvin olemassa olevan infrastruktuurin ja tuotantokapasiteetin ansiosta, erityisesti skenaariossa B, jossa sen kulutus nousee hieman WAM-skenaariota suuremmaksi. Sähkötase kääntyy kaikissa poliittikkaskenaarioissa lievästi vientivoittoiseksi. Turpeen käyttö pienenee oleellisesti tapauksissa, joissa poistetaan turpeen verotuki (muut paitsi B-skenaario). Vuosina 2020–2030 käyttöön tulevat ydinvoimalaitokset vaikuttavat kumpikin osaltaan tuntuvasti primaarienergiataseeseen, ja samoin vanhojen ydinvoimalaitosten käyttöä pidennykset.



Kuva 29. Uusiutuvan primaarienergian hankinta tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

Vuoteen 2040 mennessä poliittikkaskenaarioissa turpeen kulutus putoaa B-tapausta lukuun ottamatta yli 60 % WAM-skenaarion tasosta (pienimmillään 19 PJ:n tasolle LC-tapauksessa), ja samoin maakaasun käyttö vähenee samoissa skenaarioissa 10–20 PJ. Näiden vastapainoksi kyseisissä skenaarioissa puupolttoaineiden käyttö kasvaa (noin 17 PJ) ja myös sähkön tuonti kasvaa jonkin verran suuremmaksi. Öljytuotteiden kulutus vähenee kaikissa poliittikkaskenaarioissa, mutta pääosin liikenteen vähähiilioletusten ansiosta. Skenaariossa C saavutetaan kuitenkin suurin öljyn kulutuksen väheneminen, joten siinä siirrytään voimakkaammin pois öljystä myös muilla sektoreilla kuin liikenteessä. Skenaarion B sähköveron alennus ei tulosten mukaan vaikuta vuoteen 2040 mennessäkään merkittävästi primaarienergian hankintarakenteeseen.

Vaikutukset uusiutuvan primaarienergian käyttöön on esitetty tarkemmin alla kuvassa (**Kuva 29**). Poliittikkaskenaariossa B (sähköverojen alennus) ainoat merkittävät muutokset WAM-skenaariota verrattuna ovat puupolttoaineiden ja tuontibiopolttoaineiden hieman pienempi käyttötaso, joka johtuu pääosaltaan liikenteen sähköistymisestä, sekä tuulivoiman hyödyntämisen nousu lähes 15 TWh:n tasolle jo vuonna 2030. Merkille pantavaa on myös lämpöpumppujen käytön kasvun supistuminen WAM-skenaarioon verrattuna pelkästään sähköverotusta muutettaessa. Poliittikkaskenaarioissa A ja C veromuutosten vaikutukset ovat huomattavasti laajempia, sillä niissä puupolttoaineiden käyttö nousee vuonna 2040 noin 17 PJ WAM-skenaariota suuremmaksi, ja tuuli- ja aurinkovoiman hyödyntäminen nousee vuonna 2030 noin 21–27 PJ WAM-skenaariota suuremmaksi. Kiintoisa tulosten yksityiskohta on myös lämpöpumppujen hyödyntämisen kasvu A:n ja B:n yhdistelmäskenaariossa C WAM-skenaariota suuremmaksi, eli vaikutus kääntyy tällöin päinvas- taiseksi kuin B-tapauksessa.

Nousevien verojen tapauksessa (AK) vaikutukset eivät poikkea merkittävästi C-tapauksesta, mutta tuuli- ja aurinkovoiman lisäys painottuu siinä enemmän aurinkoenergiaan. Energiapuun käyttö on AK-tapauksessa vain hieman A- ja C-tapauksia suurempi. Suurimmat vaikutukset uusiutuvan energian käyttöön saadaan odotetusti LC-skenaariossa, jossa tuuli- ja aurinkoenergian yhteenlaskettu lisäys on suurinta ja myös energiapuun käyttö on suunnilleen AK-tapauksen tasolla.

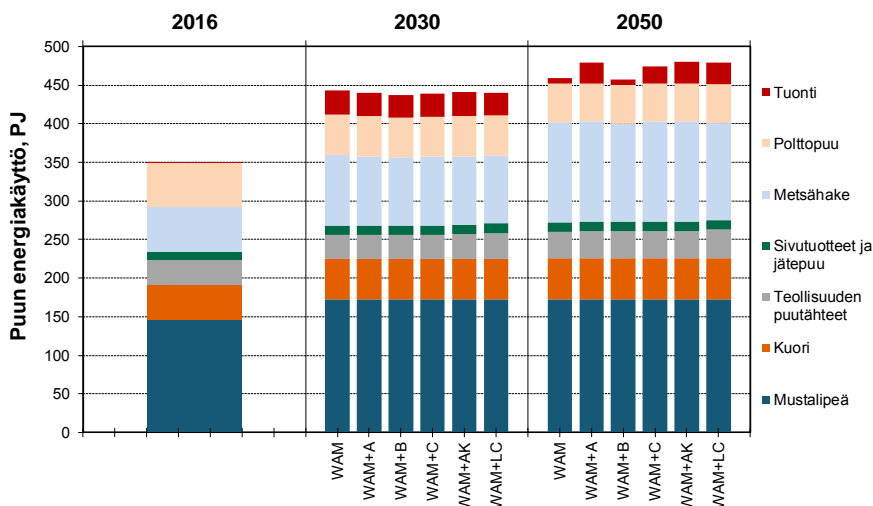
Biojalostamoiden osalta mallilaskelmissa oli otettu huomioon nykyiset ja suunnitellut tuotantokapasiteetit (Sipilä et al. 2018), ja muilta osin mahdollinen kapasiteetin lisäys joko biopolttoaineiden kotimaiseen käyttöön tai vientiin oli mallin optimoitavissa. Koska poliittikkaskenaarioissa oletettiin kuitenkin liikenteen voimakas sähköistyminen, kotimainen lisäkysyntä liikenteessä jää pieneksi eikä aiheuta skenaarioissa näkyvää tarvetta lisäinvestointeihin.

Kokonaisuutena puun energiakäyttö kasvaa kaikissa skenaarioissa oletetusta liikenteen sähköön painottuvasta vähähiilipolitiikasta huolimatta merkittävästi vuoteen 2050 mennessä (**Kuva 30**). Puun energiankäytön kasvu on sinänsä vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian uusiutuvan energian käytön lisäämistä koskevien tavoitteiden mukaista. Strategian tavoitteena on uusiutuvan energian käytön lisääminen 50 %:iin energian kulutuksesta vuoteen 2030 mennessä muun muassa juuri puun energiakäyttöä lisäämällä. Metsäbiomassan merkitys on strategian mukaan Suomessa ratkaisevan tärkeä uusiutuvan energian lähteenä, ja siinä määrin kuin sille ei ole riittävästi kysyntää raaka-aineeksi, sitä ohjataan poliittikkatoimin korvaamaan fossiilisia tuontipolttoaineita eri sektoreilla (TEM 2017).

Luonnonvarakeskuksen vuonna 2016 esittämien arvioiden mukaan suurimmat kestävätkä hakkuumahdollisuudet ovat tällä hetkellä noin 81 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta vuodessa, mutta niiden arvioidaan nousevan 86 milj. m³:iin vuoteen 2030 mennessä, sillä puuston vuosikasvu on edelleen jatkuvassa nousussa. Runkopuun hakkuita olisi siis vuoteen 2030 mennessä mahdollista lisätä 22 milj. m³ vuoteen 2014 verrattuna ja vuoteen 2050 mennessä ilmeisesti yli 90 milj. m³:n. Arviot perustuvat kuitenkin lähinnä arvioihin taloudellisesti kestäviin hakkuumääriin. EU:n LULUCF-politiikka astuu voimaan 2021 ja vuoden 2020 aikana määritetään Suomen metsänielun referenssitaso, jolla on suuri vaikutus siihen, onko LULUCF-

sektori nielu vai päästölähde EU:n politiikassa. Mikäli LULUCF-sektorista on tulossa päästölähde, Suomi joutuu pohtimaan LULUCF-sektorin päästöjen vähentämistä ja metsämaan nielun kasvattamista suhteessa niihin taloudellisiin hyötyihin, joita puun käytön kasvattamisesta koituu mukaan lukien kustannukset päästöjen kompensoimisesta.

Metsäteollisuuden tuotantomääriä koskevat oletukset olivat skenaarioissa suunnitelleen Pöyryn vuonna 2016 julkaisemien arvioiden mukaisia (Pöyry 2016). Niissä paperin ja kartongin tuotanto on runsaat 9 milj. tonnia ja sellun nettovienti runsaat 4 milj. tonnia vuonna 2030. Metsäteollisuuden investoinnit uuteen tuotantoon lisäävät sekä sivutuotteiden että hakkuutähteiden tarjontaa.



Kuva 30. Puun energiakäytön kehitys tarkastelluissa laskentavaihtoehtoissa. Turpeen verotuen poiston aiheuttama energiaturpeen käytön supistuminen lisää energiapuun käyttöä A-, C- ja AK-tapauksissa 16–25 PJ vuosina 2040–2050.

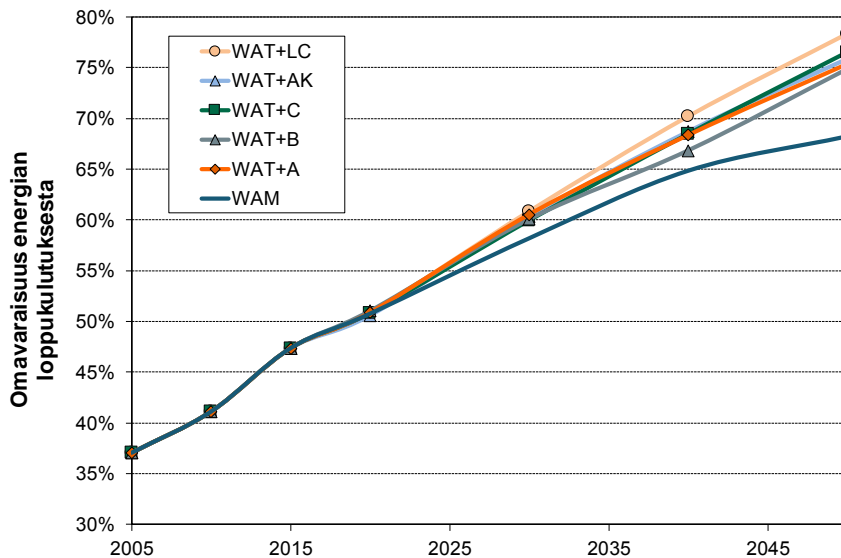
Kuten edellä esitetyssä kuvassa (**Kuva 30**) on havainnollistettu, tarkasteltujen politiikkaskenaarioiden vaikutus puun energiakäytön kokonaismäärään on verrattain pieni. Vuonna 2030 skenaarioiden väliset erot jäävät alle 7 PJ:n (alle 2 TWh) ja vuonna 2050 alle 24 PJ:n (alle 7 TWh). Vuonna 2030 erot syntyvät lähinnä metsähakkeen käyttömääristä, mutta vuonna 2050 suurimmat erot ovat tuontienergiapuun määrissä. Metsähakkeen käyttö kasvaa vuonna 2030 noin 25 TWh:n tasolle. Tämä on merkityksellistä siinä mielessä, että kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman tavoitteena on aiemmin ollut nostaa metsähakkeen vuotuinen lämpö- ja voimalaitoskäyttö 25 TWh:iin jo vuoteen 2020 mennessä (Laitila et al. 2010), mikä ei siis mallilaskelmien mukaan toteudu. Vuodelle 2025 asetettu kansallisen metsästrategian tavoitetaso 25 Mm³ (noin 30 TWh, MMM 2015) ei sekään toteudu, mutta vuoteen 2050 mennessä metsähakkeen energiakäyttö nousee politiikkaskenaarioissa jo tätä suuremmaksi, 35–36 TWh:iin. Erot politiikkaskenaarioiden välillä jäävät siis metsähakkeen käytössä varsin pieniksi. Suurinta taloudellisesti kestäväää

hakkuukertymää vastaava metsähakkeen kokonaispotentiaali on aiemmin eri lähteissä arvioitu noin 40 TWh:n tasolle, joten myös vuotta 2050 koskevat tulokset ovat potentiaaliarvioiden kanssa sopuissa.

Kotimaisen tarjonnan lisäksi energiapuun tuontia tulisi laskentamallin tuloksena käyttöön vuonna 2030 noin 30 PJ:n verran, muun muassa pääkaupunkiseudulle ja Turun seudulle. Vuoteen 2050 mennessä tuonti pysyisi lähes samalla tasolla A- AK- ja LC-skenaarioissa, mutta muissa tapauksissa vähenisi vuoden 2030 tasosta. Energiapuun merkittäviä viejiä Itämeren alueella ovat olleet 2000-luvulla erityisesti Baltian maat, joista puun tuonti rannikolla sijaitseviin kulutuskohteisiin olisi logistisesti hyvin toteutettavissa. Mikäli energiapuuta ei voitaisikaan tuoda, metsähakkeen kysyntä nousisi ilmeisesti suunnilleen arvioidun potentiaalın ylärajalle.

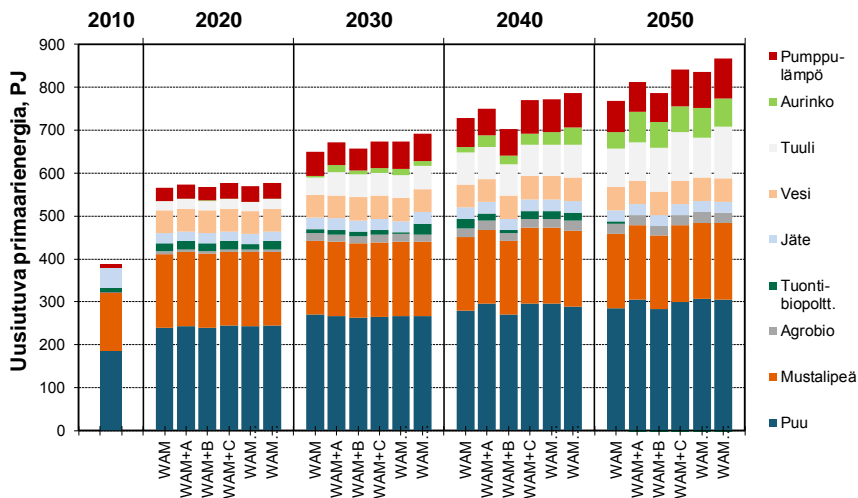
Uusiutuvan energian ja energiaomavaraisuuden lisäämisen tavoitteet kytkeytyvät vahvasti toisiinsa. Suomen hallituksen asettamien tavoitteiden mukaan uusiutuvan energian osuuden tulee nousta 2020-luvulla yli 50 %:iin energian kulutuksesta ja omavaraisuuden tulee nousta yli 55 %:n. Tavoitteet pyritään saavuttamaan pääosin uusiutuvan energian tarjontaa ja käyttöä lisäämällä sekä päätöksellä luopua kivihillen käytöstä vuonna 2029. Tavoiteohjelman mukaan mahdollisuudet tarjonnan lisäämiseen ovat suurimpia muun muassa nestemäisten biopolttoaineiden ja biokaasun tuotannossa ja tuotantoteknologian kehittämisessä. Lisäksi tarjontaa tukee teknologianeutraali uusiutuvan sähköntuotannon tuki, josta on jo järjestetty ensimmäinen kilpailutus.

Sekä uusiutuvan energian osuus että energiaomavaraisuus lasketaan energian loppukulutuksesta. Omavaraisuuden laskemisessa huomioidaan käytetyn määritelmän mukaan uusiutuvan energian lisäksi turve, jäte ja kierrätyspolttoaineet sekä teollisuuden reaktiolämpö. Toisin kuin kansainvälisessä energiatilastoinnissa, ydinvoima ei sisälly energianhankinnan omavaraisuuden kansalliseen määritelmään. Mitään tuontibiopolttoaineita tai niillä tuotettua energiaa ei luonnollisesti myöskään lueta mukaan omavaraisuuteen.



Kuva 31. Energian hankinnan omavaraisuuden kehitys tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa

Koska sekä mallilaskelmien tulosten että vähähiilitavoitteiden mukaan turpeen ja uusiutumattomien jätepolttoaineiden energiakäyttö ei ole lähivuosikymmeninä kasvamassa vaan vähenemässä, energiaomavaraisuuden kasvu muodostuu tavoitteisiin pyrittäessä yksinomaan uusiutuvan energian käytön lisääntymisestä, ja omavaraisuus on tällöin joitakin prosenttiyksikköjä uusiutuvan energian osuutta korkeampi. **Kuva 34** esittää tulosten mukaisen energiaomavaraisuuden kehityksen. WAM-skenaariossa omavaraisuus on edellä esitetyn määritelmän mukaan 58 % vuonna 2030, mikä ylittää selvästi asetetun vähimmäistavoitteen. Vähäpäästöskenaarioissa omavaraisuus nousee vuonna 2030 jo 60–61 %:iin, joten erot sekä WAM-skenaarioon että politiikkaskenaarioiden välillä jäävät suhteellisen pieniksi. Vuoteen 2050 mennessä omavaraisuus nousee kuitenkin politiikkaskenaarioissa 75–78 %:iin, kun se jää WAM-skenaariossa 68 %:iin. Alhaisimmat päästöt tuottavassa LC-skenaariossa saavutetaan myös korkein omavaraisuus, ja sitä lähimmäksi yltää C-tapaus.



Kuva 32. Sähkön kokonaishankinta energialähteittäin tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

Laskentamallin tulosten mukaan uusiutuvista energialähteistä omavaraisuutta kasvattaa määrällisesti eniten puuperäisen bioenergian käyttö, jonka lisäys kohdistuu voimakkaimmin metsähakkeeseen ja metsäteollisuuden jäteliemiin. Taustatekijänä on luonnollisesti oletettu metsäteollisuuden kehitys. Tuulivoiman lisäys jatkuu 2020-luvulla tarkastelluissa skenaarioissa siten, että vuonna 2030 sen tuotanto on 10–15 TWh. Kaikissa politiikkaskenaarioissa tuulivoiman tuotanto nousee siis selvästi WAM-skenaariota korkeammaksi, asettuen noin 15 TWh:n tasolle. Lämpöpumpit tuovat oman osansa uusiutuvan energian ja omavaraisuuden lisäyksestä, kuten voitiin nähdä edellä esitetystä kuvasta (**Kuva 29**). Myös aurinkosähkön tuotanto kasvaa nopeasti vuoden 2030 jälkeen, mutta jää vuonna 2030 kaikissa skenaarioissa vielä alle 2 TWh:n.

Sähkön hankintaa koskevissa tuloksissa (**Kuva 32**) ilmenevät vähähiiliskenaarioihin yleensäkin liitetyt keskeiset ominaispiirteet: energiatalouden sähköistyminen kasvattaa sähkön kokonaiskysyntää ja fossiilisiin polttoaineisiin perustuva sähköntuotanto supistuu hyvin marginaaliseen rooliin lähinnä huippu- ja säätöreserviksi. Hiili-, öljy- ja maakaasuvoimaa jää kaikissa tapauksissa vain hyvin pieni määrä säätöreserviksi, mutta turpeen rooli jää verotuen takia vielä vuonna 2050 näkyväksi WAM- ja B-skenaariossa. Bioenergiapohjainen sähköntuotanto kasvaisi tulosten mukaan vuoteen 2030 mennessä 15–16 TWh:iin, eli siinä erot skenaarioiden välillä jäävät hyvin pieniksi, mutta vuoteen 2050 mennessä politiikkaskenaarioissa biosähkön tuotanto kasvaa 3–5 TWh WAM-skenaariota suuremmaksi.

Turpeen väistyminen sähköntuotannosta A-, C-, AK- ja LC-tapauksissa kompensoituu suurelta osin juuri biosähköllä, kun turpeen veroetu on poistettu. Samalla kuitenkin myös muu uusiutuva sähköntuotanto kasvaa kaikissa politiikkaskenaarioissa sähköistymisen myötä. Politiikkaskenaarioiden vaikutuksia tarkasteltaessa on siis

syitä pitää mielessä, että niissä on mukana vähähiilitavoitteiden mukainen "pakotettu" sähköistyminen liikenteessä ja terästeollisuudessa.

Tuulivoiman tuotanto on WAM-skenaariossa runsaat 10 TWh vuonna 2030 ja 24 TWh vuonna 2050. Määrät vastaavat hyvin VTT:n tuulivoima-asiantuntijoiden perusarvioita ns. realistisesta teknistaloudellisesta potentiaalista. Tarkastelluista politiikkavaihtoehdoista voimakkain vaikutus tuulivoimaan näkyy LC-tapauksessa, jossa tuotanto nousee 34 TWh:n määrään vuonna 2050. Myös C-tapauksessa vaikutus on varsin merkittävä, sillä tuotanto nousee siinä 31 TWh:iin, ja B-tapauksessaakin kohtalainen (28 TWh). Pienimmiksi vaikutukset jäävät A- ja AK-tapauksissa, joissa ero WAM-skenaarioon jää noin 1 TWh:iin. Mutta toisaalta huomattavaa on se, että vuonna 2030 kaikissa politiikkaskenaarioissa tuulivoimat tuotanto nousee tuntuvasti WAM-skenaariosta, noin 15 TWh:iin. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että tuulivoiman kehitys on viime vuosina nopeaa ja esitettyihin potentiaali- ja ennustearvioihin liittyy merkittävää epävarmuutta. Esimerkiksi Sitra on arvioinut, että vuonna 2030 tuulivoiman teknistaloudellinen potentiaali olisi jopa 30 TWh (Sitra 2018).

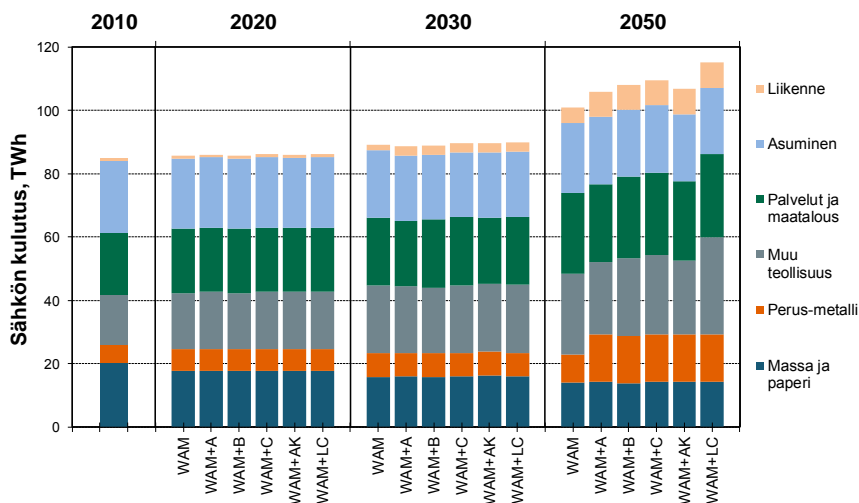
Aurinkosähkön määrä jää vuonna 2030 kaikissa skenaarioissa vielä alle 2 TWh:n, mutta sen jälkeen tuotanto kasvaa nopeasti, ja voimakkaimmin A- ja AK-tapauksessa. Tulosten mukaan kummassakin skenaariossa aurinkosähkön tuotantoa saadaan vuonna 2050 jopa hieman LC-skenaariota enemmän. Pienimmiksi vaikutukset aurinkosähkөөn jäävät B- ja C-tapauksissa, mutta niissäkin tuotanto kasvaa noin 40 % WAM-skenaariota suuremmaksi.

Herkkyystarkasteluna lasketun politiikkaskenaarion H tulokset poikkesivat vain vähän skenaariosta B. Näkyvin ero skenaarioon B verrattuna oli kiinteistökohtaisen aurinkosähkön tuotannon vähäisempi kasvu vuosina 2030–2050, joka kuitenkin kompensoitui tuulisähkön tuotannon voimakkaammalla kasvulla.

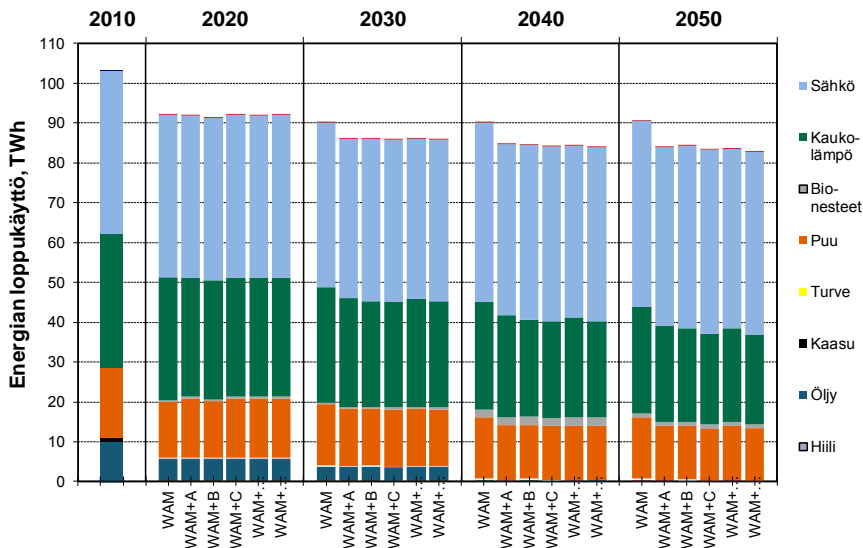
Sähkön kokonaiskulutus (ilman häviöitä) nousee WAM-skenaariossa noin 100 TWh:iin vuonna 2050 (**Kuva 33**). Poliitiikkaskenaarioissa sähkön kulutus kasvaa laskentaoletusten myötä merkittävästi paitsi liikenteessä ja terästeollisuudessa (suorapelkistys) myös kaikilla muilla sektoreilla. Voimakkaimmin vähähiilitalouteen siirtyvässä LC-skenaariossa otetaan tuntuvimmin käyttöön muun muassa Power-to-X teknologiaa (sisältyy kuvassa muuhun teollisuuteen), jolloin sähkön kokonaiskulutus kasvaa yli 115 TWh:n vuonna 2050. Huomattavin yksittäinen sähkön kulutusta lisäävä teknologia on kaikissa politiikkaskenaarioissa oletettu Raahan terästehtaan asteittainen muutos vetyperusteiseen tai -avusteiseen suorapelkistykseen, jolloin laitoksen sähkönkulutus nousee lähes 10 TWh:iin. Sähköistyminen on odotetusti voimakkainta tapauksissa, joissa sähköveroa alennetaan. Tapauksissa joissa alennusta ei ole mukana (A ja AK), sähkön kulutus nousee vain 5–6 % WAM-skenaariota suuremmaksi.

Kotitalouksien ja palvelujen energiankulutuksessa asuin- ja palvelurakennusten lämmitys on keskeisin kasvihuonekaasuihin vaikuttava kulutuskohde. Tarkastelluissa skenaarioissa oletettiin rakennuskannan ja niiden ominaisenergiankulutusten kehittyvän suunnilleen Syken laatiman perusskenaarion mukaisesti (Mattinen et al. 2016), mikä tarkoittaa melko tuntuvaan rakennuskannan kasvuun ja toisaalta melko

maltillisia oletuksia energiatehokkuuden paranemisesta. Tulosten mukaan asumisen ja palveluiden loppuenergian kulutus pysyy WAM-skenaariossa lähes vakiona vuodesta 2020 eteenpäin, mutta on politiikkaskenaarioissa tasaisesti laskeva koko tarkasteluajavälillä vuoteen 2050 (**Kuva 34**). Loppukäyttökohteista lämmitykseen kuluva energia vähenee selvimmin ja jäähdytykseen kuluva energia puolestaan kasvaa nopeimmin. Lämmityspolttoaineista mineraaliöljy häviää käytöstä vuoden 2030 jälkeen korvautuen lähinnä lämpöpumpuilla ja jossain määrin biopolttoöljyllä ja pelleteillä. Poliitiikkaskenaarioiden välillä ei voida nähdä kovin merkittäviä eroja, mutta A- ja AK-tapauksissa kaukolämmön ja puupolttoaineiden markkinaosuus pysyy hieman muita tapauksia suurempana.



Kuva 33. Sähkön kokonaiskulutus sektoreittain tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.



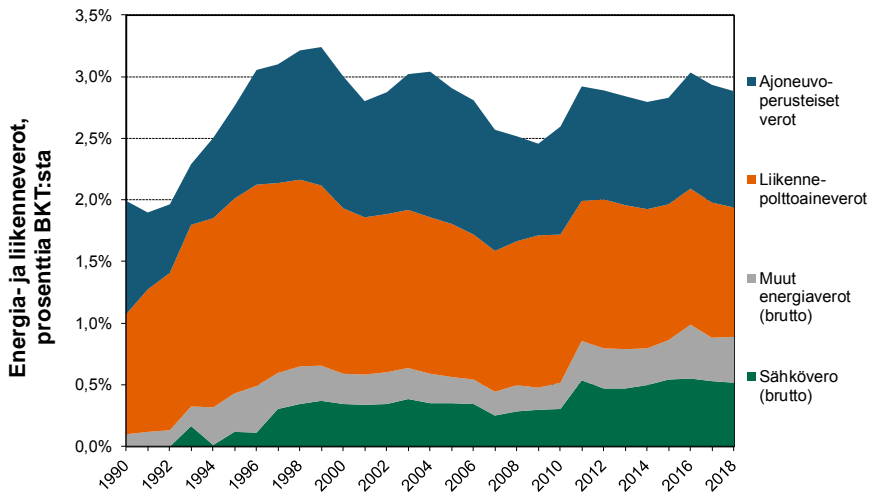
Kuva 34. Asumisen ja palveluiden energian loppukulutus tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

6.4 Vaikutukset valtion verotuloihin

Suomessa nykyisin kerättävät ympäristöverot voidaan jakaa viiteen verolajiin (Tilastokeskus 2019):

- energiaverot (sähkövero ja varsinaiset energiapolttoaineverot)
- liikennepolttoaineverot
- ajoneuvoperusteiset liikenneverot (autoverot, ajoneuvoverot)
- päästöverot (pääosin jäteveroa)
- resurssiverot (metsästys ja kalastus)

Ympäristöverojen kokonaiskertymä oli vuosina 2016–2018 noin 6,8 mrd. euroa vuodessa, josta varsinaiset energiaverot noin 30 % (2,1 mrd.), liikennepolttoaineverot 36 %, ajoneuvoperusteiset verot 32 %, ja päästö- ja resurssiverot runsaat 1 %. Kun valtionhallinnon verot ja maksut olivat vuonna 2018 yhteensä noin 49 mrd. euroa, kaikkien ympäristöverojen osuus siitä on merkittävä, noin 14 %. Tässä työssä tarkasteltujen varsinaisten energiaverojen osuus jää noin 4 %:iin.



Kuva 35. Energia- ja liikenneverojen kertymän kehitys BKT:hen verrattuna. Tar- kastellut sähkö- ja muut energiaverot olivat 2018 noin 0,9 % BKT:sta perustuen Ti- lastokeskuksen (2019) tilastotietoihin.

Suhteutettuna bruttokansantuotteeseen ympäristöverotuksen kokonaiskertymä kasvoi voimakkaasti 1990-luvulla, mutta on sen jälkeen lievästi laskenut, mikä näkyy alla esitettyssä kuvassa (**Kuva 35**). Viime vuosina osuus on ollut 3 %:n tuntumassa, ja varsinaisten energiaverojen osuus 0,9 %. Kun energiaverojen palautukset otetaan huomioon, nettokertymä on ollut viime vuosina noin 0,8 % bkt:sta ja noin 2 % kaikista julkisyhteisöjen veroista ja maksuista. Melko suuretkin muutokset energiaverokertymässä olisivat siten ehkä kompensoitavissa muussa verotuksessa.

Mallilaskelmien tulosten mukaan energiaverokertymät pysyvät WAM-skenaariossa reaalisesti suunnilleen nykytasolla vuoteen 2050 saakka, mikä johtuu lähinnä sähkön käytön ja sähköverokertymän kasvamisesta (**Kuva 36**). Polttoaineverojen kertymä sen sijaan vähenee WAM-skenaariossakin jo lähes 40 %. Poliitiikkaskenaariossa A ja AK verokertymä kasvaisi lyhyellä tähtäimellä tuntuvasti, sillä veromuutosten oli oletettu tulevan pääosin jo 2020 täysimääräisinä voimaan. Vuoteen 2050 mennessä niissäkin verokertymä jää lähelle WAM-skenaariota.

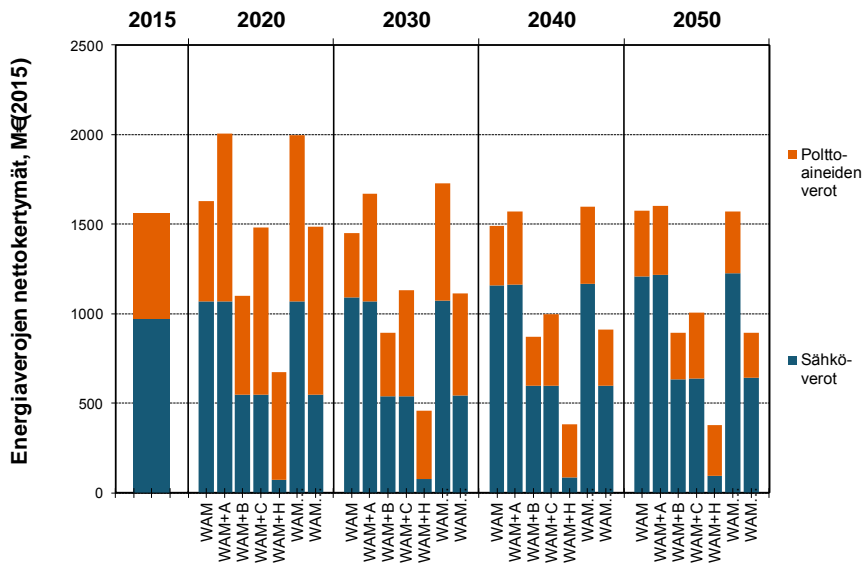
Kuten edellä on todettu, sähköveron alennuksella ei ollut tulosten mukaan riittävä vaikutusta ympäristötavoitteiden toteutumiseen, jotta alennusta voitaisiin sillä yksinään perustella. Jos veron alennus ulotettaisiin myös palvelusektoreille tai jopa koko nykyiseen veroluokkaan 1 (herkkyystarkastelu H), kokonaisverokertymän vähennys on valtiotaloudelle huomattava, yli miljardi euroa vuodessa. Tulosten mukaan vaikutukset valtion verotuloihin voisivat supistua kohtuullisiksi rajaamalla alennus nykyiseen veroluokkaan 2, alennuksen perusteena esimerkiksi sekä ympäristöettä yritystukitavoitteiden kannalta tehostamista energiaverojen palautuksista luopu- misen kompensoiminen (ks. esim. Laukkanen & Malinen 2019).

Missään tarkastelluista laskentatapauksista energiaverojen kokonaiskertymä vuonna 2050 ei siis reaalisesti nouse huomattavasti nykytasoa korkeammaksi, koska valtaosa kertymästä on sähköveroa eikä sen tasoa oletettu missään vaihtoehdossa reaalisesti korotettavan. Sähkön kulutuksen kasvun aiheuttama lisäkertymä kompensoituu polttoaineverojen kertymän vähenemisellä, mikä ilmentää toivottua ohjausvaikutusta vähäpäästöisyystavoitteiden suuntaan. Ohjausvaikutuksen toteutuminen nähdään ehkä parhaiten skenaariorista AK, jossa CO₂-verokomponentin 3 %:n vuotuinen korotus johtaa vuonna 2050 verokertymän palautumiseen suunnilleen skenaarion A tasolle.

6.5 Johtopäätöksiä energiaverojen vaikutusarvioista

Mallitarkastelujen perusteella vaihtoehtoisilla laskentatapauksilla (poislukien B-tapaus) saavutettiin suurimmat päästövähennykset, eli noin 2,7-4,7 Mt KHK-päästövähennelmä vuonna 2030 ja 9,3-13,9 Mt vuonna 2050 vertailuskenaarioon verrattuna. Sen sijaan sähköverojen alennuksella olisi melko vähäiset suorat vaikutukset Suomen energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöihin. Tavoitteeksi asetettu 95 % KHK-päästöttömyys vuonna 2040 energiantuotannossa ei toteutunut laskentatapauksissa, joissa polttoaineiden verotuet poistettiin ja/tai sähkövero alennettiin ja sähköveronpalautukset poistettiin (laskentatapaukset A, B ja C), vaan ainoastaan laskentatapauksissa, joissa polttoaineveroja (laskentatapaus AK) tai päästöoikeuden hintaa nostettiin (laskentatapaus LC) nostettiin edellisiin laskentatapauksiin verrattuna. Näin ollen polttoaineverojen yhdenmukaistaminen ja 25 €/t CO₂ päästöoikeuden hinta ei näyttäisi ohjavan vielä riittävästi 95 % KHK-päästöttömyystavoitteen saavuttamiseksi energiantuotannossa. Turpeen käytön merkittävä pieneneminen kaikissa muissa, paitsi sähköverolaskentatapauksessa (B-tapaus), johti suurimpaan KHK-päästövähennykseen vertailuskenaarioon verrattuna. Turpeen käyttö puolittui vuoden 2010 käyttöön verrattuna vuoteen 2030 mennessä kaikissa laskentatapauksissa ja vuoden 2018 käyttöönkin verrattuna kaikissa muissa, paitsi WAM- ja B-laskentatapauksissa. Mallitulosten perusteella sekä turvetta että kivihiiltä käytettäisiin kuitenkin vuoteen 2050 asti pieniä määriä lauhdetuotantoon.

Sähköverojen alennus teollisuus- ja palvelusektorilla (B-tapaus) aiheuttaisi reilun 550 M€ valtion tulojen aleneman. Tästä noin 2/3 koostuu palvelusektorin siirrosta 2 veroluokkaan. Herkkyystarkasteluna lasketussa tapauksessa H verokertymä alenisi vielä voimakkaammin, yli miljardin, mutta muutoin vaikutukset poikkesivat vain vähän tapauksesta B. Tulosten perusteella polttoaineverojen harmonisointi ja korotus kasvattaisi valtion tuloja 2020-luvulla. Tämän jälkeen fossiilisten polttoaineiden käyttö ja vastaavasti polttoaineverokertymät laskevat sekä vertailuskenariossa että B-laskentatapauksessa. Vuoden 2040 jälkeen B-laskentatapauksen verotuet laskevat lähelle vertailuskenaarion tasoa, joten polttoaineverojen korotuksella olisi keskipitkän aikavälin vaikutukset valtion verotuloihin.



Kuva 36. Energiantuotannon ja loppukulutuksen (pl. liikenne) nettoverokertymä tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

Hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoteen 2045 mennessä esitetyissä laskentatapauksissa edellyttää, että KHK-päästöjä kompensoidaan maankäyttösektorin nettonieluilla noin 25 Mt CO₂ ekv. Suomen maankäyttösektorin nettonielu on vaihdellut merkittävästi suhdanteiden mukaan ja sen keskiarvo ollut noin 21 Mt CO₂ ekv. Esimerkiksi vuoden 2017 tilastojen mukaan maankäyttösektorin nettonielu oli noin 27 Mt CO₂ ekv., mutta Tilastokeskuksen alustavien uusimpien tilastojen mukaan maankäytön nettonielu olisi pienentynyt tasolle 14 Mt CO₂ ekv.²⁹. Vertailuskenaarissa, jossa oli huomioitu nykytoimet, hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen edellyttäisi vastaavasti noin 30 Mt CO₂-kompensaatiota nieluilla, eli maankäyttösektorin nettonielujen tulisi kasvaa nykyisestä.

On selvää, että laskelmiin liittyy merkittäviä epävarmuuksia erityisesti pitkällä aikavälillä. Hiilineutraalisuuden saavuttaminen edellyttää paitsi energiantuotannon irtautumista fossiilisista polttoaineista myös teollisuuden prosessiperäisten päästöjen merkittävää laskua, esitettyjen liikenteen hiilettömyystavoitteiden toteutumista vuonna 2045 sekä maatalouden ja maankäyttöön liittyvien KHK-päästöjen vähentämistä. Esitetyissä mallitarkasteluissa oli esimerkiksi oletettu, että masuuniteräksen tuotannosta luovutaan ja siirrytään vetypelkistykseen siten, kuin SSAB on esittänyt. Lisäksi laskelmissa oletettiin, että fossiilisen öljynjalostuksen KHK-päästöt alenevat merkittävästi, mikä voisi toteutua nykyisen vedyntuotannon yhteydessä toteutetun talteenotetun hiilidioksidin varastoinnilla geologiseen muodostelmaan (l.

²⁹ Tilastokeskus 2019. Pikaennakko.

https://www.tilastokeskus.fi/tii/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_tie_001_fi.html

CCS) tai siirtymistä fossiilisesta vedyntuotannosta höyryreformoinnilla uusiutuvaan vedyntuotantoon elektrolyysillä. Mikäli merkittävä KHK-päästöjen vähentäminen ei toteudu kaikilla KHK-päästöjä tuottavilla sektoreilla, päästöjä tulisi kompensoida enenemässä määrin nettonieluilla. Maankäyttösektorin nettonielujen suuri vaihtelu lisää myös epävarmuutta hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseen.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tiina Koljonen, Marita Laukkanen, Markku Ollikainen, Essi Eerola, Antti Lehtilä, Hanne Siikavirta

Raportissa on esitetty arvioita, kuinka Suomen energiaverotusta muuttamalla voitaisiin edistää kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä ja siirtymistä hiilineutraaliin yhteiskuntaan vuoteen 2045 mennessä. Lisäksi tarkasteluissa tavoitteena oli saavuttaa 95 prosenttisesti KHK-päästötön energiantuotanto vuoteen 2040 mennessä. Työn tarkastelut rajattiin sähkön ja lämmöntuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen mukaan lukien yhdyskuntien ja teollisuuden energiantuotanto. Tarkasteluissa olivat mukana kaikki energiaverot pois lukien liikennepolttoaineiden valmisteverot. Alla esitetään työn keskeiset johtopäätökset. Laajemmat johtopäätökset on esitetty lukujen 3, 4 ja 6 lopussa. Keskeisinä johtopäätöksinä laskennallisten ja laadullisten arvioiden perusteella voidaan esittää:

- Nykytoimilla ei saavuteta tehtävänannossa asetettua hiilineutraalisuustavoitetta vuodelle 2045 eikä energiantuotannon 95 prosenttista päästöttömyyttä vuonna 2040. Lisäksi tulee huomioida, että nykytoimien osalta mallilaskelmat tehtiin reaalina vuoden 2019 euroina, joten lähtökohtana oli, että nykyisiin verotasoihin tehtäisiin inflaatiokorjaukset.
- Polttoaineverojen yhdenmukaistamisella (l. turpeen ja CHP-verotukien sekä teollisuuden ja maatalouden energiaverotukien poisto fossiilisten polttoaineiden osalta) saavutetaan suurimmat KHK-päästöjen vähennykset. Jos päästöoikeuden hinta on korkeintaan 25 €/t CO₂ tason, energiantuotannon 95 % päästöttömyystavoitteen saavuttaminen edellyttää lisäksi asteittaista polttoaineverojen korottamista tai muita päästöohjaustoimia, kuten päästöoikeuskaupan lattiahintaa.
- Polttoaineverojen yhdenmukaistamisella ja energiaverojen palautusten poistolla on myös positiivinen vaikutus valtion verotuottoihin nykytasoon verrattuna vuoteen 2030 asti. Tämän jälkeen verotuotot laskevat, kun fossiiliset polttoaineet korvautuvat muilla energialähteillä.
- Teollisuuden, kaupan, palveluiden ja maataloussektorin sähköveron alentamisella EU:n asettamalle minimitasolle saavutettiin vain vähäiset suorat vaikutukset KHK-päästöihin, kun valtiontulojen alenema oli yli 0,5 mrd €.
- Turpeen verotuen poisto on mallitarkastelujen mukaan tehokas toimi energiantuotannon KHK-päästöjen vähentämisessä. Tässä tarkastelussa sen oletettiin tapahtuvan yhdessä muiden verotukien poiston kanssa. Tarkemmille selvityksille on tarvetta, mikäli turpeen verokohtelua tarkasteltaisiin yksittäisenä toimena. Hallitusohjelmaan (VN 2019) kirjattu turpeen käytön puolitus vuoteen 2030 mennessä ei myöskään toteutunut nykytoimin.
- Energiavero-ohjaus on tehokas toimi maatalouden polttoainekäytön sekä kiinteistöjen lämmitysöljynkäytön vähentämisessä ja siten myös KHK-pääs-

töjen vähentämisessä. Molemmissa tapauksissa kyse on kuitenkin merkittävistä investoinneista eikä ole selvää, riittäisikö laskelmien lähtökohtana käytetty energiavero-ohjaus investointien kannustamiseen.

- Kaukolämmön tuotannossa on valittavana useita fossiilivapaita tuotantotapoja, mutta niihin jokaiseen liittyy joukko etuja ja haasteita, jotka saattavat vaihdella myös kaupunkikohtaisesti. Esimerkiksi hukkalämmön hyödyntämisen potentiaalin arviointiin liittyy merkittävää epävarmuutta, mikä vaatisi lisäselvityksiä.
- Laadituissa laskelmissa hiilineutraalisuuden saavuttaminen 2045 mennessä edellyttäisi, että KHK-päästöjä kompensoidaan maankäyttösektorin nettonieluilla noin 25 Mt CO₂ ekv. Suomen maankäyttösektorin nettonielu on vaihdellut merkittävästi suhdanteiden mukaan ja sen keskiarvo ollut noin 21 Mt CO₂ ekv., mutta tuoreimman Tilastokeskuksen (2019) pikaennakkoarvion mukaan 14 Mt CO₂ ekv. Maankäyttösektorin nettonielujen suuri vaihtelu lisää epävarmuutta hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseen. Uuden hallitusohjelman mukaan Suomen tulisi saavuttaa hiilineutraalisuus vuoteen 2035 mennessä. Mikäli maankäytön nettonielut eivät riitä kompensoimaan KHK-päästöjä Suomen tulisi hankkia kompensatioita toisista maista. On siten ensisijaisen tärkeää vähentää KHK-päästöjä kaikilla sektoreilla ja samalla vahvistettava nieluja kasvua.

7.1 Arvioita nykyisen energiaverotuksen toimivuudesta

Suomessa fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyvät valmisteverot perustuvat niiden energiasisältöön ja hiilidioksidipäästöihin. Sähkön tuotannon polttoaineiden käyttö on harmonisoidun EU:n sääntelyn mukaisesti verotonta. Sähkön käyttöä sen sijaan verotetaan. Sähkövero on porrastettu kahteen veroluokkaan, joille EU on asettanut minimitasot. Veroluokkaan 1 kuuluvat kotitaloudet, julkinen sektori, rakentaminen sekä palvelutoiminnot. Veroluokkaan 2 kuuluvat teollisuus, kaivostoiminta, konesalit ja ammattimainen kasvihuoneviljely. Teollisuusyritykset ja kasvihuoneviljelyn harjoittajat voivat hakea palautuksia maksamilleen sähkö- ja polttoaineveroille. Palautukset voivat nousta jopa lähes 85 prosenttiin maksetuista veroista.

Sähkön tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä ohjaa EU-laajuinen päästökauppa³⁰. Lämmön tuotanto ja teollisuuden polttoaineet kuuluvat päästökauppaan osittain. Voidaan ajatella, että päästökauppa on ensisijainen ohjauskeino näillä toimialoilla. Toisaalta ainakin teollisuuden osalta ilmaiseksi jaettavien päästöoikeuksien määrä ylittää toteutuneet päästöt useimmilla toimialoilla ja teollisuudessa kokonaisuudessaan, mikä saattaa heikentää päästökaupan ohjausvaikutusta. EU:n päästöoikeuden hinta on myös pitkään jäänyt alle hintatason, jonka eri tutkimuksissa ja selvityksissä on arvioitu riittävän ohjaamaan päästövähennyksiä Pariisiin

³⁰ Pienimuotoinen sähköntuotanto (polttoaineteho alle 20 MW) ei kuulu päästökaupan piiriin.

sopimuksen tavoitteiden mukaisesti tai vastaavan hiilidioksidipäästöjen yhteiskunnallisia kustannuksia. Kansallinen lisäohjaus energiaveroilla saattaa siis näiden huomioiden pohjalta olla perusteltua myös päästökauppasektorilla.

Energiajärjestelmän sähköistäminen, eli siirtyminen enenemissä määrin polttoainneiden käytöstä sähkön käyttöön, on yksi merkittävä keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Energianhankintaan liittyviin investointipäätöksiin vaikuttavat energian hinnan osalta sekä eri energialähteiden kokonaishinnat että hintojen suhteet. Energiamuotojen hintojen suhteet ajavat energiamuodon valintaa ja vaihtamista. Veroilla voidaan pyrkiä vaikuttamaan energiamuotojen suhteellisiin hintoihin. Nykyistä energiaverorakennetta voi pitää päästötavoitteiden suuntaisena ainakin valmistavan teollisuuden sähköistymisen osalta, sillä energiayksikköä (GJ) kohden laskettuna teollisuuden sähkövero on huomattavasti alhaisempi kuin fossiilisten polttoaineiden verot. Kotitalouksien sähkövero sen sijaan on nykyisellään vain hieman alhaisempi kuin polttoöljyjen energiavero. Kiinteistöjen lämmityksen sähköistämistä voisi olla mahdollista edistää alentamalla sähköveroja, mutta tästä ei ole saatavilla empiirisiä tutkimustuloksia. Siirtyminen esimerkiksi öljylämmityksestä suoraan sähkölämmitykseen tai lämpöpumppuihin vaatisi investointeja, eikä ole selvää, riittäisikö sähköveron alennus investointien vauhdittamiseen. Toisaalta julkinen valta on ohjelmatasolla sitoutunut öljylämmityksen lopettamiseen. Lisäksi keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaan (YM 2017) on kirjattu, että valtionhallinto luopuu toimitilojensa öljylämmityksestä vuoteen 2025 mennessä ja että kaikkia julkisia toimijoita kannustetaan samaan.

Energiantuotannon kansallisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen näkökulmasta ongelmalliseksi kansallisessa energiaverotuksessa muodostuvat erityisesti turpeen hyvin alhainen energiavero, CHP-tuotannon alennettu energiavero sekä fossiilisista polttoaineista maksettavien polttoaineverojen palauttaminen energiaverojen palautusjärjestelmien (energiaintensiivisten yritysten veronpalautus ja maatalouden energiaverojen palautus) kautta. Energiaverojen palautusjärjestelmä vähentää verotuksen ohjausvaikutusta. Koska vain verrattain suuret yritykset pääsevät teollisuuden energiaverojen palautusten piiriin, myös kustannustehokkuus kärsii – lopulliset hiilidioksidiverot eroavat palautusten vuoksi eri kokoisten yritysten välillä. Selvityksen vaikutusarviossa on siksi analysoitu, mitkä vaikutukset polttoaineverojen harmonisoinnilla ja energiaverojen palautusten poistoilla olisi energianhankinnan kasvihuonekaasupäästöihin.

Kuinka paljon päästökauppa auttaa tavoitteiden saavuttamisessa riippuu päästöoikeuden hinnan kehityksestä. Annettuna neljännen kauppakauden (2021-2030) alkujaon leikkuri ja muut rakenteelliset puitteet, päästöoikeuksien hinnan voi arvioida asettuvan keskimäärin tasolle 25 €/t, mikä on selvästi alle sen tason (30-80 €/t), joka on tarpeen, jotta EU:n ja sen jäsenmaiden päästöt vähenisivät Pariisin sopimuksen ilmastotavoitteiden mukaisesti. Kansallisen hiilidioksidiveron avulla tuotettu päästökaupan lattiahintaa sopii hyvin yksittäisen tai usean maan ohjauskeinoksi päästökauppasektorille. Markkinavakausmekanismi on luonut ainakin lyhyellä aikavälillä tilaa kansallisen kunnianhimon nostamiseen ilman päästöjen kasvua toisaalla. Kansallinen hiilidioksidivero asetettuna päästöoikeuksien hinnan päälle (ns. päästökaupan lattiahintaa) tarjoaa myös Suomelle mahdollisuuden edistää yksin tai

yhdessä muiden Pohjoismaiden kanssa vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitetta sekä turpeen käytön hallittua alasajoa, jos päästöoikeuden hintakehitys ei tähän johda. Kansallinen hiilidioksidivero nostaa kansallisia kustannuksia lyhyellä aikavälillä, mutta voi johtaa kilpailuun pidemmällä aikavälillä.

7.2 Tapaustarkastelut energiaverojen muutosten vaikutuksista

Laskennallisten mallitarkasteluiden lähtökohtana oli vuoden 2019 alussa voimassa olleet energiaverojen tasot, mukaan lukien lämmitys- ja liikenteen polttoaineiden sekä sähkökäytön valmisteverot. Laskelmissa verotasot pysyvät siten reaalisesti ennallaan (verotaso vuoden 2019 euroina). Lisäksi tarkasteluissa huomioitiin vuoden 2019 alun tilanteen mukaiset yritystuet, mukaan lukien turpeen ja CHP-tuotannon alhaisemmat energiaverot. Liikenteen polttoaineiden energiaverot oletettiin pysyvän vuoden 2019 tasolla kaikissa tarkasteluissa, koska liikenteen energiaverotarkastelut eivät olleet mukana tässä työssä. Päästöoikeuden hinnan oletettiin pysyvän nykytasolla, eli 25 €/t CO₂ lukuun ottamatta yhtä laskentatapausta, jossa tarkasteltiin nousevan päästöoikeuden hinnan vaikutuksia. Mallitarkasteluiden perusteella arvioitiin vaikutuksia energijärjestelmään ja kasvihuonekaasupäästöihin sekä valtion energiaverokertymiin, kun lämmön tuotannon polttoaineveroja, sähköveroja ja/tai tukia on muutettu.

Alla esitetyjä vaihtoehtoisia laskentatapauksia (ks. Taulukko 10) verrattiin ns. vertailuskenaarioon (WAM), jossa oli huomioitu energia- ja ilmastostrategian, keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma sekä toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045 tavoitteet ja päätökset. ml. kivihilestä luopuminen vuonna 2029 ja EU:n asettama taakanjakosektorin KHK-päästötavoite vuonna 2030. Vertailuskenaariossa ei oletettu kiristyvää ilmastopolitiikkaa vuoden 2030 jälkeen paitsi liikenteessä, jossa lähtökohtaisesti oletettiin saavutettavan 0-päästöt vuonna 2045.

Mallitarkastelujen perusteella laskentatapauksessa, jossa lämmityspolttoaineiden käytön verotuet (l. turve ja CHP-tuotanto, energiaverojen palautukset lämmityspolttoaineiden osalta) saavutettiin suurimmat päästövähennykset, eli 2,7 Mt CO₂ ekv. KHK-päästövähennys vuonna 2030 ja 9,3 Mt CO₂ ekv. vuonna 2050 vertailuskenaarioon verrattuna (laskentatapaus WAM+A). Sen sijaan sähköverojen alentamisella ja energiaverojen palautuksen poistolla sähköveron osalta olisi melko vähäiset suorat vaikutukset Suomen energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöihin (laskentatapaus WAM+B). Lämmityspolttoaineverotukien poisto, sähköveron alentaminen ja energiaverojen palautusten poisto sähköveron osalta eivät yhdessäkään kuitenkaan riittäneet tavoitteeksi asetetun 95 % KHK-päästöttömyyden saavuttamiseen vuonna 2040 (laskentatapaus WAM+C), vaan ainoastaan laskentatapauksissa, joissa lämmityspolttoaineiden verotukien poiston lisäksi polttoaineiden hiilidioksidiverokomponenttia nostettiin reaalisesti 3 % vuodessa (laskentatapaus AK) tai vaihtoehtoisesti päästöoikeuden hintaa nostettiin EU:n referenssiskenaarion mukaisesti tasolle noin 35 €/t CO₂ vuonna 2030 ja 85 €/t CO₂ vuonna 2050 (lasken-

tatapaus WAM+LC). Alla (**Taulukko 10**) on esitetty yhteenveto eri laskentatapausten vaikutuksista KHK-päästöjen vähentymiseen vuonna 2030 ja 2050 vertailuskenaarioon (WAM) verrattuna.

Taulukko 10. Yhteenveto laskentatapausten vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentymiseen WAM-skenaarioon verrattuna vuonna 2030 ja 2050 (Mt CO₂ ekv.).

	WAM+A ¹⁾	WAM+B ²⁾	WAM+C ³⁾	WAM+AK ⁴⁾	WAM+LC ⁵⁾
2030	2,7	0,9	2,7	3,0	4,9
2050	9,3	3,5	9,9	10,5	13,9

¹⁾A: Lämmityspolttoaineiden verotukien poisto (turve, CHP, energiaverojen palautukset lämmityspolttoaineiden osalta)

²⁾B: Sähköveron alentaminen ja energiaverojen palautusten poistaminen sähköveron osalta

³⁾C: A+B vero- ja tukimuutokset yhdessä

⁴⁾AK: kuten A, mutta lisäksi polttoaineiden hiilidioksidiverokomponenttia nostetaan reaalisesti 3 % vuodessa

⁵⁾LC: kuten C, mutta lisäksi nostetaan päästöoikeuden hintaa EU:n referenssiskenaarion mukaisesti

Turpeen käytön merkittävä pieneneminen kaikissa muissa, paitsi sähköverolaskentatapauksessa B, johti suurimpaan KHK-päästövähennykseen vertailuskenaarioon verrattuna. Verrattaessa turpeen käyttöä vuoden 2010 tasoon se puolittui kaikissa laskentatapauksissa vuoteen 2030 mennessä, mukaan lukien vertailuskenaario, ja polttoaineveromuutostapauksissa laski jopa 56-73 %. Sen sijaan, jos verrataan vuoden 2018 turpeen käyttöön, se puolittui kaikissa muissa, paitsi vertailuskenaariossa ja B-tapauksessa, joissa polttoaineverot ja -tuet pidettiin nykyisellään. Laskentatulosten perusteella nykyiset polttoaineverot ja 2 veroluokan sähköverojen lasku EU:n minimitasolle eivät ohjaisi turpeen käytön puolittamiseen vuoteen 2030 mennessä, kun verrataan vuoden 2018 tilastoihin.

Maatalouden polttoaineiden käyttöön liittyvien tukien poistolla oli mallilaskelmien mukaan merkittävät vaikutukset energiaperäisiin hiilidioksidipäästöihin. Vuonna 2030 verotukien poistolla oli vähäinen vaikutus hiilidioksidipäästöihin, mutta vuonna 2040 päästöt laskivat alle puoleen WAM-skenaarioon verrattuna. Laskelmien perusteella nykyinen verotuki hidastaisi pitkällä aikavälillä maatalouden energiaperäisten KHK-päästöjen vähentymistä.

Sähköverojen alentaminen teollisuus- ja palvelusektorilla aiheutti laskelmissa reilun 550 M€ valtion tulojen aleneman. Tästä noin 2/3 koostuu palvelusektorin siirrosta 2 veroluokkaan. Veron alentaminen myös kotitalouksien osalta vähensi verokertymää yli miljardin ilman näkyviä myönteisiä lisävaikutuksia päästöissä. Tulosten perusteella polttoaineverojen tukien poisto ja korotus kasvattaisi valtion tuloja vuonna 2020, mutta sen jälkeen fossiilisten polttoaineiden käyttö ja vastaavasti polttoaineverokertymät laskevat lähelle vertailuskenaarion tasoa, joten polttoaineverojen korotuksella olisi vain lyhyen aikavälin vaikutukset valtion verotuloihin mutta myönteiset vaikutukset päästöihin puolestaan vahvistuisivat pidemmällä aikavälillä.

7.3 Hiilineutraalisuuden saavuttaminen

Hiilineutraalisuuden saavuttaminen vuoteen 2045 mennessä esitetyissä laskenta-tapauksissa edellyttää, että KHK-päästöjä kompensoidaan maankäyttösektorin nettonieluilla noin 25 Mt CO₂ ekv. Vuonna 2017 Suomen maankäyttösektorin nettonielu oli Tilastokeskuksen (2019) mukaan 20,4 Mt, mikä vastaa pidemmän aikavälin keskiarvoista nettonielua. Vertailuskenaariossa, jossa oli huomioitu nykytoimet, hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen edellyttäisi vastaavasti noin 30 Mt CO₂-kompensaatiota nieluilla, eli joko maankäyttösektorin nettonielun tulisi kasvaa nykyisestä 10 Mt tai päästöjä tulisi vähentää merkittävästi enemmän kuin mitä laskelmissa on oletettu. Hallitusohjelmassa hiilineutraalisuustavoite on asetettu vuodelle 2035 ja se edellyttää sekä merkittävää päästövähennystä ja että kasvavia nieluja.

On selvää, että esitettyihin mallitarkasteluihin ja laskelmiin liittyy merkittäviä epävarmuuksia erityisesti pitkällä aikavälillä. Hiilineutraalisuuden saavuttaminen edellyttää paitsi energiantuotannon irtautumista fossiilisista polttoaineista myös teollisuuden prosessiperäisten päästöjen merkittävää laskua, esitettyjen liikenteen hiilittömyystavoitteiden toteutumista vuonna 2045 sekä maatalouden ja maankäyttöön liittyvien KHK-päästöjen vähentämistä. Mikäli merkittävä KHK-päästöjen vähentäminen ei toteudu kaikilla KHK-päästöjä tuottavilla sektoreilla, päästöjä tulisi kompensoida enenemässä määrin maankäyttösektorin nettonieluilla. Toisaalta esitetyt metsäteollisuuden investoinnit pikemminkin lisääisivät metsien käyttöä ja siten pienentäisivät nettonieluja, joten epävarmuus hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseksi myös kasvaisi.

Investoijien ja muiden markkinoilla toimijoiden näkökulmasta olisi toivottavaa, että kotimaisella energia- ja ilmastopolitiikalla luotaisiin pitkäjänteinen, hallituskausien yli menevä maisema tulevaisuuden tavoitteista ja kehityksestä. Energiaverot ovat yksi keskeinen kansallinen ohjauskeino, jonka järkevällä yhteensovittamisella muuhun politiikkaan voidaan edistää siirtymistä hiilineutraaliin yhteiskuntaan kustannustehokkaasti ja ympäristön näkökulmasta kestäväällä tavalla. Myös sosiaalinen oikeudenmukaisuus on tärkeää huomioida, kun energiaverotusta sovitetaan yhteen muun politiikan kanssa. Yhteisten ja hyväksytyjen hiilineutraalisuuspolkujen muodostaminen on tässä kehityksessä keskeistä. Toisaalta myös yllätyksille on jätettävä tilaa, joten kaikkea ei voi päättää nykytiedon valossa, vaan politiikkaa on tarpeen hienosäätää myös pitkällä aikavälillä.

Kirjallisuusviitteet

- Aatola, P., Ollikainen M. ja Ollikka, K. 2008. Kolme vuotta EU:n päästökauppaa: kokemuksia ja luotausta tulevaan. Kansantaloudellinen aikakauskirja 104: 81-95.
- Aatola P., Marjamaa, E. Ollikainen, M and Ollikka, K. 2013. Euroopan unionin päästöoikeuskauppa ja ilmastopolitiikka. Kansantaloudellinen aikakauskirja 109: 275-288.
- Bruvoll, A. and Larsen, B.M. 2004. Greenhouse gas emissions in Norway: do carbon taxes work? Energy Policy 32(4), 493-505.
- Calderón, S., Alvarez, A.C., Loboguerrero, A.M., Arango, S., Calvin, K., Kober, T., Daenzer, K. and Fisher-Vanden, K. 2016. Achieving CO₂ reductions in Colombia: Effects of carbon taxes and abatement targets. Energy Economics 56, 575-586.
- Calel, R. and Dechezleprêtre, A. 2016. Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market. Review of Economics and Statistics, 98(1), 173-191.
- Change Partnership, ETS Market Stability Reserve, <http://www.changepartnership.org/wp-content/uploads/2014/10/MSR-Commission-proposal.0011.jpg>
- Danske Klimarådet 2017. The Inflated EU Emissions Trading System.
- Di Cosmo, V. and Hyland, M. 2013. Carbon tax scenarios and their effects on the Irish energy sector. Energy Policy, 59, 404-414.
- Energiavirasto 2019. Päästökaupan julkaisut (Toimialakohtaiset päästötiedot 2013-2018 excel) <https://energiavirasto.fi/paastokaupan-julkaisut>
- EC 2016. EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. Brussels: European Commission.
- Euroopan unionin parlamentti ja neuvosto, päätös, 2015. <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-32-2015-INIT/fi/pdf>
- Euroopan unionin parlamentti ja neuvosto, päätös, 2018. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CONSIL:PE_63_2017_INIT&qid=1537872609487&from=FI
- European Commission, EU ETS Handbook, 2015. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf

- Euroopan komissio a, https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_fi
- EY 2003. Neuvoston direktiivi 2003/96/EY, annettu 27.10.2003 energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan yhteisön kehyksen uudistamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0096&from=FI>
- EY 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY, annettu 23.4.2009 uusiutuviesta lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=fi>
- Finlex 1994. Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta. 29.12.1994/1472. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19941472>
- Finlex 1996. Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta. 30.12.1996/1260. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260>
- Finlex 2006. Laki maataloudessa käytettyjen eräiden energiatuotteiden valmisteveron palautuksesta. 21.7.2006/603. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060603>
- Finlex 2015. Ilmastolaki. 22.5.2015/609. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>
- Finnsementti 2018. Ympäristöraportti 2018. https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/2018/09/Finnsementti_ymparistoraportti_2018.pdf
- Fisher C and Böhringer C. 2019. Emissions floor price options for EU member states. Paper presented at the American Economic Association conference. <https://www.aeaweb.org/conference/2019/preliminary/paper/ik4aFDtB>
- Hahn, R. W. 1984. Market power and transferable property rights. The Quarterly Journal of Economics, 99(4), 753-765.
- Harju, J., Hokkanen, T., Laukkanen, M., Ollikka, K. and Tamminen, S. 2016. Vuoden 2011 energiaverouudistuksen arviointia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 61/2016.
- Helen 2019. Helenin sidosryhmätillaisuus 29.4.2019. Kuinka kivihiili korvataan lämmöntuotannossa Helsingissä? Helen Oy:n Vastuullisuus-sivuilla julkaistu Marina Galkin-Aallon blogi kalvosarjalinkkeineen. <https://www.helen.fi/yri-tyks/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2019/postkivihiili/>

- Helsinki 2019. Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma. Helsingin kaupungin keskushallinnon julkaisuja 2018:4. Julkaistu 10.12.2018, päivitetty 30.1.2019.
- Jaraite, J. and Di Maria, C. 2012. Efficiency, productivity and environmental policy: A case study of power generation in the EU. *Energy Economics* 34, 1557–1568
- Johansson, B. 2000. The carbon tax in Sweden. *Innovation and the Environment* 85.
- Kahneman, D., Knetsch, J. L. and Thaler, R. H. 1990. Experimental tests of the endowment effect and the Coase theorem. *Journal of political Economy*, 98(6), 1325-1348.
- Koljonen, T. and Lehtilä, A. 2015. Modelling Pathways to a Low Carbon Economy for Finland. In: Giannakidis G et al (eds) *Informing Energy and Climate Policies Using Energy Systems Models*, Lecture Notes in Energy, vol. 30. Springer, Cham.
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Asikainen, A., Lanki, T., Anttila, P., Hildén, M., Honkatukia, J., Karvosenoja, N., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Lindroos, T. J., Regina, K., Salminen, O., Savolahti, M., Siljander, R. and Tiittanen, P. 2017. Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017 http://vnk.fi/documents/10616/3866814/21_Energia-+ja+ilmastostrategian+vaikutusarviot+Yhteenvetoraportti/40df1f5f-c99c-47d1-a929-a4c825f71547?version=1.0
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Ollikainen, M., Lanki, T., Asikainen, A., Ekholm, T., Hildén, M., Honkatukia, J., Lehtilä, A., Saarinen, M., Seppälä, J., Similä, L., Tiittanen, P. 2017. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 57/2017. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80284/57_Keskipitkan%20aikavalin%20ilmastopolitiikan%20suunnitelman%20vaikutusarviot.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Similä, L., Honkatukia, J., Hildén, M., Reihunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P., Vainio, T. 2019. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-656-0>
- Maailmanpankki 2017. Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. Washington, DC: World Bank.

- Känkänen, J., Patronen, J., Vilén, K. ja Saarela, J. 2017. Päästökauppadirektiivin uudistamisen vaikutukset Suomen energiasektoriin ja teollisuuteen, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56.
- Kök, A.G., Shang, K. and Yücel, Ş. 2016. Impact of electricity pricing policies on renewable energy investments and carbon emissions. *Management Science* 64(1), 131-148.
- Laukkanen, M. and Maliranta, M. 2019. Yritystuet ja kilpailukyky. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:33. 99 p.
- Laukkanen, M., Ollikka, K. and Tamminen, S., 2019. The impact of energy tax refunds on manufacturing firm performance: evidence from Finland's 2011 energy tax reform. *Publications of the Government's analysis, assessment and research activities* 2019:32.
- Lin, B. and Li, X. 2011. The effect of carbon tax on per capita CO₂ emissions. *Energy Policy* 39(9), 5137-5146.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M. and Virkkunen, M. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita – Research Notes 2564.
- Lehtilä, A. and Koljonen, T. 2018. Pathways to Post-fossil Economy in a Well Below 2°C World. In: *Lect. Notes Energy*, Vol. 64, George Giannakidis et al. (Eds): *Limiting Global Warming to Well Below 2°C: Energy System Modelling and Policy Development*.
- Loulou, R. 2008. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part II: Mathematical formulation. *Computational Management Science*, 5(1–2):41–66.
- Loulou, R. and Labriet, M. 2008. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure. *Computational Management Science* 5(1–2), 7–40.
- Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A., and Goldstein, G. 2016. Documentation for the TIMES Model. *Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP)*. <https://iea-etsap.org/index.php/documentation>
- LVM 2018. Liikenne- ja viestintäministeriö. Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 13/2018. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161210/LVM_13_18_Toimenpideoh-

[jelma%20hiilettomaan%20liikenteeseen%202045%20Liikenteen%20ilmastopolitiikan%20tyoryhman%20loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/energia-ja-logistiikka/jelma%20hiilettomaan%20liikenteeseen%202045%20Liikenteen%20ilmastopolitiikan%20tyoryhman%20loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Maailmanpankki and Ecofys 2018. State and Trends of Carbon Pricing 2018. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29687> .
- Marcu, A., Alberola, E., Caneill, J-Y., Mazzoni, M., Schleicher, S., Stoefs, W., Vailles, C. and Vangenechten, D. 2019. 2018 State of the EU ETS Report.
- Mattinen, M., Heljo, J. and Savolahti, M. 2016. Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016.
- Meng, S., Siriwardana, M. and McNeill, J. 2013. The environmental and economic impact of the carbon tax in Australia. *Environmental and Resource Economics* 54(3), 313-332.
- Metsäteollisuus 2018. Metsäteollisuuden tehdaspolttoaineet 2017. <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/energia-ja-logistiikka/>
- MMM 2015. Maa- ja metsätalousministeriö. Kansallinen metsästrategia 2025. Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja metsätalousministeriö 6/2015
- Montgomery, W.D. 1972. Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs. *Journal of Economic Theory* 5, 395-418.
- Murray, B. and Rivers, N. 2015. British Columbia's revenue-neutral carbon tax: A review of the latest "grand experiment" in environmental policy. *Energy Policy* 86, 674-683.
- OECD 2018a. Effective Carbon Rates 2018: Pricing Carbon Emissions Through Taxes and Emissions Trading. OECD Publishing, Paris.
- OECD 2018b. Taxing Energy Use 2018: Companion to the Taxing Energy Use Database. OECD Publishing, Paris.
- OECD 2018c. Taxing Energy Use 2018: Country specific notes and energy tax profiles, Finland. OECD Publishing, Paris. <https://www.oecd.org/tax/tax-policy/taxing-energy-use-2018-finland.pdf>
- On Climate Change Policy. Emissions reductions from carbon pricing can be big, quick and cheap, https://onclimatechange.org/files.wordpress.com/2018/01/cps-effect-chart_18030_image001.png

- Pahle, M., Burtraw, D., Tietjen, O., Flachsland, C. and Edenhofer, O. 2018. Unilateral Action under an Emissions cap. Paper presented at American Economic Association conference. <https://www.aeaweb.org/conference/2019/preliminary/paper/ik4aFDtB>
- Palmer, K., Paul, A. and Keyes, A. 2018. Changing baselines, shifting margins: How predicted impacts of pricing carbon in the electricity sector have evolved over time. *Energy Economics*, 73, 371-379.
- Perino, G. and Willner, M. 2016. Procrastinating Reform: The Impact of the Market Stability Reserve on EU ETS, *Journal of Environmental Economics and Management* 80: 37-52.
- Perino, G. and Willner, M. 2018. EU-ETS Phase IV: allowance prices, design choices and the market stability reserve, *Climate Policy* 17(7), 936-946.
- Perino, G. 2018. New EU ETS Phase 4 rules temporarily puncture waterbed, *Nature Climate Change* 8, 262-264.
- Perino, G. 2019. The impact of the Market Stability Reserve on EU ETS, Sitra Workshop, presentation. <https://media.sitra.fi/2019/01/21095508/grischa-perino20022019helsinki.pdf>
- Pöyry 2016. Suomen metsäteollisuus 2015–2035, Loppuraportti. Pöyry Management Consulting, 2016.
- Pöyry 2018. Kivihiilen käytön kieltämisen vaikutusten arviointi. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle.
- Sen, S. and Vollebergh, H. 2018. The effectiveness of taxing the carbon content of energy consumption. *Journal of Environmental Economics and Management* 92, 74-99.
- Sipilä, E., Kiuru, H., Jokinen, J., Saarela, J. Tamminen, S., Laukkanen, M., Palonen, P., Nylund, N.-O. and Sipilä, K. 2018. Biopolttoaineiden kustannustehokkaat toteutuspolut vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 63/2018.
- Sitra 2018. McKinsey-raportti.
- SSAB 2019. HYBRIT - Toward fossil-free steel. <https://www.ssab.com/company/sustainability/sustainable-operations/hybrit>
- Stavins, R. N. 1995. Transaction costs and tradeable permits. *Journal of environmental economics and management*, 29(2), 133-148.

- Sumner, J., Bird, L. and Dobos, H. 2011. Carbon taxes: a review of experience and policy design considerations. *Climate Policy* 11(2), 922-943.
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2017. Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-5072. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 17.5.2019].
- The New York Times 2019. These countries have prices on carbon. Are they working? Retrieved from <https://www.nytimes.com/interactive/2019/04/02/climate/pricing-carbon-emissions.html>
- Tol, R. S. 2011. The Social Cost of Carbon. *Annual Review of Resource Economics*, 3(1), 419– 443.
- Tol, R.S.J. 2018. The Economic Impacts of Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy* 12(1), 4-25.
- Tekes 2017. Tulevaisuuden energia 2030...2050. Tekesin katsaus 332/2017.
- TEM 2019. Työ- ja elinkeinoministeriön tiedote 27.3.2019. Uusiutuvan energian tarjouskilpailusta tukea seitsemälle hankkeelle – hyväksytyjen tarjousten keskihinta 2,5 euroa/MWh. https://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/uusiutuvan-energian-tarjouskilpailusta-tukea-seitsemalle-hankkeelle-hyvaksytyjen-tarjousten-keskihinta-2-5-euroa-mwh
- Tilastokeskus 2019. Suomen kasvihuonekaasupäästötilastot (<https://www.stat.fi/til/khki/kas.html>) ja Suomen energiatilastot (<https://www.stat.fi/til/ene.html>).
- Tilastokeskus 2019. StatFin-tilastotietokanta. <http://stat.fi/tup/statfin/index.html>
- Trotignon, R., Gonand, F., de Perthuis, C., 2014. EU ETS reform in the Climate-Energy Package 2030: First lessons from the ZEPHYR model. (Policy brief No. 2014-01). Climate Economics Chair, Paris.
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017.
- VN 2019. Valtioneuvosto. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaaliesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma 6.6.2019. Valtioneuvoston julkaisuja 2019-23. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161662/Osallistava_ja_osaava_Suomi_2019_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Verohallinto 2019. Energiaverotus. <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotu/>

- VM 2019. Valtiovarainministeriö. Energiaverotus. <https://vm.fi/energiaverotus>
- Wood, P. and Jotzo, F. 2011. Price floors for emissions trading. *Energy Policy* 39, 1746-1753.
- Yin, G., Zhou, L., Duan, M., He, W. and Zhang, P. 2018. Impacts of carbon pricing and renewable electricity subsidy on direct cost of electricity generation: A case study of China's provincial power sector. *Journal of Cleaner Production* 205, 375-387.
- YM 2017. Ympäristöministeriö. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopoliittikan suunnitelmasta vuoteen 2030 - Kohti ilmastoviisasta arkea. Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra_21_2017.pdf?sequence=1

Liite A: Mallitarkastelujen tuloksia

Taulukko A1. Primaarienergian kokonaiskulutus (TPES) energialähteittäin (PJ) tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

	2010 PJ	2020						2030					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		Sähkön nettotuonti	38	9	9	9	9	9	9	3	-13	-13	-6
Vesi- ja tuulivoima	48	75	75	75	75	75	75	93	108	107	108	108	107
Ydinenergia	249	381	381	381	381	381	381	465	465	465	465	465	465
Puupolttoaineet	190	240	244	240	244	244	244	270	267	263	266	268	267
Mustalipeä	136	172	172	172	172	172	172	173	173	173	173	173	173
Öljytuotteet	395	306	307	301	307	312	306	240	227	222	226	234	215
Maakaasu	161	127	120	127	120	120	120	97	96	104	96	90	91
Turve	95	60	51	57	51	51	45	47	27	43	27	24	26
Hiihi	193	107	123	112	123	123	123	70	73	73	73	72	68
Muut	27	51	53	51	53	46	53	73	86	74	81	80	97
Yhteensä	1530	1527	1534	1526	1534	1534	1528	1531	1509	1511	1508	1506	1506
	2010 PJ	2040						2050					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		Sähkön nettotuonti	38	-1	12	11	14	14	5	6	9	2	2
Vesi- ja tuulivoima	48	129	128	128	128	128	130	144	144	158	167	147	175
Ydinenergia	249	411	411	411	411	411	411	326	303	303	303	303	303
Puupolttoaineet	190	279	296	270	296	296	289	285	305	283	300	307	306
Mustalipeä	136	172	172	172	172	172	172	173	173	173	173	173	173
Öljytuotteet	395	179	140	144	135	144	140	140	112	103	106	117	95
Maakaasu	161	92	81	93	82	69	74	101	75	92	74	63	58
Turve	95	65	25	60	25	25	19	64	18	62	18	18	12
Hiihi	193	49	48	47	47	46	43	24	21	21	21	20	9
Muut	27	96	107	82	109	114	131	108	129	97	121	133	133
Yhteensä	1530	1471	1420	1417	1419	1419	1414	1370	1290	1294	1286	1289	1281

Taulukko A2. Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt (Mt CO₂-ekv.) tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

	2010 Mt	2020						2030					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		Energiantuotannon CO ₂	32,0	15,2	15,5	15,3	15,5	15,5	15,5	7,3	5,5	7,1	5,4
Muu CO ₂ energiasektorilta	6,9	7,5	7,8	7,7	7,8	7,9	7,7	7,3	7,6	7,6	7,7	7,8	7,4
Muu CO ₂ teollisuussektoreilta	7,5	7,8	7,8	7,7	7,8	7,8	7,8	8,5	8,5	8,5	8,5	8,3	8,3
Liikenteen CO ₂	12,6	10,5	10,2	10,2	10,2	10,5	10,2	6,8	5,5	5,5	5,5	5,9	4,7
Muut CO ₂ -lähteet	5,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	2,5	2,4	2,6	2,4	2,4	2,4
Muiden kaasujen päästöt	11,6	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,3	8,2	8,3	8,3	8,3	8,3	8,1
Yhteensä	75,9	54,7	54,9	54,5	54,9	55,3	54,8	40,5	37,9	39,6	37,8	37,5	35,7
	2010 Mt	2040						2050					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		Energiantuotannon CO ₂	32,0	8,4	3,1	7,8	3,1	2,6	2,1	8,2	2,2	8,0	2,1
Muu CO ₂ energiasektorilta	6,9	5,3	5,8	6,0	5,9	5,7	5,5	2,5	3,3	3,8	3,4	3,1	2,5
Muu CO ₂ teollisuussektoreilta	7,5	9,2	8,4	8,2	8,1	8,1	7,7	8,8	7,3	6,9	6,8	7,3	5,0
Liikenteen CO ₂	12,6	3,9	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	2,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Muut CO ₂ -lähteet	5,1	1,5	0,7	1,6	0,7	0,7	0,7	1,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4
Muiden kaasujen päästöt	11,6	6,9	6,8	6,9	6,8	6,8	6,7	6,1	6,0	6,0	6,0	5,9	5,9
Yhteensä	75,9	35,1	26,3	31,9	26,0	25,2	24,2	29,4	20,1	25,9	19,6	19,0	15,5

Taulukko A3. Kasviuonekaasujen päästöt tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa (Mt CO₂-ekv.) päästökaupparektorilla ja ei-päästö-kaupparektoreilla kaasuiittain.

	2010 Mt	2020						2030					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		EiPK-CO ₂	32,0	17,5	17,3	17,2	17,3	17,6	17,3	13,4	11,9	12,0	11,8
EiPK-CH ₄	6,9	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	3,3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4
EiPK-N ₂ O	7,5	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	4,3	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
EiPK-FGS	5,1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
PKS+AIR ¹	11,6	27,0	27,5	27,3	27,4	27,5	27,4	19,3	18,0	19,5	18,0	17,3	16,9
Yhteensä	75,9	54,7	54,9	54,5	54,9	55,3	54,8	40,5	37,9	39,6	37,8	37,5	35,7
	2010 Mt	2040						2050					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		EiPK-CO ₂	32,0	9,6	6,0	7,0	5,6	6,0	6,3	7,6	4,7	4,8	4,0
EiPK-CH ₄	6,9	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
EiPK-N ₂ O	7,5	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1
EiPK-FGS	5,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PKS+AIR ¹	11,6	18,8	13,7	18,1	13,7	12,6	11,4	15,8	9,5	15,2	9,6	8,4	5,5
Yhteensä	75,9	35,1	26,3	31,9	26,0	25,2	24,2	29,4	20,1	25,9	19,6	19,0	15,5

Taulukko A4. Energiantuotannon CO₂-päästöt (Mt) tarkastelluissa laskentavaihtoehdoissa.

	2010 Mt	2020						2030					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		Energiantuotannon CO ₂	13,4	4,6	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0	0,5	0,8	0,7	0,7
Muu CO ₂ energiasektorilta	2,1	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Muu CO ₂ teollisuussektoreilta	6,7	4,6	4,2	4,5	4,2	4,2	4,2	1,7	1,6	1,8	1,6	1,5	1,5
Muut CO ₂ -lähteet	9,7	5,3	4,3	5,0	4,3	4,3	4,3	4,6	2,5	4,1	2,5	2,2	2,4
Muiden kaasujen päästöt	0,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Yhteensä	32,0	15,8	15,9	15,7	15,9	15,9	15,9	7,8	5,9	7,6	5,9	5,4	5,2
	2010 Mt	2040						2050					
		WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC	WAM	WAM+A	WAM+B	WAM+C	WAM+AK	WAM+LC
		Energiantuotannon CO ₂	13,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2
Muu CO ₂ energiasektorilta	2,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Muu CO ₂ teollisuussektoreilta	6,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	1,0	0,7	0,9	0,8	0,5	0,3
Muut CO ₂ -lähteet	9,7	6,5	1,4	5,9	1,3	0,9	0,5	6,5	0,8	6,4	0,8	0,3	0,0
Muiden kaasujen päästöt	0,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Yhteensä	32,0	8,8	3,6	8,2	3,5	3,0	2,5	8,4	2,4	8,2	2,4	1,6	1,2

Nimeke	Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa Vero-ohjauksen arviointia hiilineutraalisuustavoitteen näkökulmasta
Tekijä(t)	Tiina Koljonen, Marita Laukkanen, Markku Ollikainen, Antti Lehtilä, Essi Eerola, Göran Koreneff, Evangelos Kyritsis, Tomi J. Lindroos, Kimmo Ollikka, Esa Pursiheimo, Miika Rämä ja Hanne Siikavirta
Tiivistelmä	<p>Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa -selvityksen tavoitteena oli arvioida, miten energiaverotusta, päästökauppaa ja muita ilmastopolitiikan ohjauskeinoja yhteen sovittamalla tuetaan Suomen siirtymistä hiilineutraaliuteen vuoteen 2045 mennessä siten, että energiantuotanto olisi 95 prosenttisesti päästötön vuonna 2040. VTT:n, VATT:n ja Helsingin yliopiston laatimassa raportissa tarkastellaan päästöohjauksen sääntelyn nykytilaa, nykyisen verorakenteen ja ohjauksen riittävyttä, muiden ohjauskeinojen toimivuutta sekä arvioidaan, mitkä olisivat kustannustehokkaat ja vaikuttavimmat toimet tulevaisuudessa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Työn tarkastelut rajattiin sähkön ja lämmöntuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen mukaan lukien yhdyskuntien ja teollisuuden keskitetty energiantuotanto. Tarkasteluissa olivat mukana energiaverot, energiatuet ja energiaverojen palautukset. Tarkasteluihin ei kuitenkaan sisällynyt liikennepolttoaineiden verotus.</p> <p>Keskeisinä johtopäätöksinä voidaan esittää:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nykytoimilla ei saavuteta tehtävänannossa asetettua hiilineutraalisuustavoitetta vuodelle 2045 eikä energiantuotannon 95 prosenttista päästöttömyyttä vuonna 2040. Lisäksi tulee huomioida, että nykytoimien osalta mallilaskelmat vehtiin reaalisisä vuoden 2019 euroina, joten lähtökohtana oli, että nykyisiinkin verotasoihin tehtäisiin inflaatiokorjaukset. • Polttoaineverojen yhdenmukaistamisella (l. turpeen ja CHP-verotukien sekä teollisuuden ja maatalouden energiaverotukien poisto fossiilisten polttoaineiden osalta) saavutetaan suurimmat KHK-päästöjen vähennykset. Jos päästöoikeuden hinta on korkeintaan 25 €/t CO₂ tason, energiantuotannon 95 % päästöttömyystavoitteen saavuttaminen edellyttää lisäksi asteittaista polttoaineverojen korottamista tai muita päästöohjaustoimia, kuten päästöoikeuskaupan lattiahintaa. • Polttoaineverojen yhdenmukaistamisella ja energiaverojen palautusten poistolla on myös positiivinen vaikutus valtion verotuottoihin nykytasoon verrattuna vuoteen 2030 asti. Tämän jälkeen verotuotot laskevat, kun fossiiliset polttoaineet korvautuvat muilla energialähteillä. • Teollisuuden, kaupan, palveluiden ja maataloussektorin sähköveron alentamisella EU:n asettamalle minimitasolle saavutettiin vain vähäiset suorat vaikutukset KHK-päästöihin, kun valtiontulojen alenema oli yli 0,5 mrd €.
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8714-8 ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu) DOI: 10.32040/2242-122X.2019.T359
Julkaisuaika	Lokakuu 2019
Kieli	Suomi
Sivumäärä	101 s. + liitt. 5 s.
Projektin nimi	
Rahoittajat	Valtiovarainministeriö
Avainsanat	Energiavero, valmistevero, polttoainevero, energiatuki, hiilineutraalius, päästöohjaus
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111, https://www.vtt.fi/

Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa

Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa -selvityksen tavoitteena oli arvioida, miten energiaverotusta, päästökauppaa ja muita ilmastopolitiikan ohjauskeinoja yhteen sovittamalla tuetaan Suomen siirtymistä hiilineutraaliuteen vuoteen 2045 mennessä siten, että energiantuotanto olisi 95 prosenttisesti päästötön vuonna 2040. VTT:n, VATT:n ja Helsingin yliopiston laatimassa raportissa tarkastellaan päästöohjauksen sääntelyn nykytilaa, nykyisen verorakenteen ja ohjauksen riittävyttä, muiden ohjauskeinojen toimivuutta sekä arvioidaan, mitkä olisivat kustannustehokkaat ja vaikuttavimmat toimet tulevaisuudessa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Työn tarkastelut rajattiin sähkön ja lämmöntuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen mukaan lukien yhdyskuntien ja teollisuuden keskitetty energiantuotanto. Tarkasteluissa olivat mukana energiaverot, energiatuet ja energiaverojen palautukset. Tarkasteluihin ei kuitenkaan sisällynyt liikennepolttoaineiden verotus.

ISBN 978-951-38-8714-8
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-122X (Verkkajulkaisu)
DOI: 10.32040/2242-122X.2019.T359