



Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen

Tomi J. Lindroos | Suvi Monni | Juha Honkatukia | Sampo Soimakallio | Ilkka Savolainen

Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasu- päästöihin ja kansantalouteen

Tomi J. Lindroos, Sampo Soimakallio & Ilkka Savolainen
VTT

Suvi Monni
Benviroc Oy

Juha Honkatukia
VATT



ISBN 978-951-38-7623-4 (soft back ed.)
ISSN 2242-1211 (soft back ed.)

ISBN 978-951-38-7624-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2012

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT
PL 1000 (Vuorimiehentie 5, Espoo)
02044 VTT
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT
PB 1000 (Bergsmansvägen 5, Esbo)
FI-2044 VTT
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland
P.O. Box 1000 (Vuorimiehentie 5, Espoo)
FI-02044 VTT, Finland
Tel. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

Toimitus Marika Leppilahti

Kopijyvä Oy, Kuopio 2012

Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen

[Estimations of greenhouse reductions and economical effects of renewable energy in Finland].
Tomi J Lindroos, Suvi Monni, Juha Honkatukia, Sampo Soimakallio & Ilkka Savolainen.
Espoo 2012. VTT Technology 11. 121 s. + liitt. 6 s.

Tiivistelmä

Tietoja ilmastopolitiikkatoimien vaikuttavuudesta tarvitaan toimenpiteiden suunnitteluun, seurantaan ja edelleen kehittämiseen, mutta myös raportointiin EU:lle ja YK:n ilmastopimukselle. Tässä hankkeessa kehitettiin menetelmiä ilmastopolitiikan vaikuttavuuden arvioitiin ja sovellettiin niitä metsähakkeen, tuulivoiman, biokaasureaktorien ja liikenteen biopolttoaineiden tarkasteluissa.

Uusiutuvan energian käyttöä tukevilla politiikkatoimilla pyritään saavuttamaan EU:n uusiutuvan energian tavoite, mutta niillä on myös muita vaikutuksia. Tässä hankkeessa tarkasteltiin vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin, työllisyyteen, suoriin kustannuksiin valtiolle ja kansantalouteen Suomessa. Arviot tehtiin suhteellisen yksinkertaisilla menetelmillä ja laskentamalleilla.

Metsähakkeen käytön lisäämisellä saavutettaisiin suurimmat vuosittaiset päästövähennykset: 4,0–4,7 MtCO₂ vuoden 2010 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Tuulivoimalla saavutettava vastaava vuosittainen lisäpäästövähennys olisi arviolta 1,1–1,7 MtCO₂ ja biokaasureaktoreilla 0,06–0,20 MtCO₂-ekv. Liikenteen biopolttoaineiden lisäkäytöllä saavutettaisiin Suomen liikennesektorilla 1,1 MtCO₂:n vuosittainen vähennys vuoden 2010 tasosta vuoteen 2020 mennessä, mutta niiden tuotantoketjussa vapautuisi arviosta riippuen päästöjä 0,05–0,4 MtCO₂-ekv Suomessa ja 0,2–0,7 MtCO₂-ekv ulkomailla.

Metsähakkeen lisäkäytön suora työllisyyslisäys vuonna 2020 olisi arviolta vajaa 3 000 htv/vuosi vuoden 2010 tasoon verrattuna. Toiseksi suurin suora työllisyysvaikutus arvioitiin tuulivoimalle (n. 1 300 htv/vuosi vuonna 2020), mutta osa voimaloista ja niiden komponenteista valmistetaan ulkomailla ja työllisyyslisäys Suomessa jäänee jonkin verran arvioitua pienemmäksi. Biokaasureaktorien työllisyysvaikutus on suhteellisen pieni (100–150 htv/vuosi vuonna 2020) ja liikenteen biopolttoaineista arvioitiin vain metsätähdedieselin vaikutusta (500–850 htv/vuosi vuonna 2020), mikä saattaa olla osittain päällekkäinen metsähakkeen työllisyysvaikutuksen kanssa. Malliarvion mukaan kokonaisvaikutus työllisyyteen olisi yhteensä noin 3000 htv/vuosi vuonna 2020.

Valtio myönsi tukia tarkastelluille uusiutuvan energian muodoille noin 150 M€ vuonna 2010, ja vuoteen 2020 mennessä tukien arvioidaan nousevan 350 M€n tasolle. Metsähake on pelkkiä valtion kustannuksia tarkasteltaessa tehokkain tapa lisätä uusiutuvan energian määrää ja vähentää päästöjä. Metsähakkeen käyttötavoite on kuitenkin lähellä suurinta kustannustehokasta käyttömäärää. Valtion kustannusten kannalta tuulivoima on biokaasureaktoreita edullisempi molemmilla käytetyillä tarkastelutavoilla (uusiutuvan energian lisäys €/GWh ja päästöjen vähennys €/tCO₂). Valtion näkökulmasta liikenteen

biopolttoaineille asetettu jakeluvaikeus ja valmisteveroalennus ovat suhteellisen edullinen tapa lisätä uusiutuvan energian käyttöä, mutta kotimaisen liikenteen biopolttoaineiden tuotannon edistäminen saattaa edellyttää myös muiden tukimekanismien, kuten investointitukien käyttöä, joita ei huomioitu tässä selvityksessä.

Tarkasteltujen uusiutuvan energian politiikkatoimien yhteisvaikutuksesta kansantuote olisi malliarvion perusteella vuonna 2020 noin 0,2 % vertailuskenaariota korkeammalla tasolla ja investointivaiheen jälkeen kansantuote jäisi noin 0,1 % vertailuskenaariota korkeammalle tasolle. Jos energiateknologian vienti lähtisi kasvavien kotimarkkinoiden ansiosta kasvuun, positiiviset vaikutukset kansantuotteeseen olisivat suurempia.

Avainsanat renewable energy, policy evaluation, greenhouse gas reductions, employment, GDP, forest residues, wind power, biogas, biofuels

Estimations of greenhouse reductions and economical effects of renewable energy in Finland

[Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen]. **Tomi J Lindroos, Suvi Monni, Juha Honkatukia, Sampo Soimakallio & Ilkka Savolainen.** Espoo 2012. VTT Technology 11. 121 p. + app. 6 p.

Abstract

In this publication we developed methods to estimate the effectiveness of climate policy measures and applied the new methods to the renewable energy policies of Finland. We estimated effects of increasing the amount of produced and used forest residues, wind power, biogas and transportation biofuels on greenhouse gas emissions, employment, amount of paid subsidies and Finnish economy.

With current targets the increased use of forest residues would have the biggest effect on all studied areas. In general, the wind power would have the second largest effect and biogas only minor effects. Transport biofuels have mixed effects. While they are an efficient way to replace imported fossil fuels with domestic renewable production, the global greenhouse gas emissions may increase compared to fossil fuels.

Overall, the policy measures to increase these four renewable energy sources would increase the GDP of Finland 0.1% compared to reference scenario. The biggest factor in this increase is lesser imports of oil and bigger domestic production.

Keywords renewable energy, policy evaluation, green house gas reductions, employment, GDP, forest residues, wind power, biogas, biofuels

Esipuhe

Sektoritutkimuksen neuvottelukunta valitsi tämän hankkeen osaksi ilmastopolitiikkaa tukevaa tutkimuskokonaisuutta (SETUILMU). Hankkeen työnimenä oli Ilmastopolitiikka-toimien kustannustehokkuus, indikaattorit ja vaikutukset (IMPAKTI). Hanke toteutettiin VTT:n, Benviroc Oy:n ja VATT:n yhteishankkeena. Hankkeen koordinaattorina toimi VTT ja projektipäällikkönä tutkija Tomi J. Lindroos VTT:stä. Lisäksi työhön osallistuivat johtava asiantuntija Suvi Monni Benviroc Oy:stä, yksikönjohtaja Juha Honkatukia VATT:sta sekä erikoistutkija, tiimipäällikkö Sampo Soimakallio ja tutkimusprofessori Ilkka Savolainen VTT:stä.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Pekka Tervo (puheenjohtaja), Timo Ritonummi ja Hanne Siikavirta TEM:stä, Saara Jääskeläinen LVM:stä, Hanna Mattila ja Kaisa Pirkola MMM:stä, Mikael Hilden SYKE:stä, Markku Stenborg VM:stä ja Pirkko Heikinheimo YM:stä. Työn edetessä saimme lukuisia hyviä ehdotuksia ja kommentteja ohjausryhmältä. Lisäksi olemme saaneet apua lukuisissa hankkeen aihepiiriin liittyvissä kysymyksissä mm. muilta VTT:n tutkijoilta, Metlasta, muilta TEM:n ja YM:n virkamiehiltä, Tilastokeskuksesta, Tullista ja Itä-Suomen yliopistosta.

Haluamme kiittää kaikkia hankkeessa avustaneita tahoja ja henkilöitä. Tämä julkaisu on hankkeen loppuraportti ja siinä esitetyt näkemykset ovat tekijöiden omia, eivätkä siten perustu hanketta rahoittaneiden ministeriöiden virallisiin kantoihin.

Tekijät

Laajennettu tiivistelmä

Kansainväliset sopimukset edellyttävät ilmastopolitiikkatoimien vaikuttavuuden arviointia ja raportointia. Ilmastopolitiikkatoimien päästövähennysvaikutuksista ja -kustannuksista raportoidaan EU:n seurantajärjestelmäpäättökseen mukaisesti joka toinen vuosi ja YK:n ilmastosopimuksen (UNFCCC) mukaisesti noin neljän vuoden välein. Euroopan komission uudesta seurantajärjestelmäasetuksesta antaman ehdotuksen mukaan politiikkatoimista raportoitaisiin jatkossa vuosittain.

Kotimaassa myös Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian (TEM, 2008a) sekä Valtioneuvoston tulevaisuusselonteon (VN, 2009) toimeenpano edellyttävät seurantaa. Tietoja politiikkatoimien vaikutuksista tarvitaan myös toimenpiteiden suunnitteluun, seurantaan ja kehittämiseen.

Ilmastopolitiikkatoimien kustannustehokkuus, indikaattorit ja vaikutukset (IMPAKTI) -hankkeen tavoitteena oli tukea Suomen kansainvälistä raportointia ilmastopolitiikkatoimista ja niiden vaikuttavuudesta sekä tuottaa lisää tietoa politiikkatoimien kotimaiseen seurantaan. Hankkeessa kehitettiin menetelmiä ilmastopolitiikan vaikuttavuuden arvioitiin, ja niitä sovellettiin kotimaisten uusiutuvan energian tuotantotukien arvioinnissa. Keskeisiä vaatimuksia kehitetyille menetelmille oli mm. helppo ymmärrettävyys ja toistettavuus politiikkatoimien säännöllisessä arvioinnissa.

Hankkeessa arvioitiin metsähakkeen, tuulivoiman, biokaasureaktorien ja liikenteen biopoltoaineiden edistämisen vaikutuksia. Arviot tehtiin sekä vuoteen 2010 mennessä tapahtuneelle kehitykselle että tavoitteiden mukaiselle lisäkehitykselle vuoteen 2020 saakka. Tarkemmin arvioitiin vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin, työllisyyteen, valtion menoihin ja kansantalouteen. Arviot tehtiin sekä suhteellisen yksinkertaisilla menetelmillä että monimutkaisempina malliarvoina.

Hankkeessa kehitetyt menetelmät

Kehitetyt menetelmät perustuvat vaikutuskertoimiin, joiden avulla voidaan arvioida politiikkatoimien vaikutuksia. Vaikutuskertoimet pystyttiin valitsemaan siten, että niiden laskemiseen tarvittavia tietoja tilastoidaan jo muita tarkoituksia varten. Tämä helpottaa vastaavien arvioiden tekemistä merkittävästi. Lisäksi kaikissa tarkasteluissa on pyritty ottamaan huomioon lähtöarvojen epävarmuudesta ja vaihtoeht-

toisista laskentamenetelmistä johtuva tulosten vaihtelualue, jotta päättäjät voisivat varautua myös mahdollisiin muuttuviin olosuhteisiin ja laskentasääntöihin.

Vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin arvioitiin uusiutuvan energian korvaaman polttoaineen tai energiantuotannon päästöjen perusteella. Esimerkiksi metsähakkeen oletettiin korvaavan pääasiassa turvetta yhteistuotantolaitoksissa ja tuulisähkön fossiilista lauhdesähköntuotantoa sähkömarkkinoilla. Arvioidut korvausvaikutukset tiivistettiin vaikutuskertoimiksi, joilla voidaan kertoa joko käytetyn polttoaineen tai tuotetun sähkön ja lämmön määrä ja saada tuloksena arvio kasvihuonekaasuvaikutuksesta.

Kasvihuonekaasupäästövaikutuksia arvioitiin ensisijaisesti Kioton pöytäkirjan (YK, 1998) ensimmäisen velvoitekauden laskentasäännöllä, mutta metsähakkeen ja liikenteen biopolttoaineiden tapauksessa tarkasteltiin myös laajempia taserajauksia päästöille. Laajemmat tarkastelut vastaavat joko YK:n ilmastopimuksen mukaisia kasvihuonekaasuinventareja tai sisältävät myös arvion maarajat ylittävistä tuotanto- ja käyttöketjun päästöistä. Perustelut ja määrittelyt laajemmille taserajauksille on esitetty arvioiden yhteydessä. Korvauskertoimilla tehtävä suhteellisen yksinkertainen arvio kasvihuonekaasuvaikutuksesta ei huomioi esimerkiksi energijärjestelmän ja ilmastopolitiikan muuta kehitystä. Tämän vuoksi vastaavat arviot tehtiin myös TIMES-energjärjestelmämallilla (kts. liite 1).

Työllisyysvaikutusta arvioitiin vastaavanlaisilla vaikutuskertoimilla. Uusiutuvan energian työllisyysvaikutus jakautuu investointi- ja käyttövaiheeseen. Investointivaiheen työllisyysvaikutus kestää vain investointivaiheen ajan, kun käyttövaiheen työllisyysvaikutus jatkuu koko investoinnin eliniän ajan.

Investointivaihe sisältää infrastruktuurin, voimaloiden ja koneiden rakentamisen ja suunnittelun. Sen työllisyysvaikutusta on arvioitu kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella. Käyttövaihe sisältää korjuun, kuljetuksen ja voimalaitoksilla tapahtuvan käytön ja kunnossapidon. Sen työllisyysvaikutusta on arvioitu kirjallisuudesta. Arviot molempien vaiheiden työllisyysvaikutuksesta on skaalattu vastaamaan vuoden 2020 tavoitetta.

Uusiutuvan energian käytön lisäämisellä voi olla myös työpaikkoja vähentävää vaikutusta, esimerkiksi kun se korvaa muuta energiantuotantoa tai lisääntyvien tukien muodossa haittaa kansantalouden kehitystä. Yksinkertaisissa arvioissa huomioitiin vain suorat työllistävät vaikutukset ja arvio kokonaistaloudellisista vaikutuksista tehtiin VATTAGE-kansantalousmallilla (liite 2; kts. myös Honkatukia ym., 2009).

Kolmas tarkasteltu näkökulma tässä hankkeessa oli valtiolle koituvat kustannukset ja niiden perusteella laskettu kustannustehokkuus. Valtion kustannuksiin laskettiin suorat tuet ja verohelpotukset. Menneiltä vuosilta on esitetty myönnettujen tukien suuruudet, ja tulevien vuosien osalta kustannuksia on arvioitu tuotantotukien tai verohelpotusten perusteella. Epäsuoria kustannuksia ja yksityisten toimijoiden kustannuksia ei ole tässä huomioitu. Kustannustehokkuutta on tarkasteltu suhteessa päästövähennyksiin ja tuilla tavoiteltuihin uusiutuvan energian määriin. Päästövähennysten kustannustehokkuus laskettiin investointien eliniän yli ja uusiutuvan energian kustannustehokkuutta tarkasteltiin vuoden 2020 tasolla.

Valtion suorien kustannusten lisäksi hankkeessa arvioitiin kokonaistaloudellisia vaikutuksia VATTAGE-kansantalousmallilla. Mallitarkasteluista on raportoitu muutokset mm. kansantuotteessa, verokertymissä, kuluttajien rahamääräisessä hyvinvoinnissa sekä tuonnissa ja viennissä.

Päästövaikutusten arvioiminen

Vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen määrään arvioitiin uusiutuvan energian korvaaman polttoaineen päästöistä (metsähake ja liikenteen biopolttoaineet) tai energiantuotannon päästöistä (tuulivoima ja biokaasureaktorit). Päästövähennysvaikutusten arviointiin liittyvien epävarmuuksien vuoksi kullekin uusiutuvan energian muodolle laskettiin pienempi ja suurempi päästövähennysarvio.

Metsähakkeen käytön oletettiin korvaavan sähkön- ja lämmöntuotannossa käytettäviä fossiilisia polttoaineita ja turvetta. Metsähakkeen ei oletettu korvaavan muita puupolttoaineita, sillä ne ovat lähinnä jäte- ja sivutuotteita, jotka ovat hinnaltaan haketta kilpailukyysisempiä polttoaineita. Toteutuneiden turpeen ja fossiilisten polttoaineiden käyttömäärien perusteella hakkeen käytön arvioitiin korvanneen vuosina 2000–2010 polttoaineenkäyttöä, jonka keskimääräinen päästö on noin $290 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_{\text{polttoaine}}$ (kts. luku 1.5.2). Arvion vaihteluväliksi arvioitiin $\pm 10 \%$. Energijärjestelmässä metsähakkeen käyttö voi korvata markkinamekanismien ja voimalaitosinvestointien kautta myös sellaisten polttoaineiden käyttöä, jota se ei voisi korvata kattilakohtaisesti. *Ex ante* -arvioita varten tarkasteltiin viime vuosina julkaistuissa tutkimuksissa tehtyjä arvioita siitä, mitä polttoaineita lisääntynyt metsähakkeen ja muun biomassan käyttö voisi korvata. Kun mukaan laskettiin sekä ennen vuotta 2010 tapahtunut että sen jälkeen arvioitu polttoainekorvaavuus, saatiin metsähakkeen käytön korvauskertoimeksi $270\text{--}330 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_{\text{polttoaine}}$ *ex ante* -arvioissa. Jos metsähake korvaa pääasiassa turvetta poliittikkatoimien tavoitteiden mukaisesti, toteutuu arvion yläraja. Metsähakkeen käytön päästövaikutukset laskettiin sekä olettaen, että metsähakkeen käytöstä ei synny hiilidioksidipäästöjä (Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden mukainen laskentatapa), ja huomioimalla hakkeen käytön aiheuttama vaikutus maaperän hiilitaseeseen (kts. luvut 2.4.1 ja 2.4.2).

Tuulivoimaloiden tapauksessa niillä tuotetun sähkön oletettiin korvaavan fossiilista lauhdetuotantoa pohjoismaisen sähköpörssin kautta. *Ex post* -arvioissa käytettiin tietoja vuosina 2000–2009 toteutuneesta sähkön tuotantorakenteesta Suomessa ja tuulivoimalla tuotetun sähkön korvauskertoimeksi saatiin $550\text{--}700 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_{\text{sähkö}}$ (luku 1.5.3). *Ex ante* -arvioissa otettiin huomioon, että samalla kun Suomessa lisätään voimakkaasti hiilidioksidipäästöttömän sähkön tuotantoa, pohjoismaisen sähkönverkon siirtoyhteyksiä mm. Saksaan vahvistetaan. Tämä johtaa siihen, että sähköpörssin kautta tapahtuvat päästövähennykset tapahtuvat yhä useammin ulkomailla. Yksikertaisilla menetelmillä tehdyssä arviossa käytettiin vuoden 2020 kotimaiselle korvauskertoimelle vaihteluväliä $200\text{--}300 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_{\text{sähkö}}$. Kun vastava arvio tehtiin TIMES-mallilla, skenaariosta riippuen kotimainen korvauskerron oli $100\text{--}300 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_{\text{sähkö}}$.

Biokaasureaktorien sähköntuotannon päästövaikutuksia arvioitiin kuten tuuli-voiman sähköntuotannon päästövaikutuksia. Biokaasureaktorien tuottaman lämmön korvauskerroin riippuu siitä, mihin biokaasureaktori rakennetaan, sillä lämpöä ei voida kuljettaa pitkiä matkoja. Koska rakennuskohteita ei voida arvioida riittävän tarkasti, lämmöntuotannon oletettiin korvaavan keskimääräistä kotimaista lämmöntuotantoa, minkä korvauskertoimeksi arvioitiin 200–290 gCO₂/kWh_{lämpö}. Vuosina 2011–2020 kertoimen oletettiin pysyvän samana. Biokaasureaktorien päästövaikutusta arviotaessa otettiin huomioon myös se, että biokaasua käytettäessä saatetaan välttää biokaasun raaka-aineina käytettyjen sivutuotteiden vaihtoehtoisista käsittelytavoista vapautuvia metaani- ja typpioksiduulipäästöjä esimerkiksi kaatopaikoilta tai pelloilla. Vältetyt päästöt otettiin huomioon melko karkealla tasolla (luku 4.2).

Liikenteen biopolttoaineet korvaavat fossiilisia polttoaineita, jolloin liikennesektorin päästöt vähenevät korvattavien tuotteiden polton CO₂-päästöjen verran. Liikennesektorin vaikutusten lisäksi on tärkeää huomioida myös liikenteen biopolttoaineiden tuotantoketjussa vapautuvat päästöt. Suomessa tuotettujen liikenteen biopolttoaineiden koko tuotantoketjun päästöt vapautuvat Suomessa, jolloin päästöt pienenevät liikennesektorilla ja lisääntyvät hieman muilla sektoreilla. Jos liikenteen biopolttoaineita tuodaan Suomeen, päästöt vähenevät Suomessa, mutta niitä aiheutuu tuotantomaassa. Käytetystä raaka-aineesta ja tarkasteltavasta päästöjen taserajasta riippuu miten paljon kokonaispäästöt muuttuvat (luvut 5.3 ja 5.4).

Päästövähennyspotentiaali

Kuvassa I on esitetty yhteenveto korvauskertoimilla lasketuista uusiutuvan energian päästövähennyksistä vuosina 2010 ja 2020. Vuonna 2010 tulokset on laskettu kaikelle käytetylle energiamäärälle ja vuonna 2020 vain lisäkäytölle vuoden 2010 jälkeen. Tulokset on esitetty kuvassa kahdella palkilla, joiden tummempi osa kuvaa pienempää arvioita ja koko korkeus suurempaa arviota.

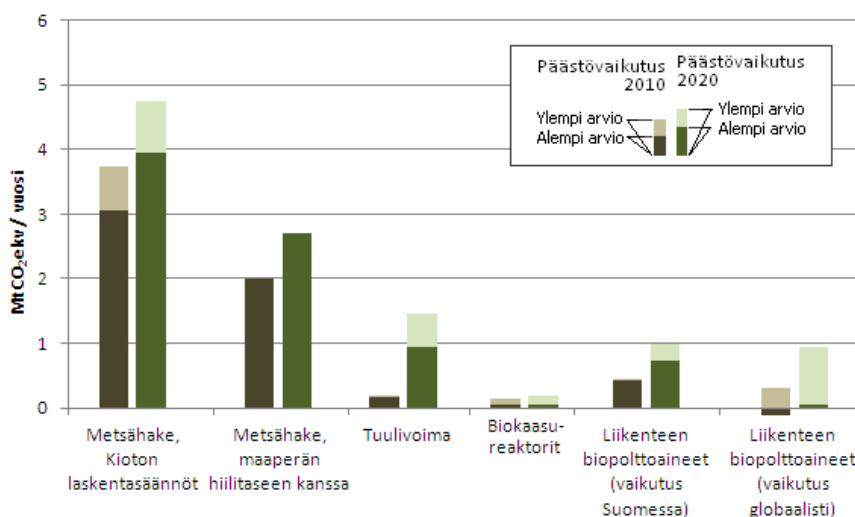
Metsähakkeen käytöllä saavutettavat päästövähennykset ovat huomattavasti suurempia kuin muilla uusiutuvan energian muodoilla. Kioton pöytäkirjan laskentäsääntöjen mukaan metsähakkeella saavutettaisiin 4,0–4,7 MtCO₂:n päästövähennys vuonna 2020, kun tarkastelussa on mukana ainoastaan hakkeen lisäkäyttö vuoden 2010 jälkeen (luku 2.4.1). Kun laskennassa huomioidaan vaikutus maaperän hiilitaseeseen keskimäärin sadan vuoden aikajänteellä, saavutetaan noin 2,7 MtCO₂:n päästövähennys (luku 2.4.2), mutta tähän arvioon sisältyy huomattavia epävarmuuksia, joita kirjoitushetkellä tarkennetaan muissa tutkimushankkeissa.

Tuuli-voiman määrää Suomessa on tarkoitus lisätä voimakkaasti vuoteen 2020 mennessä. Arvioiden mukaan tuuli-voimalla saavutettaisiin vuosina 2020 noin 1,1–1,7 MtCO₂:n päästövähennys, kun tarkastelussa on mukana ainoastaan vuoden 2010 jälkeen rakennettavat tuuli-voimalat (luku 3.3).

Biokaasureaktoreilla saavutettavat päästövähennykset ovat verrattain pieniä. Niillä saavutettaisiin arviolta 0,06–0,20 MtCO₂-ekv:n päästövähennys vuonna 2020 (luku 4.4). Suuri epävarmuus arviossa johtuu siitä, että ei-CO₂-päästöjen

välttämällä voidaan saavuttaa suhteellisen suuria päästövähennyksiä, mutta tämä osa arviosta tunnetaan huonosti.

Liikenteen biopolttoaineiden lisäkäytöllä saavutettaisiin vuonna 2020 noin 1,1 MtCO₂ vuosittainen päästövähennys Suomen liikennesektorilla vuoden 2010 tasoon verrattuna. Jos vuoden 2020 arviossa huomioidaan myös tuotantoketjujen päästöt, päästöjä aiheutuisi muilla sektoreilla Suomessa noin 0,1 ... 0,4 MtCO₂-ekv ja muualla maailmassa noin 0,2 ... 0,7 MtCO₂-ekv riippuen raaka-aineesta ja tarkastelun taserajasta (luku 5.4). Suomen rajojen sisällä kokonaispäästöt siis pienenisivät, mutta globaalisti päästöt eivät välttämättä vähenisi. Samansuuntaisia arvioita biopolttoaineiden käytön lisäämisen globaaleista päästövaikutuksista ovat esittäneet mm. Joint Research Centre (Edwards ym., 2010) ja Institute for European Environmental Policy (IEEP, 2011).



Kuva I. Uusiutuvan energian edistämistoimilla saavutetut päästövähennykset vuosina 2010 ja 2020 korvauskertoimilla laskettuna. Vuonna 2010 tulokset on laskettu kaikelle käytetylle energiamäärälle ja vuonna 2020 vain lisäkäytölle vuoden 2010 jälkeen. Tulokset on esitetty kuvassa kahdella palkilla, joiden tummempi osa kuvaa pienempää arviota ja koko korkeus suurempaa arviota. Metsähakkeen arviot on esitetty vaihtoehtoisesti Kioton pöytäkirjan laskentasääntöjen mukaan sekä huomioiden vaikutus maaperän hiilitaseeseen 100 vuoden aikajänteellä. Jälkimmäisessä ei ole käsitelty vaihteluväliä, sillä siihen liittyy vielä suuria epävarmuuksia, joita pyritään kirjoitushetkellä tarkentamaan muissa tutkimushankkeissa (kts. luku 2.4.2). Liikenteen biopolttoaineiden arvioissa on huomioitu eri arvioita tuotanto- ja käyttöketjun päästöistä (luku 5.4).

TIMES-energiajärjestelmämallilla lasketut tuulivoiman ja metsähakkeen käytön päästövähennykset olivat useimmiten pienempiä kuin yksinkertaisilla arvioilla lasketut. Metsähakkeen käytöllä saavutettava päästövähennys vuonna 2020 oli yllä

esitetyn korvauskertoimilla tehdyn arvion mukaan 7,0–8,5 MtCO₂-ekv, kun mukana on kaikki hakkeen käyttö ja kun vaikutusta maaperän hiilitaseeseen ei otettu huomioon. TIMES-mallilla saatu vastaava arvio oli 5–6,5 MtCO₂-ekv. Mallitulokset on pienempi etenkin siksi, että mallilla lasketuissa skenaarioissa kiristynyt ilmasto- ja energiapolitiikka joka tapauksessa korvaisi jonkin verran turvetta vähäpäästöisemmällä polttoaineilla. Kun turpeen käyttö vähenee jo vertailuskenaariossa, metsähakkeen laskennallinen korvausvaikutus on pienempi (luku 1.5.2).

Yksinkertaisten arvioiden mukaan tuulivoiman tuottama päästövähennys vuonna 2020 olisi 1,1–1,7 MtCO₂, kun tarkastellaan kaikkea rakennettua tuulivoimakapasiteettia. TIMES-mallilla saatu vastaava arvio oli 0,6–1,9 MtCO₂. Eri skenaarioiden tulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin yksinkertaisissa arvioissa, mutta malliarvioiden hajonta on suurempi.

Biojalostamon tuottama biodiesel (200 ktoe vuodessa) pienentäisi päästöjä Suomen liikennesektorilla 0,62 MtCO₂. Jos biojalostamon tarvitsema raaka-aine on pois energiantuotantosektorilta ja se joudutaan korvaamaan esimerkiksi turpeella, energiantuotannon päästöt lisääntyisivät malliarvion mukaan noin 0,6 MtCO₂. Jos tarvittava raaka-aine kerätään muun metsähakkeen tuotannon lisäksi metsistä, aiheutuisi maankäyttösektorilla 0,17 MtCO₂:n vuosittaiset päästöt (100 vuoden tarkastelujakso). Jos pystytään käyttämään joitain muita puupohjaisia raaka-aineita, päästöt eivät välttämättä lisäänty muilla sektoreilla näin paljon. Biojalostamon kokonaisvaikutus Suomen kasvihuonekaasutaseeseen on malliarvioiden mukaan siis välillä -0,6 ... 0 MtCO₂-ekv (luku 5.5).

Päästövaikutusten jakautuminen eri sektoreille

Kokonaisvaikutusten lisäksi tarkasteltiin päästövaikutusten jakautumista päästökauppa- (PKS), ei-päästökauppa- (ei-PKS) ja maankäyttösektoreille (LULUCF). Tältä osin tarkasteltiin ainoastaan vuodesta 2010 vuoteen 2020 saavutettavia lisävaikutuksia. Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa i. Arvioissa oletettiin seuraavaa:

- Metsähakkeen päästövähennykset kohdistuvat pääasiassa päästökauppasektorille, mutta 3 % käytöstä ohjautuu päästökaupan ulkopuolisiin pieniin kattiloihin (luku 1.5.5). Metsähakkeen käytön vaikutukset maaperän hiilitaseeseen kohdistuvat LULUCF-sektorille.
- Tuulivoiman päästövähennykset kohdistuvat kokonaan PK-sektorille.
- Biokaasureaktorien sähkön ja lämmöntuotannon vähennykset kohdistuvat kokonaan päästökauppasektorille ja potentiaaliset ei-CO₂-päästöjen välttämiset ei-PK-sektorille.
- Liikenteen biopolttoaineiden liikennesektorin vähennys kohdistuu ei-PK-sektorille ja biojalostamon raaka-aineen mahdollinen vaikutus metsän hiilitaseeseen LULUCF-sektorille. Muiden päästövaikutusten oletetaan kohdistuvan päästökauppasektorille.

Taulukko i. Arvio vuodesta 2010 vuoteen 2020 saavutettavien lisäpäästövaikutusten jakautumisesta päästökauppa-, ei-päästökauppa ja LULUCF-sektorille. Negatiivinen luku tarkoittaa päästöjen vähenemistä ja positiivinen päästöjen lisääntymistä. Tulokset on selitetty tarkemmin edellä ja luvuissa 2.4, 3.3, 4.4 ja 5.4–5.5.

	PKS MtCO ₂ ekv	ei-PKS MtCO ₂ ekv	LULUCF MtCO ₂ ekv
Metsähake, Kioton pk:n laskentasäännöt	-3,8 ... -4,6	-0,1	0
Metsähake, vaikutus maaperän hiilitaseeseen huomioituna	-3,8 ... -4,6	-0,1	+1,7 ¹⁾
Tuulivoima	-1,1 ... -1,7	0	0
Biokaasureaktorit	-0,06 ... -0,08	-0 ... -0,12	? ²⁾
Liikenteen biopolttoaineet Suomessa	+0,05 ... +0,6	-1,1	+0 ... +0,17 ³⁾

1) Maaperän hiilitaseen muutokseen liittyviä päästöjä on tässä arvioitu 100 vuoden aikajänteellä Liskin ym. (2011) lukuarvojen perusteella. Lähtöarvoihin ja menetelmiin sisältyy suuriakin epävarmuuksia, joiden tarkentamiseksi on kirjoitushetkellä käynnissä tutkimushankkeita.

2) Biokaasua käytettäessä saatetaan välttää biokaasun raaka-aineina käytettyjen sivutuotteiden vaihtoehtoisista käsittelytavoista vapautuvia metaani- ja typpioksiduulipäästöjä (luku 4.2).

3) Arvio saattaa olla osittain päällekkäinen metsähakkeen LULUCF-arvion kanssa. Maankäyttösektorin päästöjen huomioiminen riippuu kansainvälisestä sopimuksesta. Esimerkiksi Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden laskentasäännöillä tämä ei nostaisi Suomen kokonaispäästöjä.

Työllisyysvaikutukset

Uusiutuvan energian työllisyysvaikutusta arvioitiin kirjallisuuden perusteella, haastatteluilta ja VATTAGE-kansantalousmallilla. Arvioissa päätettiin tarkastella pelkästään lisätyöllisyysvaikutusta vuodesta 2010 vuoteen 2020. Tuulivoiman kohdalla tämä ei juuri muuta arviota, sillä alle 10 % tavoitekapasiteetista oli rakennettu vuonna 2010. Metsähakkeen kohdalla tämä taas vaikuttaa arvioon paljon, sillä vuonna 2010 käytettiin jo melkein puolet tavoitteen mukaisesta metsähakkeen määrästä.

Työllisyysarviot on jaettu investointivaiheen työllisyysvaikutukseen, joka sisältää mm. suunnittelun ja rakentamisen, sekä käyttövaiheen työllisyysvaikutukseen, joka sisältää mm. tuotantoketjun ja käytön työllisyysvaikutuksen. Yhteenveto arvioista on esitetty taulukossa ii ja tarkemmin arviot on esitetty luvuissa 2.5 (metsähake), 3.4 (tuulivoima), 4.5 (biokaasureaktorit) ja 5.6 (liikenteen biopolttoaineet). Investointivaihe on esitetty taulukossa valkoisella pohjalla ja käyttövaihe vaaleansinisellä.

Taulukossa ii esitetty arvio on suoraan riippuvainen asetettujen tavoitteiden toteutumisesta ja ottaa huomioon pelkästään suoran työllisyysvaikutuksen. Esimerkiksi jos metsähakkeella korvataan suuri määrä turvetta, vähenevät työpaikat turpeen tuotantoketjussa. Lisäksi esitetyt arviot metsähakkeen ja liikenteen biopolttoaineiden korjuuketjussa saattavat olla osittain päällekkäisiä.

Taulukko ii. Kirjallisuuskatsauksella arvioitu suora lisätyöllisyysvaikutus vuonna 2020, jos tarkasteltujen uusiutuvan energian muotojen käyttö lisääntyy vuodesta 2010 kuten tavoitellaan. Tarkempi selitys löytyy luvuista 2.5, 3.4, 4.5 ja 5.6.

	Metsähake	Tuuli- voima	Biokaasu- reaktorit	Liikenteen biopolttoaineet
Infrastruktuurin rakentaminen	?	175	?	?
Voimaloiden ja koneiden valmistus	200–300 ¹⁾	750 ²⁾	?	?
Poltto- tai raaka-aineen tuotantoketju	2500 ³⁾	0	?	500–850 ⁴⁾
Käyttö- ja kunnossapito	?	400	100–150	?

1) Arvio sisältää pelkästään korjuu- ja kuljetuskaluston valmistamisen suoran työllisyysvaikutuksen. Arviosta puuttuu voimaloiden rakentaminen ja metsäteknologiateollisuuden alihankkijat.

2) Tuulivoimaloiden valmistuksen työpanoksen jakautumista koti- ja ulkomaille ei arvioitu.

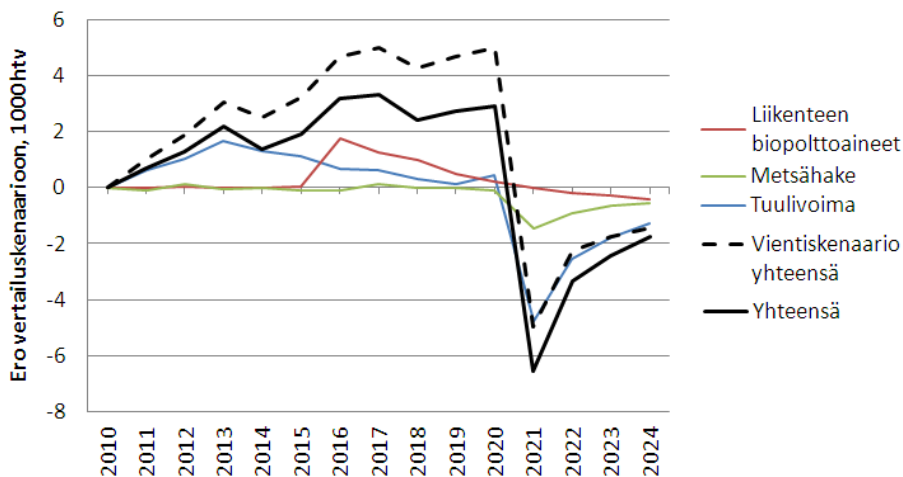
3) Arviot metsähakkeen ja liikenteen biopolttoaineiden raaka-aineen korjuun työpaikoista ovat mahdollisesti osittain päällekkäisiä.

4) Arvio sisältää ainoastaan metsähakemieselimen työllisyysvaikutuksen. Muun kotimaisen tuotannon työllisyysvaikutuksista ei löytynyt arvioita. Arvio on mahdollisesti osittain päällekkäinen metsähakemieselimen työllisyysarvion kanssa.

VATTAGE-mallin arvioissa tulee kirjallisuusarvioita selkeämmin esille työpaikkojen ja talouden dynaaminen luonne sekä kytkennät toisiinsa. Investointivaiheessa työpaikkojen määrä rakennus- ja energiateknologiasektorilla lisääntyy, mutta toisaalta investoinnit korvaavat jotain muuta tuotantoa ja nostavat pääomavaltaisen teollisuuden investointikustannuksia, mikä heikentää niiden kasvua ja joskus kokonaistyöllisyyttäkin vertailuskenaarioon verrattuna. Toisaalta, jos investoinneilla pystytään pienentämään tuontia ja lisäämään kotimaista valmistusta, kuten metsähakemieselimen tapauksessa, voidaan kasvattaa työllisyyttä ja valtion tuloja.

Kuvassa II vertaillaan skenaarioiden työllisyysvaikutuksia. Kuvan II perusteella on selvää, että investointivaiheessa työllisyyskehitys on kaikissa skenaarioissa vertailuskenaariota parempi. Pidemmällä aikavälillä kehitys riippuu kuitenkin siitä, millaisia tavoitteita energiasektorille asetetaan tulevaisuudessa. Tässä on oletettu, että tavoitteiden saavuttaminen vuoteen 2020 mennessä aiheuttaa investointien äkkipysähdyksen ja työllisyyden tilapäisen notkahduksen, mihin sopeutumiseen kuluu muutama vuosi. Todellisuudessa asetettaneen uusia tavoitteita, jos halutaan saavuttaa syviä päästövähennyksiä vuoteen 2050 mennessä. Tällöin uusiutuvan energian työllisyysvaikutus saattaisi parhaimmillaan jatkaa kasvua.

Kuvassa II on tarkasteltu myös vientiskenaariota, jossa energiateknologian vienti kasvaisi muita skenaarioita enemmän. Vientiskenaariossa oletetaan, että Suomi vähintäänkin säilyttäisi markkinaosuutensa energiateknologian markkinoilla. Tällöin koko teknologiateollisuuden vienti kasvaisi noin 1–2 prosenttia vertailuskenaariota nopeammin ja työllisyysvaikutus olisi vuonna 2020 noin 2000 htv parempi kuin metsähakemieselimen, tuuli voiman ja liikenteen biopolttoaineiden yhteisvaikutus ilman viennin lisääntymistä.

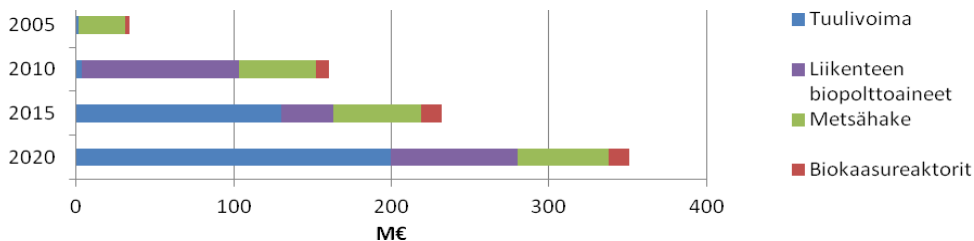


Kuva II. Malliarvio työllisyysvaikutuksista eri skenaarioissa.

Suorat kustannukset valtiolle

Uusiutuvan energian edistämisen kustannuksia valtiolle arvioitiin yksinkertaisilla menetelmillä siten, että kustannuksista otettiin huomioon ainoastaan suoraan valtiolle kohdistuvat kustannukset, eli esimerkiksi myönnetyt investointituet, syöttötariffit sekä verohelpotukset. Myönnettyjä investointitukia ei välttämättä nosteta, jos hanke ei jostain syystä lähdekään käyntiin. Tältä osin vuosien 2005 ja 2010 kustannukset eivät siis ole lopullisia vaan saattavat olla kuvassa esitetyjä pienemmät.

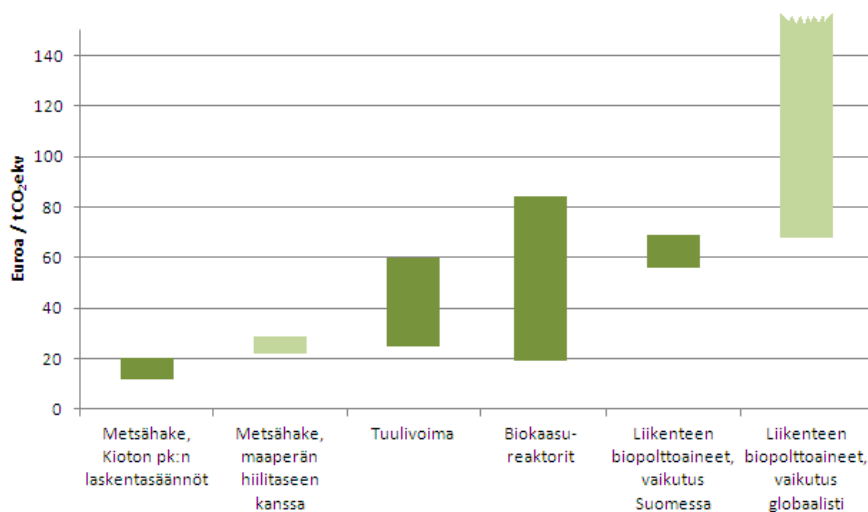
Kuvassa III on esitetty yhteenveto myönnetyistä ja arvioiduista kustannuksista vuosina 2005–2020. Vuonna 2010 kustannukset olivat yhteensä noin 150 M€ ja vuonna 2020 kustannusarvio tarkastelluilta toimilta oli yhteensä noin 350 M€. Tarkempi lista myönnetyistä tuista, toteutuneista kulueristä ja arvioiduista kustannuksista on luvuissa 2.6, 3.5, 4.6 ja 5.7.



Kuva III. Uusiutuvan energian edistämistoimien suorat kustannukset valtiolle vuosina 2005, 2010 (liikenteen biopolttoaineet 2009), 2015 ja 2020.

Kustannustehokkuus valtion näkökulmasta

Yksinkertaisten menetelmien avulla laskettujen päästövähennysvaikutusten, sekä valtiolle kohdistuvien suorien kustannusten perusteella laskettiin uusiutuvan energian edistämistoimien päästövähennysten kustannustehokkuus (€/tCO₂ vuonna 2020) sekä uusiutuvan energian tavoitteen edistämisen kustannustehokkuus (M€/TWh vuonna 2020). Yhteenveto tuloksista on esitetty kuvassa IV ja taulukossa iii. Kustannustehokkuusarvioita lukiessa on syytä muistaa, että kustannustehokkuus on tässä esitetty valtion näkökulmasta eikä näissä arvioissa ole huomioitu muiden toimijoiden kustannuksia tai epäsuoria kustannuksia.



Kuva IV. Arvio uusiutuvan energian lisäkätön päästövähennysten kustannustehokkuudesta. Metsähakkeen tulokset on esitetty Kioton pöytäkirjan laskentasäännöillä ja ottaen huomioon vaikutus maaperän hiilitaseeseen 100 vuoden aikajännteellä. Liikenteen biopolttoaineiden globaalin arvio kohdalla yläraja on hyvin korkea, koska joidenkin arvioiden mukaan liikenteen biopolttoaineiden globaalit päästövähennykset voivat jäädä hyvin pieniksi.

Tarkastelluista toimista metsähake oli valtiolle selvästi kustannustehokkain molemmilla mittareilla arvioituna, vaikka vaikutus maaperän hiilitaseeseen otettaisiin huomioon päästövähennysten kustannustehokkuutta tarkasteltaessa. Metsähakkeen potentiaali on kuitenkin rajallinen ja nykyinen 13,5 miljoonan kuution tavoite vuodelle 2020 on yli puolet teoreettisesta hankintapotentiaalista sekä suuri osa teknis-taloudellisesta käyttöpotentiaalista (TEM, 2009a). Näin ollen myös muiden uusiutuvien energian lähteiden käytön edistäminen on tärkeää.

Taulukko iii. Uusiutuvan energian yksikkökustannukset valtiolle. Taulukossa on esitetty kullekin uusiutuvan energian muodolle kustannukset 2020, huomioidut tukitoimet, tuotantotavoite 2020 ja niiden perusteella laskettu yksikkökustannus uusiutuvan energian loppukäytölle vuonna 2020.

	Kustannukset 2020	Kustannusarvioon sisältyvät tukitoimet	Tuotanto- tavoite 2020	Yksikkö- kustannus 2020
	M€		TWh	M€ / TWh
Metsähake	58	Pienpuun energiatuki ja muuttuva sähkön tuotantotuki	25,8	3–4 ¹⁾
Tuulivoima	200	Syöttötariffi	6	33
Biokaasureaktorit	13	Syöttötariffi	0,3 ²⁾	43
Liikenteen biopolttoaineet	80	Valmistevero- alennus	500 ktoe ³⁾	14

1) Arviossa on oletettu, että metsähakkeesta saadaan tehtyä loppukäytön energiaa 55–75 % hyötysuh-
teella.

2) Arviossa on oletettu, että biokaasureaktorit tuottaisivat yhtä paljon lämpöä kuin sähköä.

3) 500 ktoe vastaa noin 5,8 TWh.

Tuulivoiman päästövähennysten kustannustehokkuus valtion kannalta on noin 25–60 €/tCO₂, riippuen voimakkaasti sähkön hinnasta ja sähkön kotimaisesta korvauskertoimesta (luku 3.6). Tuulivoiman käyttämätön potentiaali on vielä kohtuullisen suuri ja sen hyödyntäminen saattaa muuttua tulevaisuudessa selvästi nykyistä edullisemmaksi, kun voimalaitostekniikka kehittyä ja tuotantovolyymit kasvavat.

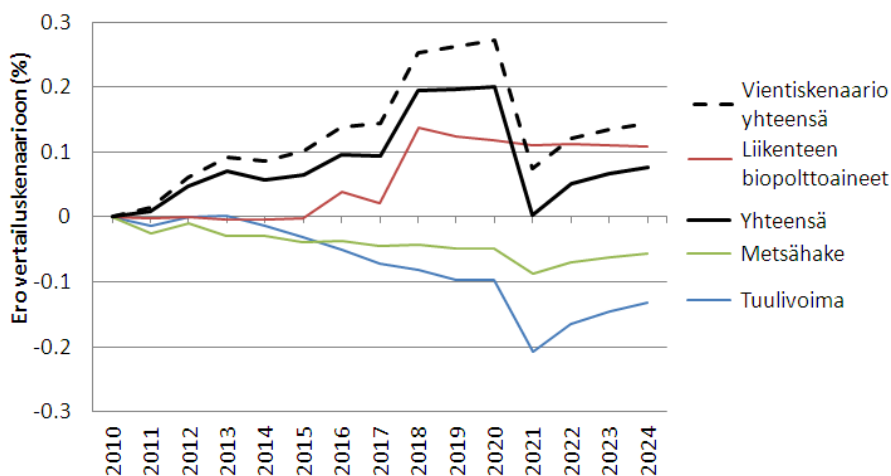
Biokaasun päästövähennysten kustannustehokkuuden arvioitiin olevan noin 20–80 €/tCO₂ riippuen siitä, kuinka paljon ei-CO₂-päästöjä välitetään. Tähän arvioon sisältyy kuitenkin suuri epävarmuus ja arviota tulisi tältä osin tarkentaa (luku 4.2). Biokaasulla tavoiteltu energiamäärä on kohtuullisen pieni ja tämä arvio edustaa kustannustehokkainta osaa biokaasun potentiaalista. Biokaasun syöttötariffiryhmä arvioi, että biokaasun kokonaispotentiaali on huomattavasti suurempi, mutta sen toteuttaminen on kallista (TEM 2009a).

Liikenteen biopolttoaineiden kotimaisten päästövähennysten kustannustehokkuus valtiolle on noin 55–75 €/tCO₂ vuonna 2020 (luku 5.8). Kuvan iii viimeisen palkin ylälaita on piirretty sahalaitaiseksi, sillä jos globaalit päästöt eivät vähene, päästövähennysten yksikkökustannus on hyvin suuri. Toisaalta liikenteen biopolttoaineet on ainoa tarkastelluista uusiutuvan energian muodoista, joka merkittävästi vähentää ei-päästökauppasektorin päästöjä. Niinpä liikenteen biopolttoaineiden päästövähennysten kustannustehokkuutta tulisi vertailla myös muihin ei-päästökauppasektorin toimiin, joita on tutkittu mm. VTT:n loppuvuodesta 2011 julkaisemassa arviossa (Lindroos ym., 2011). Valtion näkökulmasta liikenteen biopolttoaineille asetettu jakeluvaikeus ja valmisteveroalennus ovat suhteellisen edullinen tapa lisätä uusiutuvan energian käyttöä, mutta kotimaisen liikenteen

biopolttoaineiden tuotannon edistäminen saattaa edellyttää myös muiden tukimekanismien, kuten investointitukien käyttöä, joita ei huomioitu tässä selvityksessä. Etenkin liikenteen biopolttoaineiden tapauksessa pelkän valtion menojen tarkastelu antaa tilanteesta hyvin yksipuolisen kuvan, sillä merkittävä osa liikenteen biopolttoaineiden kustannuksista kohdentuu muille toimijoille.

Kansantaloudelliset vaikutukset

Kuvassa V vertaillaan energiatavoitteiden ja niiden kokonaisuuksien kansantuotevaikutuksia. Kuvan V perusteella on selvää, että vaikka tuulivoiman lisärakentaminen ja metsähakkeen käytön lisääminen pidemmällä aikavälillä aiheuttavat lisäkustannuksia, kompensoi biopolttoaineiden valmistaminen kotimaisista raaka-aineista niitä siten, että kokonaisuus jää vaikutuksiltaan vertailuskenaariota korkeammalle tasolle. Vuonna 2020 kansantuote on uusiutuvan energian edistämisen ansiosta noin 0,2 prosenttia korkeammalla tasolla kuin vertailuskenaariossa.



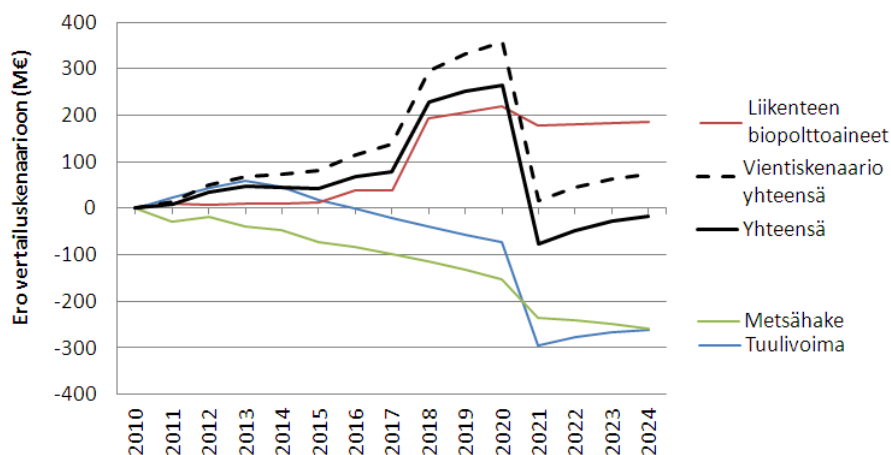
Kuva V. Malliarvio vaikutuksista kansantuoteeseen eri skenaarioissa.

Keskeisenä syynä metsähakkeen käytön lisäämisestä ja tuulivoiman lisärakentamisesta aiheutuviin lisäkustannuksiin on niiden vaatimien lisäinvestointien vaikutus investointikustannuksiin muussa taloudessa, mikä heikentää muiden sektorien kilpailukykyä. Investoinnit vaativat myös merkittävää työvoimapanosta, mikä vaikuttaa työvoimakustannuksiin investointivaiheen ajan. Liikenteen biopolttoaineiden vaatima lisäinvestointi on suhteellisesti pienempi, eikä investointivaiheen arvioida kestävän yhtä kauan.

Jos kotimaiset investoinnit näkyvät parempana energiateknologiateollisuuden vientimenestyksenä, voisi kansantuote kasvaa vajaan prosenttiyksikön enemmän kuin metsähakkeen, tuulivoiman ja liikenteen biopolttoaineiden yhteisvaikutuksesta ilman viennin lisääntymistä. Arvioissa on tarkasteltu vain nykyisiä säädettyjä

politiikkatoimia, joiden vaikutus loppuu vuonna 2020, mikä näkyy heilahduksena tulokuvissa. Todellisuudessa nykyisten toimien jatkoksi säädettäneen uusia politiikkatoimia, jolloin vuoden 2020 kohdalle ei tule sellaista epäjatkuvuutta kuin näissä tuloksissa on esitetty.

Kuvaan VI on koottu vaikutukset kuluttajien rahamääräiseen hyvinvointiin. Metsähakkeen ja tuulivoiman käytön edistäminen lisää energiakustannuksia, mikä heikentää kuluttajien ostovoimaa ja muuttaa kuluttajien kulutuskorin sisältöä. Molemmat vaikutukset johtavat rahamääräisen hyvinvoinnin laskuun. Poikkeuksen tekee liikenteen biopolttoaineskenaario, jossa skenaarion positiivinen vaikutus kokonaistuloihin koituu myös kuluttajan hyödyksi.



Kuva VII. Uusiutuvan energian tavoitteiden ja teknologiaviennin vaikutukset kuluttajien rahamääräiseen hyvinvointiin.

Johtopäätökset

Hankkeessa arvioitiin uusiutuvan energian käytön lisäämisen vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin, työllisyyteen, valtion kustannuksiin ja kansantalouteen, mutta toisaalta joitakin uusiutuvan energian vaikutuksia ei pystytty tarkastelemaan lainkaan. Muita mahdollisia näkökulmia olisivat olleet mm. muut ympäristövaikutukset sekä lisäämistöimien toteutettavuus ja hyväksyttävyyys. Kehitettyjä menetelmiä tulisi laajentaa myös muiden vaikutusten tarkasteluun.

Tässä hankkeessa yksinkertaisemmilla arvioilla saatiin samaa suuruusluokkaa olevia tuloksia kuin malliarvioilla, mutta malleilla pystyttiin tarkastelemaan paremmin kokonaiskuvaa ja huomioimaan politiikkatoimien ristikkäis- ja kerrannaisvaikutuksia. Toisaalta yksinkertaisemmat menetelmät ovat helpompia ymmärtää ja huomattavan paljon helpompia toistaa. Menetelmäkehityksen, uusiutuvan energian tavoitteen laajemman tarkastelun ja mahdollisiin tuleviin tavoitteisiin varautumisen kannalta olisi tärkeää soveltaa kehitettyjä menetelmiä myös muihin uusiutuvan energian muotoihin ja ilmastopolitiikkatoimiin laajemminkin.

Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään useilla kansainvälisillä sopimuksilla. Tässä hankkeessa tarkastelluilla uusiutuvan energian edistämistoimilla olisi tarkoitus saavuttaa EU:n uusiutuvan energian ja liikenteen biopolttoaineiden tavoitteet. Metsähake, tuulivoima, biokaasureaktorit ja liikenteen biopolttoaineet tukevat myös kotimaisten päästövähennystavoitteiden, kuten Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden ja ei-päästökauppasektorin tavoitteiden, saavuttamista.

Uusiutuvan energian käytön lisääminen vaikuttaa myös joidenkin kotimaisten tavoitteiden saavuttamiseen. Jos tuontipolttoaineita korvataan kotimaisella tuotannolla, uusiutuvalla energialla voidaan parantaa huoltovarmuutta ja vähentää tuontikustannuksia. Toisaalta, jos uusiutuvalla energialla korvataan kotimaista polttoainetuotantoa, voivat kokonaisvaikutukset työllisyyteen ja kansantalouteen olla ristiriitaisia. Näin ollen uusiutuvan energian vaikutuksia tulisi tarkastella osana laajempaa kokonaisuutta kuin tässä hankkeessa oli mahdollista.

On tärkeää muistaa, että vaikka uusiutuvan energian käyttöä edistävillä politiikka-toimilla on kansantaloudelle kustannuksia, niillä on myös positiivisia vaikutuksia. Rakennusaikana kotimaiset investoinnit kasvavat ja työvoimaa tarvitaan niin rakennus- kuin käyttövaiheessa. Pidemmällä aikavälillä uusiutuvilla energianlähteillä voi olla positiivinen vaikutus kansantaloudelle etenkin silloin, jos niillä onnistutaan korvaamaan tuontienergiaa kohtuuhintaisella kotimaisella valmistuksella. Tarkasteltujen uusiutuvan energian politiikkatoimien yhteisvaikutuksesta kansantuote olisi malliarvion mukaan vuonna 2020 noin 0,2 % vertailuskenaariota korkeammalla tasolla ja investointivaiheen jälkeen kansantuote jäisi noin 0,1 % vertailuskenaariota korkeammalle tasolle. Lisäksi on mahdollista, että kasvavien investointien ja kotimaisen kysynnän myötä suomalaiset yritykset onnistuvat lisäämään teknologiavientiään, jolloin tarkasteltujen toimien positiivinen vaikutus kansantalouteen olisi voimakkaampi.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Esipuhe.....	6
Laajennettu tiivistelmä	7
1. Johdanto	23
1.1 Poliittikkatoimien arviointi- ja raportointitarpeet	23
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset.....	24
1.3 Käytetyt yksinkertaiset menetelmät.....	25
1.3.1 Yksinkertaiset menetelmät päästövaikutusten arvioimiseksi	25
1.3.2 Yksinkertaiset menetelmät työllisyyden ja kustannusvaikutusten arvioimiseksi	28
1.4 Käytetyt mallit ja niillä tarkastellut skenaariot	29
1.4.1 Arvioissa käytetyt laskentamallit	29
1.4.2 Malleilla tarkastellut skenaariot	30
1.5 Uusiutuvalle energialle korvattavat energiamuodot.....	31
1.5.1 Korvausvaikutukset lyhyesti	31
1.5.2 Metsähakkeen energiakäytöllä korvattavat polttoaineet	32
1.5.3 Tuulisähköntuotannon vaikutus khk-päästöihin.....	34
1.5.4 Biokaasureaktorioiden lämmöntuotannon päästövaikutus.....	37
1.5.5 Sähkön päästövähennysten jakautuminen PK- ja ei-PK-sektorille	37
2. Metsähake	39
2.1 Taustaa	39
2.2 Poliittikkakeinot vuoteen 2010 asti.....	41
2.2.1 Energiatuki	41
2.2.2 Sähkön tuotantotuki	44
2.2.3 Tuet energiapuun korjuuseen ja haketukseen (Kamera)	45
2.2.4 Poliittikkakeinojen yhteisvaikutus vuosina 2000–2010.....	47
2.3 Poliittikkakeinot vuodesta 2011 lähtien	48
2.3.1 Muuttuva ja kiinteä sähkön tuotantotuki.....	49
2.3.2 Pienpuun energiatuki	49
2.4 Päästövähennysvaikutukset	50
2.4.1 Poliittikkatoimien päästövähennysvaikutus Kioton pöytäkirjan 1. velvoitekauden laskentasaännöillä	50
2.4.2 Poliittikkatoimien päästövähennysvaikutus ottaen huomioon vaikutus maaperän hiilitaseeseen.....	52
2.5 Työllisyysvaikutus	56
2.5.1 Metsähakkeen tuotanto	56
2.5.2 Koneiden valmistus.....	57
2.6 Suorat kustannukset valtiolle.....	57
2.7 Kustannustehokkuus valtion kannalta.....	59
2.7.1 Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta	59
2.7.2 Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta	59
2.8 Kansantaloudelliset kustannukset.....	60
3. Tuulivoima.....	62
3.1 Tuulivoimaa edistävät poliittikkakeinot.....	62
3.2 Ex post -arvio tuulivoiman päästövähennyksistä.....	62

3.3	Ex ante -arvio tuulivoiman päästövähennyksistä.....	63
3.3.1	Arvio yksinkertaisilla menetelmillä.....	63
3.3.2	Malliarvio.....	65
3.4	Työllisyysvaikutukset.....	66
3.5	Suorat kustannukset valtiolle.....	67
3.6	Kustannustehokkuus valtion kannalta.....	69
3.6.1	Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta.....	69
3.6.2	Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta.....	70
3.7	Kansantaloudelliset vaikutukset.....	70
4.	Biokaasureaktorit.....	73
4.1	Biokaasun tuotanto Suomessa.....	73
4.2	Biokaasureaktorioiden päästövähennysmekanismit.....	74
4.3	Ex post -arvio biokaasureaktorioiden päästövähennyksistä.....	76
4.4	Ex ante -arvio biokaasureaktorioiden päästövähennyksistä.....	77
4.5	Työllisyysvaikutukset.....	79
4.6	Suorat kustannukset valtiolle.....	81
4.7	Kustannustehokkuus valtion kannalta.....	82
4.7.1	Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta.....	82
4.7.2	Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta.....	84
5.	Liikenteen biopolttoaineet.....	85
5.1	Käyttöä edistävät politiikkatoimet.....	85
5.1.1	Jakelunvelvoite.....	85
5.1.2	Valmisteveroalennus.....	86
5.1.3	Investointituet.....	86
5.2	Liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutusmekanismit.....	87
5.3	Ex post -arvio liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutuksista.....	88
5.3.1	Liikenteen biopolttoaineiden käyttö Suomessa.....	88
5.3.2	Arvio Suomessa käytetyn bioetanolin ja biodieselin raaka-aineista.....	88
5.3.3	Eri biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutus.....	91
5.3.4	Arvio päästövaikutuksesta vuosina 2008 ja 2009.....	94
5.4	Ex ante -arvio liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutuksista.....	95
5.4.1	Biopolttoaineiden arvioitu käyttö vuosina 2011–2020.....	95
5.4.2	Kasvihuonekaasuvaikutukset.....	96
5.5	Ex ante -arvio biojalostamon päästövaikutuksista.....	99
5.6	Työllisyysvaikutus.....	101
5.7	Suorat kustannukset valtiolle.....	101
5.8	Kustannustehokkuus valtion kannalta.....	103
5.8.1	Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta.....	103
5.8.2	Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta.....	104
5.9	Kansantaloudelliset vaikutukset.....	104
6.	Pohdinta ja suositukset.....	106
6.1	Menetelmistä ja tuloksista.....	106
6.2	Suosituksia arviointi- ja raportointimenetelmien kehittämiseksi.....	108
6.3	Kokonaistaloudellisten vaikutusten arvioinnista.....	109

Lähdeluettelo.....	113
---------------------------	------------

Liitteet

Liite A: TIMES-mallin rakenne ja toimintaperiaatteet

Liite B: VATTAGE-mallin tietoperusta ja rakenne

1. Johdanto

1.1 Poliittikkatoimien arviointi- ja raportointitarpeet

Kansainväliset sopimukset velvoittavat Suomea raportoimaan ilmastopoliittikkatoimista ja niiden vaikuttavuudesta. Poliittikkatoimista raportoidaan YK:n Ilmastoprotokollalle (UNFCCC) noin neljän vuoden välein toimitettavassa ns. maaraportissa. Maaraportti laaditaan UNFCCC:n ohjeiden mukaan (FCCC/CP/1999/7).

EU:n seurantajärjestelmäpäätöksen (280/2004/EY) ja sen toimeenpanosääntöjen (2005/166/EY) mukaan jäsenmaiden on raportoitava poliittikkatoimista ja niiden vaikuttavuudesta kahden vuoden välein. Komissio on laatinut raportointia varten yksityiskohtaisen raportointitaulukon, johon olisi täytettävä poliittikkakeino-kohtaiset arviot päästövähennys- sekä kustannusvaikutuksista. Taulukon käyttäminen raportoinnissa ei kuitenkaan ole pakollista.

Marraskuussa 2011 Euroopan komissio antoi ehdotuksen uudeksi seurantajärjestelmäasetukseksi, joka korvaisi nykyisen seurantajärjestelmäpäätöksen. Ehdotus tihentää poliittikkatoimien vaikuttavuuden raportointisykliä vuosittaiseksi nykyisen kahden vuoden välein tapahtuvan raportoinnin sijaan. Ehdotuksessa myös edellytetään kansallisen järjestelmän laatimista ja toimeenpanoa poliittikkatoimien raportointia varten. Poliittikkatoimien ennakoituista kasvihuonekaasupäästövaikutuksista (*ex ante*) on ehdotuksen mukaan raportoitava noin 20 vuoden ajalta joka viides vuosi, erikseen päästökauppa- ja ei-päästökauppasektoreille. Toteutuneista vaikutuksista (*ex post*) on raportoitava, jos arvioita on saatavilla. Kustannusten osalta on raportoitava sekä ennustetut että toteutuneet kustannukset. Ehdotuksessa ei kuitenkaan ole esitetty yksityiskohtaisia ohjeita tai määrämuotoa raportoinnille, vaan komissio määrittelee ne myöhemmin. Ehdotettuun asetukseen voi vielä tulla muutoksia, kun sitä käsitellään Eurooppa-neuvostossa vuoden 2012 aikana.

Suomen viidennen maaraportin tutkinnassa (FCCC/IDR.5/FIN) poliittikkatoimien kasvihuonekaasupäästövähennys- ja kustannusarviot tunnistettiin kehittämiskohteeksi. Eryteisesti uusiutuvan energian tuotantoa edistävien poliittikkatoimien päästövähennysvaikutuksista on ollut niukasti kotimaisia arvioita saatavilla (Monni, 2010).

Lisäksi muun muassa Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian (TEM, 2008a) sekä Valtioneuvoston tulevaisuusselonteon (VN, 2009) toimeenpano edellyttävät seurantaa.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tämän hankkeen tavoitteena oli kehittää menetelmiä ilmastopolitiikan vaikuttavuuden arviointiin ja laatia vaikuttavuusarvioita keskeisille politiikkatoimille, joille ei vielä ollut saatavilla tai tekeillä vaikuttavuusarvioita. Tavoitteena oli tukea Suomen kansainvälistä raportointia ilmastopolitiikkatoimista ja niiden vaikuttavuudesta sekä tuottaa lisää tietoa politiikkatoimien kotimaiseen seurantaan.

Tarkasteluissa on pyritty ottamaan huomioon lähtöarvojen epävarmuudesta ja vaihtoehtoisista laskentamenetelmistä johtuva tulosten vaihtelualue. Tulevaisuudessa esimerkiksi päästöjen laskentatavat voivat muuttua Suomesta riippumattomista syistä, ja on perusteltua, että suomalaisilla päättäjäillä on tiedossa mahdolliset vaikutukset tuloksiin.

Hankkeen aluksi tarkasteltiin Suomen keskeisimpiä ilmastopolitiikkatoimien ryhmiä sekä niistä tehtyjä päästövaikutusarvioita. Useimmille politiikkatoimien ryhmille (poislukien maankäyttösektori) oli tehty jo aikaisemmissa selvityksissä arvioita tai arvioita oltiin parhaillaan tekemässä muissa hankkeissa vuosien 2010 ja 2011 aikana (taulukko 1.1).

Taulukko 1.1. Poliitiikkatoimien ryhmät ja niille tehdyt, tai raportin laatimisvaiheessa tekeillä olevat päästövähennysvaikutusten arviot.

Politiikkatoimien ryhmä	Tekeillä olevat arviot	Tehdyt arviot
Päästökauppa		Forsström ym., 2010; VATT 2011
Uusiutuvien energialähteiden edistäminen		YM & TK, 2009; Motiva Oy, 2009a; b
Liikenne	ILARI, SYKE-2	LVM, 2009; 2010
Tuotteiden energiatehokkuus	SYKE-2	Motiva Oy, 2009c
Rakentaminen ja asuminen	SYKE-1, SYKE-2	Motiva Oy, 2009c
Energiatehokkuussopimukset ja -katselmukset		Motiva Oy, useita arvioita
F-kaasujen vähentäminen	SYKE-1	YM & TK, 2009
Maataloussektori	MTT	YM & TK, 2009
Jättesektori	SYKE-1	YM & TK, 2009

SYKE-1 = Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) hanke "Seurantajärjestelmäpäättöksen (280/2004/EY) mukainen raportointi ja sen kehittäminen Suomessa"

SYKE-2 = SYKE:n hanke "Ilmastomuutoksen hillintä kestävästä kulutuksesta avulla: ruokaan, asumiseen ja liikenteeseen liittyvien ohjauskeinojen arviointi (KUILU)"

ILARI = VTT:n hanke "Ilmastomuutoksen hillinnän toimenpiteiden vaikutusten ja vaikuttavuuden arviointi liikennesektorilla (ILARI)"

MTT = MTT:n hanke "Maa- ja metsätalouden sekä muun maankäytön kasvihuonepäästöskenaariot"

Kootun tiedon perusteella todettiin, että muille tärkeimmille politiikkatoimien ryhmille oli tekeillä päästövaikutusarvioita, paitsi uusiutuvan energian edistämiseksi, päästökaupalle ja energiatehokkuussopimuksille. Päästökaupan vaikutuksista on saatavissa melko paljon arvioita (Forsström ym., 2010, VATT 2011), ja Motiva Oy on tehnyt useita arvioita energiatehokkuussopimuksia ja -katselmuksia koskien. Sen sijaan uusiutuvan energian edistämistoimien päästövaikutusarviot koskivat ainoastaan biokaasun tuotantoa lannasta (YM & TK, 2009) sekä maalämmön (Motiva Oy, 2009a) ja lämpöyrittäjyyden edistämistä (Motiva Oy, 2009b). Näin ollen tässä hankkeessa päätettiin keskittyä uusiutuvan energian edistämistöimiin.

Hankkeessa arvioitiin metsähakkeen energiakäytön edistämisen, tuulivoiman edistämisen, biokaasun energiakäytön edistämisen ja liikenteen biopolttoaineiden käytön edistämisen vaikutuksia seuraavilla mittareilla: päästövähennyksinä, uusiutuvan energian lisäyksenä, työllisyysvaikutuksena sekä valtiolle kohdistuvina kustannuksina ja kansantaloudellisina kustannuksina. Lisäksi arvioitiin suorien kustannusten kustannustehokkuutta suhteessa päästövähennykseen ja tuotettuun uusiutuvaan energiaan.

Alkuperäinen tarkoitus oli arvioida yksittäisten politiikkakeinojen vaikutusta, mutta havaittuja vaikutuksia ei useimmissa tapauksissa ollut mielekästä kohdistaa millekään yksittäiselle politiikkakeinolle, sillä jokaista uusiutuvan energian muotoa edistetään usealla eri politiikkakeinolla, kuten esimerkiksi syöttötariffilla, kaavoituksella ja julkisella tutkimusrahalla. Yleensä jokin arvioiduista politiikkakeinoista on ratkaisevassa asemassa, mutta havaittua kehitystä ei olisi tapahtunut tai oletettua tulevaisuuden kehitystä tapahtuisi ilman muita mahdollistavia politiikkakeinoja. Tästä syystä käsiteltiin pääsääntöisesti useamman politiikkakeinon yhteisvaikutusta.

Käytettyjä indikaattoreita (päästövähennys, uusiutuvan energian määrä, työllisyys ja kustannukset) on tarkasteltu usealla menetelmällä, jolloin keskeinen ajatus on käsitellä asiaa ensin yksinkertaisella ja suhteellisen helposti ymmärrettävällä tavalla, minkä jälkeen tarkasteluun lisätään huomattava määrä muuttujia ja siirytään käyttämään arvioissa energijärjestelmä- ja kansantaloudsmalleja. Kustannustehokkuusarviot on tehty pelkästään yksinkertaisempien menetelmien pohjalta.

1.3 Käytetyt yksinkertaiset menetelmät

1.3.1 Yksinkertaiset menetelmät päästövaikutusten arvioimiseksi

Ilmastopolitiikkatoimien päästövähennysvaikutusten arvioinnissa pyritään tietyn indikaattorin avulla arvioimaan sitä kehitystä, joka politiikkatoimen ansiosta saavutetaan, verrattuna kehitykseen ilman politiikkatoimea. Tarkastelussa siis pyritään erottamaan politiikkatoimen vaikutus muista päästöjen kehitykseen vaikuttavista tekijöistä. Toisaalta politiikkatoimilla on myös kerrannais- ja ristikkäisvaikutuksia, joiden tunnistaminen on tärkeää.

Vaikka politiikkatoimien arviointia edellytetään YK:n ilmastopöytäkirjassa ja EU:n seurantajärjestelmäpäätöksessä, ei arvioiden laatimiseen ole esitetty mene-

telmiä tai ohjeita. Alla on esitelty yleisesti käytettyjä arviointimenetelmiä sekä tässä hankkeessa kehitetyt menetelmät.

Ex post ja ex ante -tarkastelut

Etukäteis- eli *ex ante* -tarkasteluissa arvioidaan politiikkatoimen vaikutuksia tulevaisuudessa. *Ex ante* -arvioita tarvitaan esimerkiksi politiikkatoimien suunnittelun yhteydessä, sekä arvioitaessa, riittävätkö politiikkatoimet tietyn päästövähennystavoitteen saavuttamiseen.

Jälkikäteen tehtävä politiikkatoimien vaikutusten arviointi eli *ex post* -arviointi tarjoaa tietoa siitä, mitkä ovat politiikkatoimen toteutuneet vaikutukset. *Ex post* -arvioita voidaan hyödyntää politiikkatoimien seurannassa ja jatkokehittämisessä.

Top down ja bottom up -menetelmät

Politiikkatoimien arviointimenetelmät voidaan jakaa myös "top down" ja "bottom up" -menetelmiin. Top down -menetelmät perustuvat yleensä tilastolliseen tietoon ja soveltuvat sektorikohtaiseen politiikkatoimien yhteisvaikutuksen arviointiin. Top down -menetelmässä laaditaan vertailuskenaario, jonka mukaisesti päästöjen arvioidaan kehittyvän ilman politiikkatoimia. Skenaariota verrataan joko toteutuneeseen päästökehitykseen tai arvioituun tulevaisuuden päästökehitykseen. Poliittikkatoimien päästövähennysvaikutus lasketaan näiden skenaarioiden erotuksena. Menetelmän etuna on, että se ottaa huomioon myös politiikkatoimien kerrannais- ja ristikkäisvaikutukset. Toisaalta politiikkatoimien yhteisvaikutusta ei pystytä erottamaan muista päästökehitykseen vaikuttavista tekijöistä (Monni, 2010; Rekola, 2010).

Bottom up -menetelmällä voidaan arvioida yksittäisen politiikkatoimen päästövähennysvaikutusta hyödyntämällä toimea koskevia tietoja. Bottom up -menetelmällä saadaan teoriassa tarkimmat politiikkatoimikohtaiset tiedot. Käytännössä menetelmän käyttö vaatii kuitenkin lähtötietojen keräämistä ja tuottamista eikä se välttämättä sovellu kaikkien, esimerkiksi ns. horisontaalisten, politiikkatoimien arviointiin. Bottom up -menetelmällä on myös hankalaa tarkastella toimien ristikkäis- ja kerrannaisvaikutuksia (Rekola, 2010; Monni, 2010).

Tier-tarkkuustasot

Vuonna 2009 valmistui Euroopan komission tilaama selvitys (Forster ym., 2009), jossa ehdotettiin ensimmäistä kertaa menetelmäkehystä politiikkatoimien päästövähennysvaikutuksen arviointiin EU:ssa. Raportin tavoitteena oli antaa suosituksia EU:n seurantajärjestelmäpäätöksen ja sen toimeenpanosääntöjen uudistamiseen. Toistaiseksi näyttää kuitenkin siltä, että EU:n uudistetussakaan seurantajärjestelmäpäätöksessä ei määritellä, mitä menetelmiä politiikkatoimien arviointiin käytetään.

Forster ym. (2009) laativat politiikkatoimien arviointiin kolmen eritasoisen menetelmän kehikon, joka noudatti IPCC:n päästöjenlaskentaohjeiden logiikkaa: yksin-

kertainen Tier 1 -taso, hieman kehitetympi Tier 2 -taso, sekä mallilaskelmiin perustuva Tier 3 -taso.

Tier 1 -menetelmä tuottaa suhteellisen helposti saatavilla olevan (tilasto)tiedon avulla yksinkertaistetun arvion politiikkatoimen vaikutuksesta päästöihin. Menetelmä kuvaa tietyn politiikkatoimeen liittyvän muuttujan kehittymistä, ja se, miten tulos kuvaa politiikkatoimen vaikutusta tähän muuttujaan, riippuu tarkasteltavan politiikkatoimen luonteesta. Tier 2 -menetelmässä käytetään lähtökohtaisesti samoja menetelmiä kuin Tier 1 -arvioissa, mutta Tier 2 -menetelmä pyrkii erottamaan politiikkatoimen vaikutuksen muista tekijöistä, jotka voivat vaikuttaa politiikkatoimeen kuvaavan muuttujan kehittymiseen. Tier 3 -arvio on yksityiskohtaisin, ja vaatii yleensä politiikkatoimikohtaista tiedonkeruuta ja mallinnusta. Tier 3 -tason menetelmissä pyritään erottamaan politiikkatoimen vaikutus kokonaan muista tekijöistä.

Eri tavat raportoida päästöjä

YK:n ilmastosopimukselle (FCCC) kehittyneet maat raportoivat ihmisen toiminnasta maan alueella aiheutuvat kasvihuonekaasujen päästöt ns. kasvihuonekaasuintentaareissa, jotka laaditaan IPCC:n ohjeita noudattaen. Inventaareissa pyritään suhteellisen tarkkaan luonnontieteellisesti perusteltuun raportointiin käyttäen tiettyä päästösektori ja -luokkajakoa. Biomassan käyttö oletetaan energiasektorilla nollapäästöiseksi, mutta biomassan tuottavan ekosysteemin hiilitaseen muutos raportoidaan maankäyttösektorilla.

Kioton pöytäkirja rajaa maankäyttösektorin metsien hiilitaseen kasvun käytännössä pois Suomen ja useiden muiden maiden tapauksissa. Tällöin biomassa näkyy nollapäästöisenä energiasektorilla ilman vaikutusta maankäyttösektoriin. Durbanin ilmastokokouksessa sovittu Kioton jatkokausi ei muuta käytäntöä biomassan energiakäytön suhteen. Myös EU:n päästökauppa tarkastelee vain energiasektoria, jolloin maankäyttösektorin päästöt tai nielut rajautuvat pois ja biomassa on nollapäästöistä energiasektorilla.

Kasvihuonekaasupäästöt voidaan laskea inventaarin tai Kioton sopimuksen mukaisesti, mikä ei yleensä vaikuta lopputulokseen, mutta esimerkiksi biomassan polttamisen kohdalla lopputulos poikkeaa valitusta tarkastelutavasta riippuen.

Edellä kuvattujen tapojen lisäksi päästöjä voidaan tarkastella myös tuotanto- ja käyttöketjun näkökulmasta, jossa otetaan huomioon tuotteen tuotannossa ja käytössä vapautuvat päästöt. Tämä näkökulma ei vastaa inventaarien päästöjä, sillä se saattaa sisältää mm. myös muissa maissa vapautuvia päästöjä. Tuotanto- ja käyttöketjunäkökulmaa sovelletaan käytännössä etenkin EU:n liikenteen biopolttoaineiden kestävyyskriteeristöissä, jolla määritellään, onko liikenteen biopolttoaine tai bioneste tukikelpoista ja voidaanko se huomioida EU:n asettamia uusiutuvan energian lisäystavoitteita täytettäessä.

Hankkeessa kehitetyt menetelmät

Tässä hankkeessa kehitetyt yksinkertaiset menetelmät vastaavat peruseriaatteiltaan Forsterin ym. (2009) Tier 1 ja Tier 2 -menetelmiä. Yksinkertaista menetelmien lähtökohdanna on käytetyn uusiutuvan polttoaineen määrä (metsähake, liikenteen biopolttoaineet) tai uusiutuvalla energialla tuotettu sähkö (biokaasureaktorit, tuulivoima).

Työn kuluessa havaittiin, että näitä energiamuotoja ei olisi merkittävässä määrin käytössä ilman politiikkatoimia. Näin ollen siis oletettiin, että kaikki tuulivoimalla ja biokaasureaktoreilla tuotettu sähkö sekä kaikki kulutettu metsähake ja liikenteen biopolttoaine voidaan laskea politiikkatoimien ansioksi. Seuraavaksi arvioitiin, mitä sähköntuotantomuotoa tai polttoainetta olisi käytetty, jos uusiutuvaa energiaa ei olisi ollut käytettävissä. Päästövähennykset laskettiin näitä kahta tapausta vertailemalla sekä *ex post* että *ex ante* -tarkasteluissa.

Metsähakkeen, liikenteen biopolttoaineiden ja biokaasureaktorien käyttöön liittyy polttoainekorvaavuuden lisäksi myös muita mahdollisia ympäristö- ja kasvihuonekaasuvaikutuksia. Tässä hankkeessa keskityttiin tarkastelemaan pelkästään kasvihuonekaasuvaikutuksia, jotka kuvataan tarkemmin uusiutuvien energioiden omissa luvuissa.

Uusiutuvan energian kasvihuonekaasuvaikutuksia arvioitiin pääsääntöisesti Kioton sopimuksen näkökulmasta, mutta metsähakkeen ja liikenteen biopolttoaineiden osalta on pyritty arvioimaan vaikutuksia myös inventaarinäkökulmasta. Lisäksi liikenteen biopolttoaineiden osalta on arvioitu myös koko tuotanto- ja käytöketjun vaikutuksia. Käytetyt menetelmät ja tehdyt oletukset on selitetty tarkemmin kunkin uusiutuvan energian omassa luvussa.

1.3.2 Yksinkertaiset menetelmät työllisyyden ja kustannusvaikutusten arvioimiseksi

Päästövaikutusten lisäksi valituista uusiutuvan energian politiikkatoimista (metsähake, tuulivoima, biokaasureaktorit ja liikenteen biopolttoaineet) on arvioitu niiden työllisyysvaikutuksia ja kustannuksia valtiolle. Myös nämä on arvioitu aluksi yksinkertaisilla menetelmillä ja myöhemmin VATT:n kansantalousmallilla.

Kustannusarviot kuvaavat valtiolle kohdistuvia kustannuksia, ja ne joko perustuvat kirjallisuuteen tai on arvioitu tuotantotavoitteiden ja tuotantotukien perusteella. Monen toimen kohdalla (metsähake, tuulivoima ja biokaasureaktorit) kustannusarvio oli tehty hallituksen esityksen valmisteluvaiheessa, ja niitä on käytetty tässä hankkeessa. Tuulivoiman ja biokaasureaktorien tapauksessa on tarkasteltu myös korkeamman sähkön hinnan vaikutusta syöttötariffin suuruuteen. Liikenteen biopolttoaineiden kustannukset on arvioitu niiden saaman valmisteveroalennuksen perusteella.

Kustannuksia on yksinkertaisissa arvioissa tarkasteltu valtion näkökulmasta, jolloin esimerkiksi investointikustannuksia ei ole laskettu politiikkatoimen kustan-

nuksiin. Malliarviossa huomioidaan kustannusten kohdentuminen ja jakautuminen yhteiskunnan eri sektoreille.

Työllisyysarviot ovat kirjallisuudesta ja kansatalousmallista. Osa työllisyysarvioista esitettiin alkuperäisissä lähteissä henkilötyövuosina (htv) ja osa henkilötyövuosina per vuosi (htv/v). Lisäksi työllisyysarvioihin sisältyi vaihtelevasti eri vaiheiden (valmistaminen, rakentaminen sekä käyttö ja kunnossapito) työllistävä vaikutus. Työllisyysarviot on yhdenmukaistettu esittämällä uusiutuvan energian eri muotojen työllistävä vaikutus vuonna 2020 ja kertomalla selkeästi, mitä osatekijöitä arvioissa on huomioitu.

1.4 Käytetyt mallit ja niillä tarkastellut skenaariot

1.4.1 Arvioissa käytetyt laskentamallit

Edellisessä luvussa kuvattujen yksinkertaisten menetelmien hyvä puoli on se, että ne ovat suhteellisen yksinkertaisia raportoida ja ymmärtää. Toisaalta niitä käytettäessä ongelmaa joudutaan yksinkertaistamaan paljon, ja todellisuudessa kysymystä monimutkaistaa mm. energiajärjestelmän ja talouden muu kehitys, kuten tuotantorakenteen muuttuminen sekä tuonnin ja viennin kehitys.

Tässä hankkeessa tehtiin yksinkertaisia arvioita vastaavat tarkastelut energiajärjestelmä- ja kansantalousmalleilla, joilla pystytään ottamaan huomioon huomattavasti laajempi määrä vaikuttavia tekijöitä. Arvioissa käytettiin VTT:n TIMES-energiajärjestelmämallia (kts. liite 1) ja VATT:n VATTAGE-kansantalousmallia (Honkatukia ym., 2009; kts. myös liite 2), jotka on esitelty tarkemmin liitteissä 1 ja 2. Alla on lyhyt kuvaus malleilla lasketuista tuloksista.

TIMES:lla tarkasteltiin uusiutuvan energian edistämisen päästövaikutuksia. Mallissa on kuvattu kaikki pohjoismaat erikseen, jolloin sillä voidaan tarkastella Suomen rajojen sisällä tapahtuvia päästövaikutuksia erikseen.

Kansantaloudellisista vaikutuksista tässä tutkimuksessa raportoidaan lähinnä kokonaistaloudelliset muutokset keskeisissä kansantuote-erissä suhteessa vertailuskenaarioon. Lisäksi raportoidaan verokertymien muutokset ja kuvataan kuluttajien ostovoiman muutosta mittaavaa hyvinvoinnin muutosta myös rahamääräisesti.

Kuluttajien hyvinvointia kuvataan hyvinvoinnin rahamääräistä muutosta mittaan ekvivalentin variaation avulla. Rahamääräisen hyvinvoinnin välillä on yhteys kulutuskysyntään, mutta ensimmäinen on käsitteellisesti yleisempi. Kun kulutuskysynnän muutos kuvaa kulutuksen volyymin muutosta sellaisenaan, ottaa ekvivalenttivariao (rahamääräinen hyvinvointi) huomioon kulutuskorin muutoksen ja sen arvossa tapahtuneen muutoksen. Mittari kuvaa siis kuluttajien menettämää rahamäärää muuttuneessa tilanteessa alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna.

1.4.2 Malleilla tarkastellut skenaariot

Tässä hankkeessa on arvioitu yksittäisten uusiutuvan energian muotojen edistämisen vaikutuksia määrittelemällä käytettäviin malleihin politiikkaskenaarioita ja vertaamalla niitä ennalta muodostettuun vertailuskenaarioon, joka pyrkii kuvaamaan tilannetta ilman tarkasteltavia politiikkatoimia.

Mallien vertailuskenaariot pohjautuvat TEM:n (2008) Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiaan ja EU:n ilmasto- ja energiastrategiaan. Tärkeimpiä malleihin vaikuttavia yksittäisiä ilmastopolitiikkakeinoja ovat energiaverotus ja päästökauppa, jotka ovat vaikutukseltaan kertaluokkaa suurempia kuin muut toimet. Energiaverotuksen uudistus ja päästökauppa eivät kuitenkaan riittäisi täyttämään uusiutuvan energian tavoitetta, minkä vuoksi syöttötariffit alun perin säädettiin. Uusiutuvan energian lisäyksen kannalta syöttötariffit ovat tärkein politiikkatoimi.

Päästövaikutusten mallitarkasteluja varten määriteltiin kolme eri vertailuskenaariota, joiden perusteella TIMES:lla arvioitiin uusiutuvan energian eri muodoilla saavutettavia päästövähennyksiä. Vertailuskenaariot ovat muuten identtisiä, mutta päästöoikeuden hinta vaihtelee niissä välillä 17–40 e/tCO₂. Kaikissa kansantalouksmallin skenaarioissa tuloksia verrataan skenaarioon, jossa oletetaan päästöoikeuden hinnan nousevan 30 euroon vuoteen 2020 mennessä.

Varsinaisia malleilla tarkasteltavia politiikkaskenaarioita on viisi:

- Tuulivoiman käytön lisääminen
- Biopolttoaineiden käytön lisääminen
- Metsähakkeen käytön lisääminen verotuksen
- Uusiutuvan energian tavoitteiden yhteisvaikutus
- Uusiutuvan energian tavoitteiden yhteisvaikutus ja teknologiaviennin kasvu.

Osa tässä tutkimuksessa tarkasteltavista politiikkakeinoista on verrattain pieniä suhteessa koko energijärjestelmään, eikä mallien erottelukyky välttämättä riittäisi toimen tarkasteluun. Esimerkiksi biokaasureaktoreilla on tavoitteena tuottaa 160 GWh sähköä vuonna 2020, mikä vastaa alle 2 promillea vuoden 2009 sähkönkulutuksesta. Muutos on niin pieni, että malliarvioita ei ole tehty biokaasureaktoreille.

Tarkasteltaviin politiikkaskenaarioihin liittyy mittavia investointitarpeita. Tässä oletetaan, että investoinnit käynnistyvät tavoitteiden mukaan ja ovat valmiina vuoteen 2020 mennessä. Poikkeuksen tästä tekee liikenteen biopolttoaineskenaario, jossa uuden jalostamon tarve ajankohtaistuu vasta vuosikymmenen toisella puoliskolla. Sen rakentamisen oletetaan ajoittuvan vuosille 2015–2017.

Vuoden 2020 jälkeen lisäinvestointeja vaativista tavoitteista ei tehdä oletuksia, mistä johtuen kokonaisinvestoinnit palaavat vertailuskenaarion tasolle. Tämä oletus vaikuttaa tuloksiin vuoden 2020 jälkeen, koska investointien suhteellisen rajun vähenemisen myötä muun muassa työmarkkinoiden on sopeuduttava muutokseen.

Vuosina 2013–2020 osa päästöoikeuksista huutokaupataan toimijoille. Osa päästökauppatuloista palautuu ilmaisjakona päästökauppasektorille ja osa kohdentuu ilmastomuutoksen sopeutumiseen tarkoitettuihin tulonsiirtoihin kehitysmaille. Ylijäävää osaa päästökauppatuloista ei vertailuskenaariossa kohdenneta mihinkään erityiseen käyttöön, vaan se kartuttaa valtion kassaa. Vertailuskenaariossa kansantuotteen ja investointien kasvu elpyy vuosikymmenen loppupuolella noin 1,8 prosentin vuositasolle kulutuskysynnän kasvaessa hieman nopeammin. Työllisyyden kasvu sen sijaan hiipuu negatiiviseksi vuosikymmenen lopulla, kun työikäinen väestö vähenee.

1.5 Uusiutuvalla energialla korvattavat energiamuodot

1.5.1 Korvausvaikutukset lyhyesti

Uusiutuvista energianlähteistä tuotetun sähkön ja lämmön päästövähennyksiä voidaan arvioida yksinkertaisesti tekemällä oletuksia korvattusta polttoaineesta tai hieman epäsuoremmiin olettamalla korvatulle sähkön- ja lämmöntuotannolle jokin tietty päästökerroin.

Metsähakkeen tapauksessa on tarkasteltu polttoaineen korvaavuutta, sillä metsähaketta poltetaan pääasiassa sekä sähköä että lämpöä tuottavissa yhteistuotantolaitoksissa (combined heat and power, CHP). Tarkastelu on tehty energijärjestelmätasolla, jolloin metsähakkeen tuet voivat esimerkiksi vaikuttaa tulevaisuuden investointipäätöksiin ja korvata maakaasua tai öljyä, joita metsähake ei yleensä pystyisi korvaamaan kattilakohtaisesti. Metsähakkeen korvaamia polttoaineita ja niiden päästökerrointa on arvioitu tarkemmin luvussa 1.5.2.

Tuulivoiman tapauksessa on tarkasteltu yleisemmin sähkön korvaavuutta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Kun tuulisähköä tuotetaan, jokin toinen voimalaitos jättää tuottamatta sähköä, eli tuulivoima korvaa muuta tuotantoa epäsuorasti sähkömarkkinoiden kautta. Sähköntuotannon vaikutusta päästöihin on käsitelty luvussa 1.5.3.

Biokaasureaktoreiden sähköntuotantoa on käsitelty tässä kuten tuulivoiman sähköntuotantoa. Biokaasureaktoreiden tuottama lämpö voi korvata esimerkiksi lämmitysöljyn, kaukolämmön, puubiomassan tai jopa sähkön käyttöä lämmityksessä. Yksinkertaisuuden vuoksi tässä on oletettu, että biokaasureaktoreilla tuotettu lämpö korvaa keskimääräistä fossiilista lauhde- ja yhteistuotantolämpöä. Lämmöntuotannon vaikutuksia päästöihin on käsitelty luvussa 1.5.4.

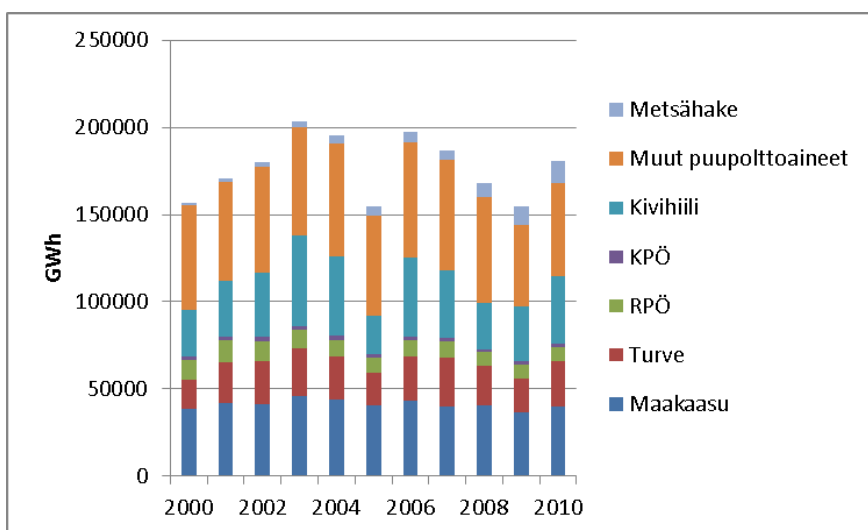
Liikenteen biodieselin on oletettu korvaavan tavanomaista fossiilista dieseliä ja bioetanolin korvaavan fossiilista bensiiniä.

Yllä kuvattujen päästövähennysten arviointimenetelmien hyvä puoli on se, että ne ovat suhteellisen yksinkertaisia raportoida ja ymmärtää, mutta niitä käytettäessä kysymys uusiutuvilla energialähteillä saavutettavista korvaushyödyistä joudutaan tyypistämään hyvin yksinkertaiseksi. Todellisuudessa kysymystä monimutkaistamm. energijärjestelmän muu kehitys, kuten tuotantorakenteen muuttuminen, tuonnin ja viennin kehitys, kysynnän hintajousto ja moni muu asia. Tässä hank-

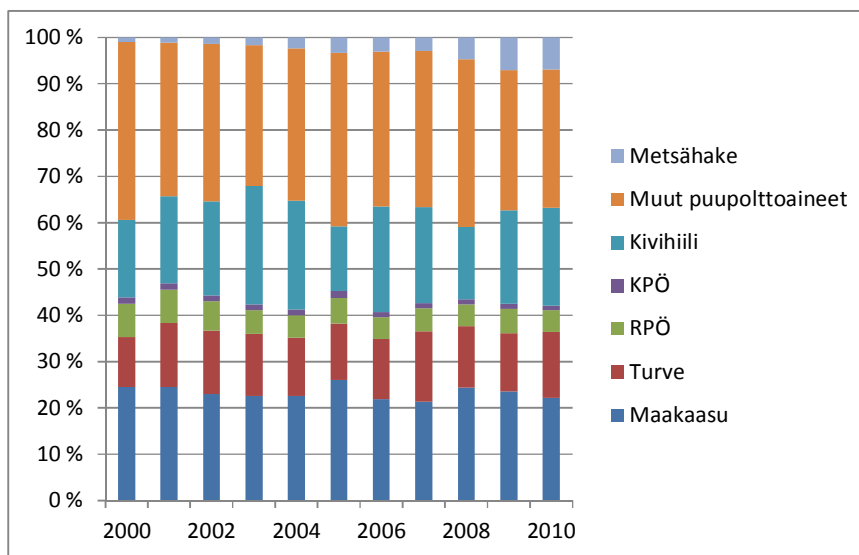
keessa on yksinkertaisten arvioiden lisäksi tehty vastaavat arviot myös TIMES-energiajärjestelmämallilla, joissa on pyritty huomioimaan edellä kuvattuja tekijöitä.

1.5.2 Metsähakkeen energiakäytöllä korvattavat polttoaineet

Hakkeen käytöllä saavutettavaa päästövähennystä on arvioitu sen perusteella, mitä polttoainetta hake on korvannut. Hakkeen ja muiden polttoaineiden käyttö energiateollisuudessa ja muussa teollisuudessa vuosina 2000–2010 on esitetty kuvissa 1.1 ja 1.2. Kuvassa 1.1 on esitetty polttoaineiden kokonaiskäyttö ja kuvassa 1.2 polttoaineiden osuudet energia- ja muun teollisuuden polttoaineista.



Kuva 1.1. Polttoaineen käyttö energiateollisuudessa ja muussa teollisuudessa 2000–2010 (Tilastokeskus, 2011a). "Muut puupolttoaineet"-luokka sisältää metsäteollisuuden jätehiemet, teollisuuden puutähteet ja muut metsäteollisuuden sivu- ja jätetuotteet sekä kierrätyspuun. Vuoden 2010 tieto perustuu tilastokeskuksen ennakkotietoon polttoaineiden kokonaiskulutuksesta, jonka perusteella on arvioitu kulutus energiateollisuudessa ja muussa teollisuudessa.



Kuva 1.2. Polttoaineenkäytön jakautuminen eri polttoaineille vuosina 2000–2010 energiateollisuudessa ja muussa teollisuudessa (Tilastokeskus, 2011a). ”Muut puupolttoaineet” sisältää metsäteollisuuden jäteliemet, teollisuuden puutähteet ja muut metsäteollisuuden sivu- ja jätetuotteet sekä kierrätyspuun. Vuoden 2010 tieto perustuu tilastokeskuksen ennakkotietoon polttoaineiden kokonaiskulutuksesta, jonka perusteella on arvioitu kulutus energia- ja muussa teollisuudessa.

Kuvista 1.1 ja 1.2 voidaan havaita selkeästi metsähakkeen osuuden kasvu vuodesta 2000 vuoteen 2010. Sen sijaan muiden polttoaineiden osalta selvää trendiä ei ole havaittavissa. Metsäteollisuuden polttoaineiden osuus on laskenut, mutta sen voidaan olettaa johtuneen pääasiassa metsäteollisuuden tuotannon supistumisesta. Kuvien 1.1 ja 1.2 perusteella näyttää siis siltä, että metsähakkeen käyttö ei olisi selkeästi korvannut mitään yksittäistä polttoainetta. Näin ollen hakkeen on tässä oletettu korvanneen energijärjestelmässä keskimääräistä kunakin vuonna käytettyä fossiilista polttoainetta ja turvetta. Koska muut puupolttoaineet ovat lähinnä sivu- ja jätetuotteita, joiden käyttö on hakkeen käyttöä edullisempaa, ei hakkeen käytön oleteta korvanneen niiden käyttöä.

Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön ominaispäästö on vuosina 2000–2010 ollut keskimäärin 288 tCO₂/GWh. Arvioon on oletettu sisältyvän noin 10 %:n epävarmuus, jonka perusteella on laskettu korvauskertoimen ala- ja ylärajat vuosille 2000–2010.

Vuoden 2011–2020 tarkasteluissa mukana olevien metsähakkeen käyttöä edistävien politiikkatoimien tavoitteiden mukaisesti metsähakkeen käyttö korvaisi ensisijaisesti turvetta. Lisäksi saatetaan ottaa käyttöön politiikkatoimia, jotka mahdollistaisivat kivihiilen korvaamisen metsähakkeella (Flyktman ym. 2011). Energijärjestelmän muutokset ovat kuitenkin suhteellisen huonosti ennakoitavissa, ja toisaalta järjestelmätasolla metsähake voi korvata myös sellaisia polttoaineita, joita se ei

korvaksi kattilakohtaisesti, kuten maakaasua. Tällöin korvaavuus tapahtuisi esimerkiksi uusien investointipäätösten kautta, eli politiikkatoimien ansiosta investoitaisiin metsähakekattilaan maakaasukattilan sijaan. Sähkötuotannon osalta metsähakeella tuotettu sähkö voi korvata muilla polttoaineilla tuotettua sähköä. Metsähakevoimalat ovat kuitenkin yleensä yhteistuotantolaitoksia, jolloin niiden sähkötuotantoa ohjaa lämmön tuotantotarve.

Vuotta 2020 koskevia tarkasteluja varten arvioitiin, että hakkeen lisäkäyttö vuonna 2020 korvaksi polttoaineita, joiden keskimääräinen päästökerron on 268–357 tCO₂/GWh. Kun mukaan lasketaan polttoainekorvaavuus vuosina 2000–2010, saadaan hakkeen kokonaiskäytön korvauskertoimeksi 272–329 tCO₂/GWh vuonna 2020. Jos metsähake korvaa pääasiassa turvetta politiikkatoimien tavoitteiden mukaisesti, toteutuu arvion yläraja.

Hakkeen polttoainekorvaavuuden päästövaikutus (korvauskerron) arvioitiin myös TIMES-mallilla. TIMES:lla laskettu korvauskerron on pienempi kuin yksinkertaisella menetelmällä laskettu kahdesta keskeisestä syystä. Ensiksikin mallilla lasketuissa skenaarioissa oletus kiristävästä ilmasto- ja energiapolitiikasta johtaisi joka tapauksessa turpeen käytön korvaamiseen vähäpäästöisemmällä polttoaineilla. Kun turpeen käyttö vähenee jo vertailuskenaariossa, metsähakeelle tulee pienempi laskennallinen korvausvaikutus. Toiseksi malli pystyi käyttämään myös tuontibiomassaa, mikä pienensi myös eroa vertailuskenaarion ja metsähakekeskenaarioiden välillä.

Päästöoikeuden hinnan oletettiin skenaarioissa olevan joko lähellä nykytasoa (skenaariossa 17 €/tCO₂) tai nousevan selvästi tasolle 25 tai 40 €/tCO₂. Vuoden 2011 joulukuussa päästöoikeuden hinta ja lähivuosien termiinihinnat ovat pudonneet merkittävästi. Jos viimeaikainen kehitys jatkuu, on mahdollista, että todellinen hinta vuonna 2020 on alhaisempi kuin näissä skenaarioissa on oletettu. Tällä hetkellä skenaario 1 vaikuttaa paljon todennäköisemmältä kuin skenaario 3.

Taulukko 1.2. Times-mallilla laskettu metsähakkeen 25 TWh:n vuosikäytön päästövähennysvaikutus eri päästöoikeuden hinnoilla vuonna 2020 (tCO₂/GWh).

	tCO ₂ /GWh
Skenaario 1: 17 €/tCO ₂	200
Skenaario 2: 25 €/tCO ₂	210
Skenaario 3: 40 €/tCO ₂	260

1.5.3 Tuulisähkötuotannon vaikutus khk-päästöihin

Suomessa sähköntuotanto perustuu hyvin erilaisiin sähköntuotantomuotoihin, kuten ydinvoimaan, vesivoimaan ja vähäisessä määrässä myös tuulivoimaan sekä fossiilisten polttoaineiden, turpeen ja bioenergian käyttöön CHP- ja lauhdetuotannossa. Sähköntuotantojärjestelmässä tuotanto ja kulutus vaihtelevat vuorokauden ajankohtien, vuodenaikojen ja vuosien välillä. Suomi kuuluu yhteispohjoismaiseen

sähkömarkkina-alueeseen (Nord Pool), jonka muodostavat Ruotsi, Norja, Tanska ja Suomi. Lisäksi Suomeen tuodaan sähköä Virosta ja Venäjältä. Nord Pool -sähkömarkkinat on edelleen kytketty Manner-Eurooppaan ja Baltian maihin, ja nykyään Nord Poolissa sähkökauppaa käydään myös Viron, Saksan ja Iso-Britannian kanssa.

Sähköntuotantojärjestelmässä tapahtuvien muutosten päästövaikutusten arviointi on haasteellista lukuisten tarvittavien oletusten ja rajausten vuoksi. Seurausvaikutuksia tapahtuu lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä sekä olemassa olevaan kapasiteettiin että uusiin investointeihin (Soimakallio ym., 2011). Uusi tuotanto vaikuttaa välittömästi sähkömarkkinoihin pienentämällä jonkin toisen laitoksen tuotantoa. Lisäksi sillä on vaikutusta lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä sähkön ja päästöoikeuksien hintaan sekä kokonaisuudessaan myös uusiin sähköntuotanto- ja siirtokapasiteetin investointipäätöksiin sähkömarkkina-alueella ja sen ulkopuolella. Kyse on siis kaiken kaikkiaan erittäin moniulotteisesta ja monimutkaisesta syy- ja seuraussuhteiden vaikutusketjusta, johon kuuluu sekä positiivisia että negatiivisia takaisinkytkentöjä. Alla on listattu uuden sähköntuotannon päästövaikutusten arvioinnin kannalta keskeisimpiä kysymyksiä, joita joudutaan pohtimaan arviointia laadittaessa.

- Mikä on maantieteellinen raja (pelkkä Suomi, Nord pool, koko Eurooppa)?
- Millä ajanjaksolla päästövaikutusta pyritään arvioimaan (välitön lyhyempi aikaväli esim. tuntitasolla vai pidempi, esim. vuosien tai vuosikymmenien aikaväli)?
- Mikä on arvion järjestelmärajaus (pelkkä sähköntuotantojärjestelmä, energiajärjestelmä vai päästökaupan piirissä olevat laitokset laajemmin)?

Erilaiset oletukset ja rajaukset vaikuttavat sähköntuotannon päästövaikutuksen arviointiin ja sen lopputuloksiin keskeisesti. Päästövaikutus vai vaihdella jopa negatiivisesta arvosta lähemmäs 1000 gCO₂/kWh:a. (Soimakallio ym. 2011).

Voitaisiin ajatella esimerkiksi, että uusi sähköntuotanto ei vaikuta kokonaispäästöihin juuri mitenkään, sillä EU:n päästökauppa muodostaa oman altaan päästöille, ja jos päästökaupasektorille kuuluvat sähköntuottajat vähentävät päästöjään, voidaan käyttämättä jääneet päästöoikeudet myydä muille toimijoille. EU:n päästökaupasektorin kokonaispäästöt todennäköisesti tasaantuvat asetetun päästökaton mukaisiksi uudesta sähköntuotannosta riippumatta. Tämän pitäisi vaikuttaa hieman päästöoikeuden hintaan, mutta tässä pyritään arvioimaan vaikutusta päästöihin.

Tässä hankkeessa päätettiin tarkastella Suomen rajojen sisällä vapautuvia päästöjä, joihin uudella sähköntuotannolla voidaan vaikuttaa, vaikka koko päästökauppa-altaan päästöt eivät vähentyisikään. Suomi-keskeisen tarkastelun kannalta on ongelmallista, että sähköntuotannon korvausvaikutus tapahtuu pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla: Kun tuulisähköä tuotetaan, jokin toinen voimalaitos jättää tuottamatta sähköä ja tuulivoima korvaa muuta tuotantoa epäsuorasti sähkömarkkinoiden kautta. Markkinamekanismien vuoksi korvausvaikutus ei välttämättä tapahdu Suomessa, vaan päästöt voivat pienentyä jossain muussa maassa. Toi-

saalta saman mekanismin vuoksi myös muissa Pohjoismaissa rakennettu tuuli-voimantuotanto pienentää päästöjä Suomessa.

Koska päästövaikutuksen maantieteellistä kohdentumista on erittäin haastavaa arvioida ja koska vuoteen 2010 mennessä Suomessa oli rakennettu vain vähän tuulienergiaa, tässä raportissa oletettiin, että vuosina 2000–2010 tuulienergialla tuotettu sähkö korvasi keskimääräistä fossiilista lauhdetuotantoa Suomessa: CHP-laitosten tuottaman sähkön määrää säätelee lämmön kysyntää, jolloin jäljelle jäävä tuotannon ja kulutuksen tasapainoa säättävä tuotantomuoto on fossiilisiin polttoaineisiin perustuva lauhdetuotanto¹.

Tässä julkaisussa tuulienergian päästövaikutusta on tarkasteltu vuositason tasolla, sillä se vastaa asetettujen tavoitteiden ja politiikkatoimien seurannan aikajaksoja. Käytännössä tuulienergia korvaa muuta tuotantoa tuntitasolla tai vielä lyhyemmällä ajanjaksolla, mutta tässä asia on yksinkertaistettu vuositason arvioiksi.

Yksinkertaisilla menetelmillä tehdyissä tarkasteluissa on rajauduttu vain sähköntuotantojärjestelmään ja kytkennät muuhun energiajärjestelmään ja päästökauppaan on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Malliarvioissa nämä ovat mukana.

Vuosina 2000–2010 Suomessa tapahtuneista kasvihuonekaasujen päästövähennyksistä on käytetty pienempänä arviona korvauskerrointa 550 gCO₂/kWh ja korkeampana arviona 700 gCO₂/kWh. Yksinkertaisissa arvioissa on käytetty kahta eri lukuarvoa, sillä tehdyt oletukset vaikuttavat voimakkaasti tulokseen. Kumpikaan lukuarvo ei ole sinänsä oikein, sillä päästövähennys on arvioitu toteutuneen menneisyyden ja oletetun menneisyyden erotuksena. Tuulienergian syöttötariffin työryhmä arvioi päästövähennyksiä korvauskertoimella 600 gCO₂/kWh (TEM, 2009a).

Korvattavan sähkön päästökerroin pystytään arvioimaan menneille vuosille tilastoista, mutta tulevia päästövähennyksiä arvioitaessa joudutaan tekemään enemmän oletuksia. Yksi keskeisimpiä lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä on muun muassa ilmastopolitiikan kehittyminen. Vuoteen 2020 mennessä Pohjoismaissa on tarkoitus lisätä CO₂-vapaata sähköntuotantoa, modernisoida voimalaitoksia ja siirtyä vähäpäästöisempiin polttoaineisiin, kuten maakaasuun, jolloin sähkön korvaavuuskertoimet laskisivat. Toisaalta pohjoismaiset markkinat on tarkoitus liittää voimakkaammin Saksan verkkoon, missä sähkön hinta on pääsääntöisesti suurempi kuin Pohjoismaissa, jolloin tuulienergia korvaisi selvästi enemmän hiileen perustuvaa tuotantoa, mutta suurelta osin Saksassa.

Yksinkertaisissa arvioissa on oletettu, että sähkön korvaavuuskerroin pysyy samana myös vuosina 2011–2020, mutta korvausvaikutuksesta vain 200–300 gCO₂/kWh kohdistuisi Suomeen. Tulevia päästövähennyksiä tarkasteltiin yksinkertaisten arvioiden lisäksi myös energiajärjestelmämallilla, jossa päästövähennyskertoimia ei jouduttu oletamaan vaan malli laski ne. TIMES-mallin mukaan Suomen tuulienergian tavoitteella saavutettavista päästövähennyksistä kohdistuisi

¹ Todellisuudessa hetkellisiä kulutusmuutoksia säädellään paljon vesivoimavarojen avulla, mutta niiden kokonaiskäyttö ei juurikaan riipu säätövoiman käytöstä. Kulutettu vesivaranto on myöhemmin korvattava jollakin muulla tuotannolla, ja vastaavasti purkamaton vesivaranto voidaan käyttää myöhemmin muun tuotannon sijasta.

Suomeen 100–300 gCO₂/kWh vuonna 2020 riippuen mallinnetusta skenaariosta (luku 3.3.2).

1.5.4 Biokaasureaktorien lämmöntuotannon päästövaikutus

Biokaasureaktorit tuottavat yleensä sekä sähköä että lämpöä. Tässä on oletettu, että biokaasureaktorien tuottama sähkö vähentää päästöjä kuten tuulisähkö. Tuotetun lämmön osalta tilanne on kuitenkin hieman monimutkaisempi, sillä lämpöä ei kuljeteta pitkiä matkoja ja korvausvaikutus riippuu oleellisesti siitä, mihin biokaasureaktori rakennetaan.

Jos biokaasureaktori rakennettaisiin esimerkiksi olemassa olevan kaukolämpöverkon yhteyteen, se korvaisi juuri sen kaukolämpöverkon voimalassa käytettyä polttoainetta. Jos biokaasureaktori rakennettaisiin esimerkiksi maatilan tai teollisuuslaitoksen yhteyteen, korvaisi se siellä lämmöntuotantoon käytettyä polttoainetta. Mahdollisia vaihtoehtoja on lukuisia, eikä ole mahdollista ennakoita, mihin yksittäisiä biokaasureaktoreita tullaan rakentamaan. Tässä onkin oletettu, että biokaasureaktoreilla korvataan keskimääräistä fossiilisiin polttoaineisiin perustuva lämmöntuotantoa.

Suomessa lämmöntuotannon keskimääräinen päästökerroin vuosina 2000–2010 oli 200–290 gCO₂/kWh, kun tarkastellaan fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa lauhde- ja yhteistuotantoa (CHP). Ero pienemmän ja suuremman arvion välillä johtuu menetelmävalinnoista, joista yksi keskeisimmistä on CHP-tuotannon päästöjen jakaminen sähkön ja lämmön välille. Biokaasureaktorien yksinkertaisissa arvioissa on oletettu, että lämmön korvauskerroin säilyy samana myös tulevaisuudessa.

1.5.5 Sähkön päästövähennysten jakautuminen PK- ja ei-PK-sektorille

Sähkön- ja lämmöntuotannon jakautumista päästökauppa ja ei-päästökauppa-sektorille on arvioitu kahdella eri tavalla. Taulukossa 1.3 verrataan kasviuonekaasuinventaarien luokkaa 1.AA.1.A (Public electricity and heat production) sekä päästökauppasektorin päästöluokkaa 1 (Combustion installations). Arviossa on oletettu, että 1.AA.1.A:n sisältämät päästöt, jotka eivät ole luokassa ETS 1, vastaisivat ei-PKS-osuutta sähkön ja lämmön tuotannosta. Ei-PKS-osuus sähkön- ja lämmöntuotannosta olisi tämän arvion mukaan 1–3 %, mutta tarkastellut luokat eivät välttämättä täysin vastaa toisiaan.

Taulukko 1.3. Kasviuonekaasuinventaarin julkisen sektorin sähkön ja lämmön-tuotannon sekä päästökaupan sisältämien polttolaitosten päästöjen vertailu ja niistä arvioitu ei-PKS-osuus.

	2005	2006	2007	2008	2009
	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂
Public electricity and heat production (1.AA.1.A)	18,9	29,8	27,7	21,1	22,4
Combustion installations (ETS 1)	18,7	29,3	27,4	20,8	21,8
ei-PKS-osuus (%)	1 %	2 %	1 %	1 %	3 %

Toinen mahdollinen tapa arvioida päästöjen jakautumista on verrata päästöjä toimialaluokituksen perusteella. Tilastokeskus on jakanut toimialaluokan 40 (toimialaluokitus 2002) päästöt eri sektoreille. Tilastokeskuksen käyttämä jako ja siitä laskettu päästöjen ei-PKS-osuus on esitetty taulukossa 1.4. Tämän jaon mukaiset tulokset olisivat muuten edellistä arviota luotettavammalla, mutta toimiala 40 sisältää myös kaasuhuollon, mikä on enemmän kuin mistä tässä tarkastelussa oltaisiin kiinnostuneita. Tämän arvion mukaan ei-PKS-osuus sähkön ja lämmön päästöistä olisi 3 %.

Taulukko 1.4. Toimialaluokituksen perusteella laskettu ei-PKS-osuus sähköntuotannon CO₂-päästöistä (Tilastokeskus 2011d).

	2005	2006	2007	2008	2009
	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂
40 Sähkö-, kaasu- ja lämpöhuolto (PKS)	18,1	29,1	26,9	20,4	21,4
40 Sähkö-, kaasu- ja lämpöhuolto (ei-PKS)	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6
40 Sähkö-, kaasu- ja lämpöhuolto (Yhteensä)	18,8	29,9	27,6	21,0	22,0
Ei-PKS-osuus (%)	4 %	3 %	3 %	3 %	3 %

Kun myöhemmin tässä raportissa on arvioitu sähköntuotannon päästövähennyksen jakautumista päästökauppasektorin ja ei-päästökauppasektorin välillä, arviot on käytetty suhdetta 97 % (PKS) ja 3 % (ei-PKS). Arvio perustuu oletukseen, että päästövähennykset jakautuisivat tasaisesti nykyisten päästöjen suhteessa. Tarkempi arvio tulisi tehdä kattilakohtaisesti, sillä etenkin metsähakkeen käytön lisääminen saattaa vähentää päästöjä pienissä kattiloissa enemmän kuin yllä lasketun keskiarvon perusteella voisi olettaa.

2. Metsähake

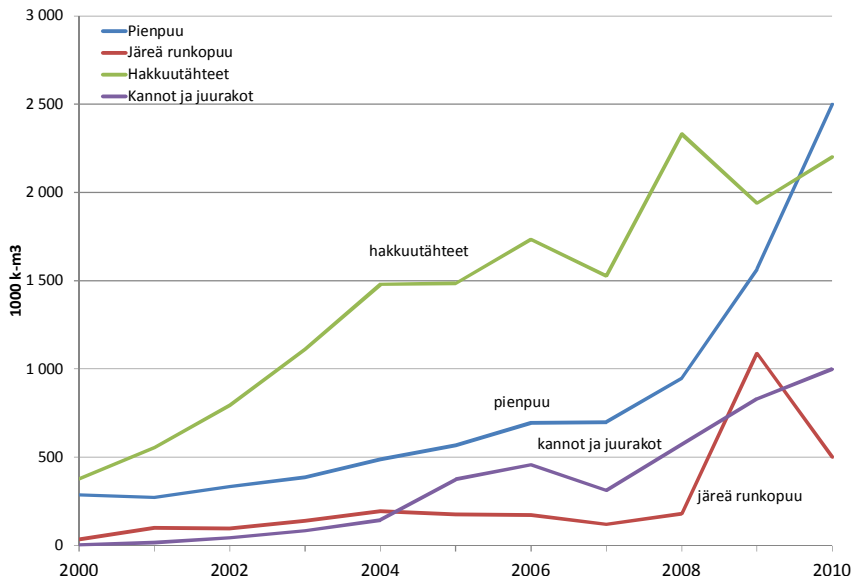
2.1 Taustaa

Metsähakkeella tarkoitetaan energiantuotantoon tarkoitettua haketta, jonka raaka-aineena ovat

- hakkuutähteet eli uudistusaloilta kerättävä oksa- ja latvusmassa
- uudistushakkuualoilta nostettavat kannot ja juurakot
- pienpuu eli pieniläpimittainen puu, jota korjataan nuorten metsien hoitokohteilta tai ensiharvennuksilta
- ainespuun mitat täyttävä runkopuu, joka ei esim. lahovikaisuutensa vuoksi kelpaa puunjalostusteollisuuden raaka-aineeksi.

Metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa on kasvanut lähes yhdeksänkertaiseksi vuosien 2000 ja 2010 välillä (kuva 2.1). 2000-luvun alkupuolella suurin osa metsähakkeesta oli latvusmassahaketta. Viime vuosina etenkin pienpuuhakkeen osuus on kasvanut voimakkaasti.

2. Metsähake



Kuva 2.1. Lämpö- ja voimalaitoksissa käytetty metsähake 2000–2010. Pienpuu sisältää karsimattoman pienpuun ja karsitun rangan (Metla, 2011).

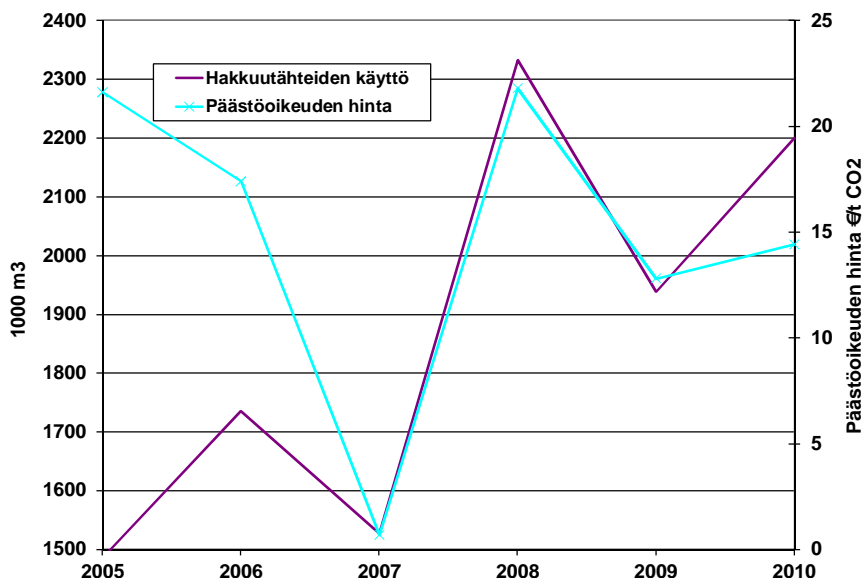
Vuonna 2010 tehtiin metsähakkeen käytössä uusi ennätys. Lämpö- ja voimalaitoksissa poltettiin metsähaketta 6,2 milj. m³ (noin 11 TWh). Yhdessä pientaloissa käytetyn metsähakkeen kanssa kokonaiskäyttö ylsi 6,9 miljoonaan kiintokuutiometriin.

Hakkeen energiakäyttöön vaikuttavat useat eri politiikkatoimet sekä muut tekijät. Metsähakkeen käyttömääriin 2000-luvulla ovat vaikuttaneet mm. vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten polttoturpeen, hinta ja saatavuus. Myös sääät ja erityisesti kovat pakkastalvet vaikuttavat metsähakkeen kysyntään.

Metsäenergian lisäämisen suurin ongelma on ollut puun huono kilpailukyky hiilidioksidipäästöjä aiheuttaviin polttoaineisiin nähden alhaisilla päästöoikeuden hinnoilla eli energialaitosten riittämätön maksukyky hankittavasta metsäenergiasta. Lähes kaikilla Suomen puuta käyttävistä voimalaitoksista puustamaksukyky määräytyy turpeen hinnan ja päästöoikeuden kustannusvaikutuksen perusteella. Tarkasteltaessa hakkuutähteiden käyttöä energiantuotannossa voidaan todeta, että viime vuosina käyttöön on vaikuttanut huomattavasti päästöoikeuden hinta (kuva 2.2). Vuonna 2010 hakkuutähteiden käyttö kasvoi kuitenkin aikaisempia vuosia enemmän suhteessa päästöoikeuden hintaan. Hakkuutähteiden käytön kasvuun lienee vaikuttanut myös metsäteollisuuden elpyminen.

Tukipolitiikalla on pyritty lisäämään metsähakkeen käyttöä. Metsähakkeen käyttöä energialaitoksissa on pyritty edistämään investointituilla sekä edistämällä metsähakkeella tuotetun sähkön tuotantoa. Metsäpäässä on tuettu nuorista metsistä korjattavan energiapuun (pienpuun) korjuuta ja haketusta. PäätehakkUILta kerättävälle metsäbiomassalle ei ole myönnetty korjuun tai haketuksen tukia.

Vuosina 2000–2010 tärkeimmät hakkeen käyttöön vaikuttavat politiikkatoimet olivat energiatuki, sähköntuotannon verotuki (normaalia pienempi sähkövero) sekä nuoren metsän hoitokohteilta saatavan energiapuun korjuu- ja haketustuki osana kestävän metsätalouden rahoitustukea (Kemera-tuki). Vuodesta 2011 lähtien muuttuva sähköntuotantotuki korvaa sähköntuotannon verotuen. Laki pienpuun energiastuusta (101/2011) korvaa Kemera-tuen energiapuuta koskevin osin, mutta lain voimaantulo edellyttää vielä Euroopan komission hyväksynnän (MMM, 2011b).



Kuva 2.2. Hakkuutähteiden käyttö energiahakkeena ja päästöoikeuden hinta 2005–2010.

2.2 Poliittikakeinot vuoteen 2010 asti

2.2.1 Energiatuki

Energiatuella kannustetaan kuntia ja yrityksiä investoimaan haketta käyttäviin laitoksiin². Tukea voidaan myöntää myös puupolttoaineen tuottamiseen ja käsitteilyyn tarvittaviin laitteisiin.

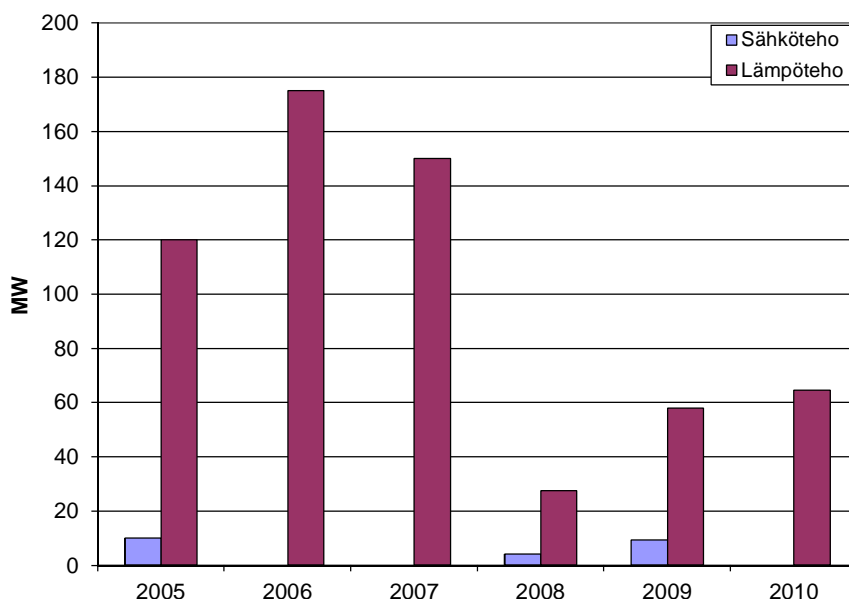
² Investointitukia myönnetään myös hakkeen käyttöön maataloilla ja pientaloissa, mutta ne on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle.

2. Metsähake

ELY-keskukset (entiset TE-keskukset) ovat myöntäneet alle kahden miljoonan euron tukia niin kutsuttuihin tavanomaisen teknologian hankkeisiin. Tuen suuruus on tyypillisesti ollut 15–20 %, ja tukitasot ovat pysyneet samoina viime vuosina.

Tukea on voitu myöntää laitoksille, joiden pääpolttoaineena (> 50 %) on puu. Käytännössä hakemusvaiheessa turpeen osuudeksi on yleensä suunniteltu 10–20 %. Energiatukea saaneiden laitosten polttoaineenkäytön seurannalla on varmistettu, että puuta käytetään vähintään tuen saamisen ehtona ollut määrä. Myös turvetta käyttäville laitoksille on voitu myöntää tukea huoltovarmuusperusteella. Tällöin kysymyksessä on ollut *de minimis* -tuki eli vähämerkityksinen tuki, joka ei ylitä 200 000 euron rajaa. Lisäksi työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) on voinut myöntää tukea suuremman kokoluokan puupolttoaineita käyttäville laitoksille, jotka käyttävät uutta teknologiaa.

Energiatuen vaikuttavuutta kuvaavaksi indikaattoriksi voidaan valita energiatukea saaneet investoinnit puupolttoaineen käyttöön. Kuvassa 2.3 on esitetty energiatukea saaneet investoinnit sähkö- ja lämpötehoa vuosina 2005–2010. Vuosien 2008–2010 tiedoissa on mukana ainoastaan TEM:n maksama tuki.

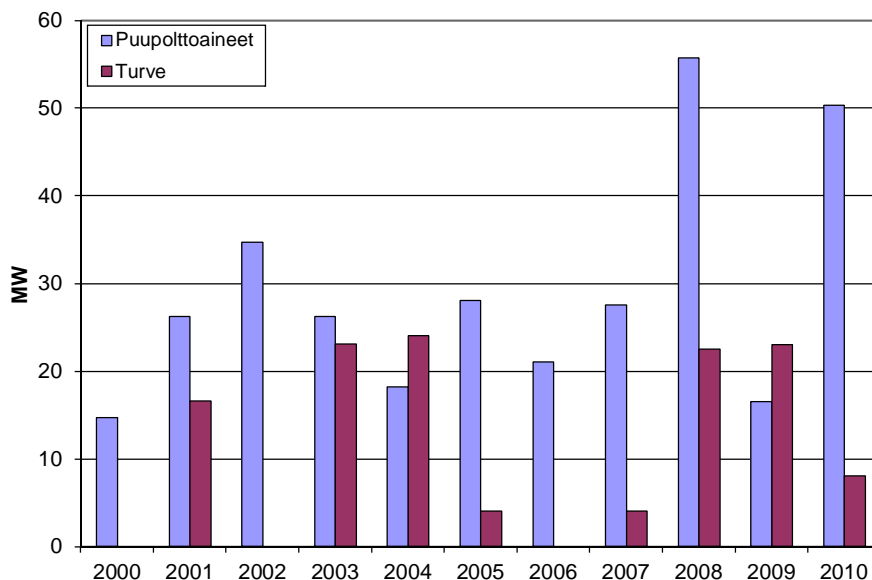


Kuva 2.3. Energiatukea saaneet investoinnit puupolttoaineita käyttäviin kattiloihin (sähkö- ja lämpöteho megawatteina) vuosina 2005–2010 (KTM, 2006; KTM, 2007; TEM, 2008b). Vuosien 2008–2010 tiedot on saatu TEM:stä, ja kuvassa ovat ainoastaan TEM:n myöntämät tuet.

Kuvassa 2.4 on esitetty investoinnit uusiin yli 20 MW puuta ja turvetta pääpolttoaineenaan käyttäviin kaukolämpökattiloihin vuosina 2000–2010. TEM:n mukaan ELY-keskukset myöntävät tukea päästökaupan piiriin kuulumattomille (< 20 MW)

puupolttoaineita käyttäville laitoksille lähes poikkeuksetta. Näin ollen voidaan olettaa, että kuvassa 2.4 esitetyt laitokset ovat saaneet energiatukea. Tarkastellulla aikavälillä puupolttoainetta pääpolttoaineenaan käyttäviä kattiloita on otettu käyttöön huomattavasti enemmän kuin turvetta käyttäviä kattiloita. Kuvasta ei kuitenkaan voida havaita merkittävää trendiä investoinneissa puupolttoaineita käyttäviin kattiloihin.

Nykyinen ja uusi haketta käyttävä laitoskanta mahdollistavat hakkeen käytön, sillä hakkeen tuotanto on kannattavaa vain, jos taloudellisella etäisyydellä hakkeen tuotantokohteesta on laitos, jossa hake voidaan polttaa. Investointien perusteella ei kuitenkaan voida päätellä kattiloiden käyttömääriä eikä sitä, mitä polttoaineita kussakin kattilassa käytetään. Uusien pienien kaukolämpökattiloiden käyttöönottomäärissä (kuva 2.4) ei myöskään voida havaita vastaavanlaista kasvavaa trendiä kuin hakkeen käyttömäärissä (kuva 2.1).



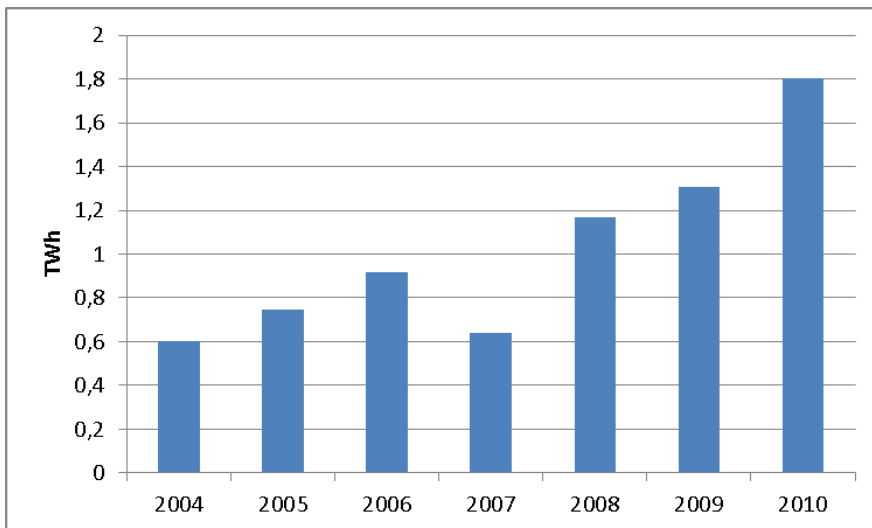
Kuva 2.4. Vuosina 2000–2010 käyttöönotetut alle 20 MW:n turvetta ja puuta pääpolttoaineena käyttävät kaukolämpökattilat (Energiateollisuus ry, 2011).

Investoinnit uuteen laitoskapasiteettiin – ja samalla uusien investointien saamat energiatuet – eivät siis yksinään voi selittää hakkeen käyttömäärien kasvua. Lisäksi uutta puupolttoainetta pääpolttoaineenaan käyttävää sähkötehoa on vuosina 2005–2010 rakennettu enemmän ilman energiatukea kuin energiatuen avustuksella. Näin ollen hakkeen lisääntynyttä käyttöä sähköntuotannossa ei myöskään voida laskea ainakaan täysimääräisesti energiatuen ansioksi.

2.2.2 Sähkön tuotantotuki

Sähkön tuotantotuesta säädetään laissa (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta 1260/1996). Metsähakkeella tuotetusta sähköstä on hakemukselta ollut mahdollista saada tuotantotukea 6,9 euroa megawattitunnilta. Lain mukaan metsähakkeella tarkoitetaan metsähakkuiden yhteydessä syntyvistä puutähteistä, kuten latvuksista, oksista, neulasista, lehdistä, kannoista ja juurakoista syntyvää polttohaketta, joka valmistetaan metsässä, terminaalissa tai tehtaalla. Pienpuusta valmistettu hake on kuulunut tuen piiriin sekä runkokuusta valmistettu hake sellaisissa poikkeustapauksissa, joissa runkokuusta ei ole sellaista määrää, että sitä voitaisiin toimittaa jatkojalostukseen. Näin ollen sähkön tuotantotukea ei pääsääntöisesti ole maksettu runkokuusta tehdyille hakkeelle. Käytetyn hakkeen raaka-ainetiedot perustuvat toimijoiden ilmoituksiin.

Sähkön tuotantotuen vaikuttavuutta kuvaavaksi indikaattoriksi voidaan valita tuotantotukea saanut sähköntuotanto metsähakkeella (kuva 2.5).



Kuva 2.5. Metsähakkeella tuotettu sähkö, joka on saanut sähkön tuotantotukea vuosina 2004–2010. Luvut perustuvat Tullihallituksen tietoihin.

Sähkön tuotantotuki on kannustanut metsähakkeen käyttöön lisäämällä metsähakkeen kilpailukykyä sähköntuotannon polttoaineena verrattuna muihin polttoaineisiin. Tuotantotukea saaneen metsähakkeella tuotetun sähkön määrä on kasvanut vuodesta 2004 vuoteen 2010 joka vuosi, poikkeuksena vuosi 2007.

Sähkön tuotantotuen voidaan arvioida vaikuttaneen myönteisesti hakkeen käytönmäärien kasvuun. Toisaalta tuki on pysynyt samalla tasolla (0,69 snt/kWh) vuoden 2003 alusta lähtien. Lisäksi on huomattava, että metsähakkeen tuotantotukea saaneen sähkön tuotanto notkahti vuonna 2007, jolloin päästöoikeuden hinta oli

alhainen. Näin ollen sähkön tuotantotuki ei yksinään voi selittää metsähakkeen käytön kasvua.

2.2.3 Tuet energiapuun korjuuseen ja haketukseen (Kemera)

Uudistushakkuualoilta korjattavien hakkuutähteiden keruuseen tai haketukseen ei myönnetä Suomessa valtion tukia. Myöskään kantojen nostoa tai murskausta ei tueta valtion varoin. Poikkeuksena on kuitenkin tuki, jota voidaan myöntää kantojen nostoon juurikäävän torjumiseksi uudistusaloilla. Tuki myönnetään kestävän metsätalouden rahoituslain (Kemera) nojalla.

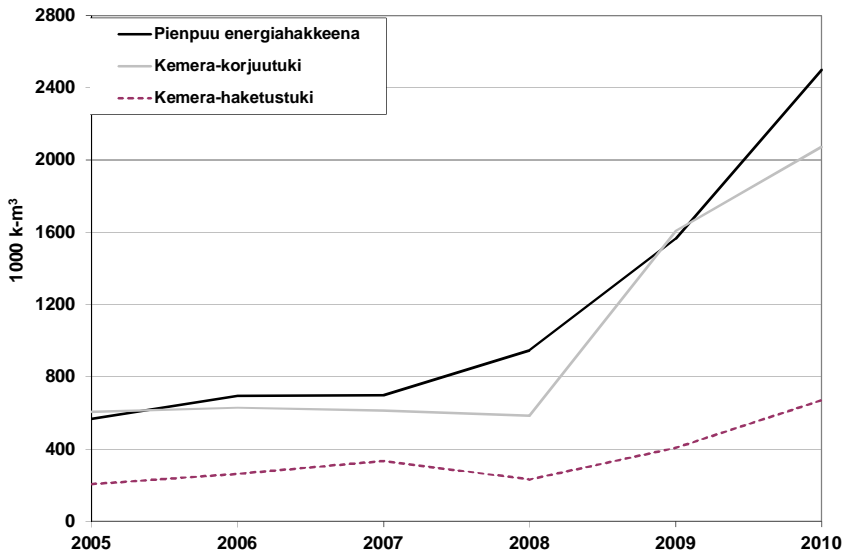
Nuoren metsän hoitokohteilta korjattavalle energiapuulle on myönnetty tukea vuodesta 1993 lähtien. Tätä niin kutsuttua energiapuun korjuutukea myönnettiin aikoinaan metsänparannuslain ja nykyisin Kemera-lain nojalla. Kemera-tukien ensisijainen tarkoitus on edistää puuntuotantoa ja turvata metsien hyvä kasvukunto sekä monimuotoisuus, jolloin metsänhoitotöiden sivutuotteena saadaan myös energiapuuta. Valtion tuki energiapuun korjuuseen nuoren metsän hoitokohteilta on ollut perusteltua, koska korjuu on kallista johtuen korjuun työvoimavaltaisuudesta ja pienestä kertymästä hehtaaria kohden. Vuodesta 1997 lähtien on myönnetty tukea myös energiapuun haketukselle.

Kuten muitakin Kemera-tukia, energiapuun korjuu- ja haketustukia myönnetään vain yksityisten metsänomistajien mailta korjatulle energiapuulle. Korjuutukea voidaan myöntää, kun puuta kertyy nuoren metsän hoitokohteelta vähintään 20 kiintokuutiometriä ja se luovutetaan energiakäyttöön. Vuosien varrella energiapuun korjuun ja haketuksen tietyt rahoitusehdot sekä tukitasot ovat muuttuneet. Viime vuosina tukitasot ovat kuitenkin pysyneet samoina. Energiapuun korjuutuki on 7 euroa/kiinto-m³. Energiapuun haketuksen tuki on 1,70 euroa / haketettu irtom³.

Kemeran korjuu- ja haketustuilla on vaikutettu pienpuuhakkeen tarjontaan kompensoimalla hankinnan kustannuksia, kun muut tuet vaikuttavat puolestaan energiapuun kysyntään parantamalla loppukäyttäjän puustamaksukykyä. Tulee kuitenkin huomata, että Kemeran korjuu- ja haketustuet kohdistuvat vain yhteen hakejakeeseen (pienpuuhake), ja sen osalta vain yksityismailta korjatun energiapuun korjuuseen ja haketukseen.

Kemera-tuen indikaattoriksi voidaan valita Kemera-tukea saanut energiapuun korjuu ja haketus. Kuvassa 2.6 on esitetty Kemeran korjuutukea saaneet pienpuun korjuumäärät, Kemera-haketustukea saaneet pienpuumäärät sekä pienpuuhakkeen (karsimaton pienpuu ja karsittu ranka) käyttö energiantuotannossa 2005–2010.

2. Metsähake



Kuva 2.6. Kemera-tukea saaneen pienpuun korjuu ja haketus (Tapio, 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011) sekä pienpuun käyttö hakkeen raaka-aineena.

Kuvan 2.6 perusteella pienpuuhakkeen käyttömäärät korreloivat melko selvästi Kemeran energiapuun korjuu- ja haketustukien kanssa. Pienpuuhakkeen käyttömäärät ovat kuitenkin useimpina vuosina olleet hieman suurempia kuin tukea saaneet korjuumäärät. Kemera-tukea myönnetään vain yksityisten metsänomistajien nuoren metsän hoitokohteilta korjatun energiapuun korjuuseen ja haketukseen tietyillä ehdoilla. Lisäksi pienpuun korjuuseen vaikuttavat monet muut tekijät, kuten investoinnit haketta polttaviin voimalaitoksiin sekä investoinnit puupolttoaineen tuottamiseen ja käsittelyyn tarvittaviin laitteisiin (hakkurit, murskaimet), joille on myönnetty energiatukea (ks. luku 2.2.1). Energiapuun korjuuseen nuoren metsän hoitokohteilta ovat vaikuttaneet myös metsänhoitoon liittyvät kampanjat.

Myönnetty haketustuen määrät (kuutiometreinä) ovat olleet korjuutuen määriä pienemmät, sillä osa tuen avulla korjatusta energiapuusta on käytetty polttopuuna ilman haketusta. Myöskään kaikkeen haketukseen ei välttämättä ole haettu tukea, jos haketettu määrä on ollut pieni (MMM, 2008).

Kemera-tukien määrä vuositasolla riippuu myös puuntuotannon kestävyys turvaamiseen osoitetun tuen kokonaismäärästä. Kiinnostus valtion tuella osittain rahoitettaviin töihin on useana vuonna ollut suurempaa kuin valtion budjetissa Kemeraan osoitetut määrärahat. Energiapuun korjuuseen ja haketukseen kohdennetut määrärahat ovat useana vuotena olleet riittämättömiä. Myös puukaupan suhdanteilla on vaikutusta pienpuun korjuumääriin ja siten Kemera-tukien kysyntään. Esimerkiksi vuonna 2009 uudistushakkuiden määrän aleneminen merkitsi energiapuun korjuun kasvua nuorista metsistä.

Juurikäävän torjuntatarkoituksessa kannonnostoon myönnettyjen Kemera-tukien osalta ei voida esittää arviota siitä, missä määrin tuella on ollut vaikutusta kantojen käyttömääriin energiantuotannossa. Yksityismetsien pinta-alasta kantoja korjattiin vuonna 2010 keskimäärin 10 %:lta eli noin 20 000 hehtaarilta. Tästä arviolta noin kymmenesosa on ollut kohteita, joille on myönnetty tukea kantojen nostoon juurikäävän torjumiseksi.

2.2.4 Poliittikkakeinojen yhteisvaikutus vuosina 2000–2010

Edellisissä luvuissa (2.2.1–2.2.3) tehdyissä tarkasteluissa havaittiin, että valituista indikaattoreista parhaiten metsähakkeen käytön kehitystä vastasi pienpuun korjuutukea saanut hakemäärä, joka vastaa melko hyvin pienpuun käyttöä hakkeen raaka-aineena. Energiatukea ja sähköntuotannon verotukea kuvaavat indikaattorit eivät sen sijaan korreloineet metsähakkeen energiakäytön kanssa. Taulukossa 2.1 on vedetty yhteen edellä kuvatut politiikkatoimet, niiden vaikutusta kuvaavat indikaattorit ja politiikkatoimien eliniät.

Taulukko 2.1. Hakkeen käyttöön vaikuttaneet politiikkatoimet, niitä kuvaavat indikaattorit, sekä politiikkatoimien eliniät.

Politiikkatoimi	Indikaattori	Toimen elinikä
Energiatuki	Tukea saanut kaukolämpö-/voimalaitoskapasiteetti	Investoinnin elinikä (noin 30–40 vuotta)
Sähköntuotannon verotuki	Tukea saanut hakkeella tuotettu sähkö	Periaatteessa toimen elinikä lyhyt, eli vaikuttaa vain sinä vuonna, jona tuotantotukea myönnetään. Voi kuitenkin vaikuttaa välillisesti investointeihin ja muuttaa toimintatapoja, jolloin elinikä pitempi.
Kemera-tuki	Tukea saanut energiapuun korjuu ja haketus	Periaatteessa toimen elinikä lyhyt, eli vaikuttaa sinä vuonna, jona tukea myönnetään. Voi kuitenkin vaikuttaa välillisesti investointeihin ja toimintatapoihin, jolloin elinikä pitempi.

Vaikka energiatuen ja sähköntuotannon verotuen ei havaittu suoraan selittävän kasvaneita metsähakkeen käyttömääriä, voidaan hakkeen käytön kasvun kuitenkin arvioida olleen suureksi osaksi politiikkatoimien ansiota. Yksi tärkeimmistä hakkeen käyttömäärien kasvuun vaikuttaneista politiikkatoimista on päästökauppa, jonka vaikutusta ei kuitenkaan pystytä erottamaan muista tekijöistä. Poliittikkatoimien vaikutusta hakkeen raaka-aineen mukaan on tarkasteltu taulukossa 2.2.

Taulukko 2.2. Tärkeimmät hakejakeet ja niiden käyttöön vaikuttaneet politiikkatoimet. Lihavoituna on esitetty toimi, jonka oletetaan vaikuttaneen kehitykseen eniten.

Hakejake	Tärkeimmät toimet	Perustelu
Hakkuu-tähdehake	Päästökauppa Energiatuki Sähkön tuotantotuki	Hakkuutähteiden energiakäyttö korreloi päästöi- keuden hinnan kanssa 2007–2009. 2000-luvun alussa investoinnit (energiatuki) mahdollistivat hakkeen käytön kasvun. Sähkön tuotantotuki on parantanut hakkeen kilpailukykyä.
Pienpuuhake	Kemera-energiapuun korjuutuki ja haketustuki Metsänhoitotoimet Energiatuki Sähkön tuotantotuki Päästökauppa	Karsimattoman pienpuun energiakäyttö korreloi myönnettyjen Kemera-tukien kanssa (ilman tukea pienpuun energiakäyttö kannattamatonta). Keme- ra-tuki perustuu metsänhoitotoimiin, joita on edis- tetty useilla muillakin politiikkatoimilla. Investoinnit käyttökohteisiin lähellä korjuukohdetta ja investoin- nit hakkureihin ja murskaimiin (energiatuki) ovat mahdollistaneet pienpuun energiakäytön. Sähkön tuotantotuki ja päästökauppa ovat parantaneet hakkeen kilpailukykyä sähköntuotannossa.
Kantomurske	Päästökauppa Energiatuki Sähkön tuotantotuki Kemera-tuki (kantojen nosto)	Kantoja ja juurakoita käytetään yleensä suuren kokoluokan (eli päästökauppaan kuuluvissa) laitoksissa kantomurskeen sisältämän maamassan vuoksi. Kantojen ja juurakoiden käyttö korreloi jossain määrin päästöoikeuden hinnan kanssa. 2000-luvun alussa investoinnit (energiatuki) mah- dollistivat hakkeen käytön kasvun. Energiatuki on myös mahdollistanut investointeja hakkureihin ja murskaimiin. Sähkön tuotantotuki on parantanut hakkeen kilpailukykyä. Kemera-tukea on myönnet- ty juurikäävän torjuntatarkoituksessa kantojen nostoon, mikä on saattanut lisätä kantojen ohjau- tumista energiakäyttöön.

2.3 Politiikkakeinot vuodesta 2011 lähtien

Hallituksen esityksen mukaisesti metsähakkeen käyttöä polttoaineena edistetään siten, että sen käyttö kasvaisi 25 terawattituntiin vuoteen 2020 mennessä (HE 152/2010). Suomen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman mukaan tavoitteena on nostaa metsähakkeen käyttö sähkön ja lämmöntuotannossa 13,5 Mm³:iin, mikä vastaa energiasisällöltään 28 TWh (TEM, 2010b). Verrattuna vuoden 2010 tasoon (6,2 Mm³) metsähakkeen käytön olisi siis yli kaksinkertaistuttava lämpö- ja voimalaitoksissa, jotta tavoitteeseen päästään.

Vuodesta 2011 lähtien energialaitoksien osalta metsähakkeen käyttöä edistetään muuttuvalla sähkön tuotantuella. Metsäpäässä hakkeen käyttöä edistetään pienpuun energiatuella.

On mahdollista, että vuoteen 2020 mennessä tarvitaan vielä uusia politiikkakeinoja, jotta hakkeen käytön tavoitteeseen päästään. Selvitettävänä ovat muun

muassa politiikkakeinot, joiden tavoitteena on edistää kivihiilen käytön korvaamista metsähakkeella.

2.3.1 Muuttuva ja kiinteä sähkön tuotantotuki

Muuttuva tuotantotuki metsähakkeella tuotetulle sähkölle

Lain mukaan metsähakkeella tuotetulle sähkölle maksetaan muuttuvaa tuotantotukea 0–18 €/MWh (Laki uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 2010/1396). Tuki astui voimaan keväällä 2011. Olennainen ero aiempaan sähkön tuotannon verotukseen on, että nykyinen tuki on sidottu päästöoikeuden hintaan. Tukea maksetaan noin 90 metsähaketta polttavalle laitokselle. Tukea maksetaan siten, että päästöoikeuden hinnalla 10 €/tCO₂ tuki on 18 €/MWh ja päästöoikeuden hinnalla 23 €/tCO₂ tuki on 0 €/MWh.

Niille laitoksille, jotka eivät kuulu syöttötariffijärjestelmään, voitiin vuonna 2011 maksaa tuotetusta sähköstä kiinteää sähkön tuotantotukea 6,9 €/MWh. Tämä tukimuoto poistuu vuoden 2012 alusta (TEM, 2011a).

Pienten CHP-laitosten syöttötariffi

Pienten CHP-laitosten syöttötariffi astui voimaan keväällä 2011. Tavoitteena on, että syöttötariffi kannustaisi perustamaan uusia laitoksia, jotka tuottaisivat sähköä ja lämpöä erityisesti sahateollisuuden sivutuotteista. Syöttötariffia sovelletaan kaikille puupolttoaineille. Näissä laitoksissa käytettäisiin kuitenkin todennäköisesti hyvin vähän metsähaketta, sillä tuen määrä on mitoitettu edullisen polttoaineen hinnan mukaan (käytännössä sivutuote esimerkiksi sahoilta). Näin ollen pienten CHP-laitosten syöttötariffi on jätetty pois metsähaketta koskevista tarkasteluista.

2.3.2 Pienpuun energiatuki

Laki pienpuun energiatuesta, joka on parhaillaan Euroopan komission hyväksyttävänä, korvaa nykyiseen Kemera-lakiin sisältyvät energiapuun korjuutuen ja hakeutuen. Tukea voidaan myöntää nuorten metsien hoito- tai ensiharvennuskohteilta saatavalle energiapuulle. Tuen myöntämisen edellytyksenä on, että energiakäyttöön luovutettava energiapuuerä on vähintään 40 kiintokuutiometriä ja että energiapuuerästä on mittaustodistus.

Tukea on tarkoitus maksaa enintään 40 kuutiometrille hehtaarilta ja tuen taso olisi 8 euroa kiintokuutiometriä kohden.

Hallituksen esityksen (HE 270/2010) mukaisesti tavoitteena on, että valtion tukeman harvennusmetsien energiapuun korjuussa yllettäisiin noin 4–5 miljoonan kiintokuutiometrin tavoitteeseen vuoteen 2020 mennessä. Tavoite vastaa energiasisällöltään 7–9 TWh:a.

2.4 Päästövähennysvaikutukset

Nykyisillä Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden laskentasäännöillä bioenergian käyttö oletetaan nollapäästöiseksi energiasektorilla eivätkä kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat maankäyttösektorilta³ ole mukana laskennassa. Ilmastopimukselle (UNFCCC) toimitettavassa kasvihuonekaasuinventaariossa ovat mukana myös maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöt ja nielujen aiheuttamat poistumat. UNFCCC:n inventaariossa pyritään kuvaamaan ihmisen toiminnan aiheuttamia vaikutuksia luonnontieteellisestä näkökulmasta, kun taas Kioton pöytäkirjan laskentasäännöt on sovittu osana kansainvälistä poliittista prosessia.

UNFCCC:lle toimitettavan inventaarion mukaan Suomen kasvihuonekaasujen poistuma (nielu) metsämaalla on ollut vuosien 2000–2010 välillä 28–48 MtCO₂ vuodessa (Tilastokeskus, 2011c).

Tässä julkaisussa on tarkasteltu politiikkatoimien kasvihuonekaasuvaikutuksia verrattuna tilanteeseen, jossa politiikkatoimia ei olisi. Tällöin myös metsähakkeen korjuulle ja energiakäytölle voidaan laskea päästövaikutus verrattuna siihen, että biomassa hajoaisi metsässä. Tämä tarkastelu ei ole riippuvainen metsien kokonaisnielun suuruudesta.

Luvussa 2.4.1 metsähakkeen energiakäytön kasvihuonekaasuvaikutusta on tarkasteltu Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden laskentasäännöillä, eli biomassan käyttö on oletettu nollapäästöiseksi energiasektorilla (IPCC:n laskentaohjeiden mukaisesti) eikä maankäyttösektori ole tarkastelussa mukana. Luvussa 2.4.2 sen sijaan on tarkasteltu metsähakkeen käytön kasvihuonekaasuvaikutusta tilanteessa, jossa vaikutukset maankäyttösektorilla ovat mukana. Luvun 2.4.2 ensimmäinen tarkastelu (kuva 2.8) kuvaa nykyisen UNFCCC:n inventaarion lähestymistapaa, jossa metsän hiilitaseen muutokset otetaan huomioon vuosittain. Toinen tarkastelu (kuva 2.10) kuvaa metsän hiilitaseen muutosten vaikutusta 100 vuoden aikajänteellä. Tarkastelut edustavat vaihtoehtoisia laskentatapoja, ja kuvaavat siten niitä mahdollisia riskejä, joita metsäenergian käytön laskennalliseen kasvihuonekaasutaseeseen liittyy. Käytännössä laskentasäännöistä päätetään poliittisessa prosessissa YK:n ja EU:n puiteissa.

Tässä luvussa on tarkasteltu metsähakkeen energiakäyttöä ainoastaan kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta. Käytännön päätöksentekoon vaikuttavat kuitenkin monet muutkin ympäristölliset, taloudelliset ja metsänhoitoon liittyvät näkökulmat.

2.4.1 Poliittikkatoimien päästövähennysvaikutus Kioton pöytäkirjan 1. velvoitekauden laskentasäännöillä

Luvussa 1.5.2 todettiin, että vuosina 2000–2010 hakkeen käytön voidaan arvioida korvanneen keskimääräistä fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käyttöä energia-

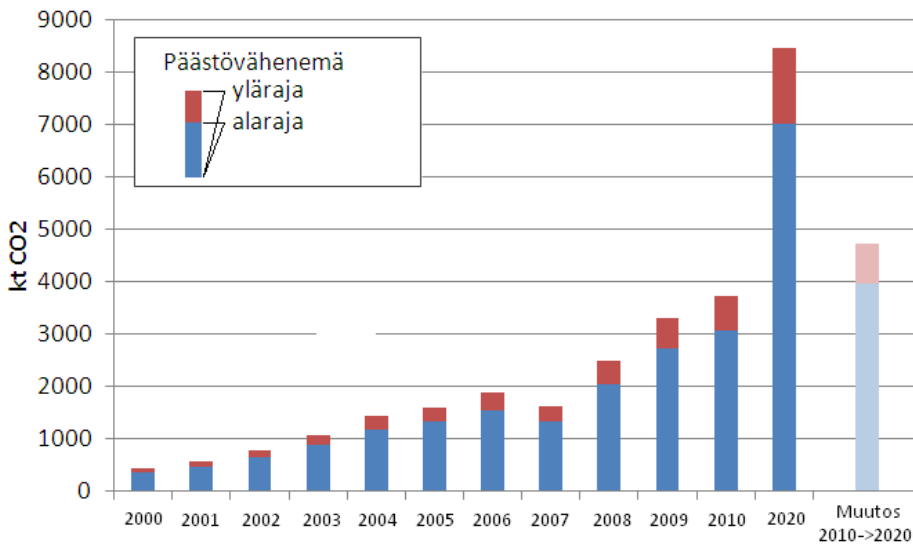
³ Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) -sektori.

ja muussa teollisuudessa. Hakkeen korvaamat polttoaineet vuosina 2011–2020 arvioitiin eri selvityksiin perustuen.

Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön ominaispäästö on vuosina 2000–2010 ollut keskimäärin 288 tCO₂/GWh. Polttoainekorvaavuudella saavutettavaa päästövähennemää arvioitaessa epävarmuutta aiheuttavat korvattavien polttoaineiden jakauman lisäksi fossiilisten polttoaineiden käytön hiilidioksidipäästökertoimet (epävarmuus ±2–5 %), sekä hakkeen energiasisältö eli muunnos yksiköstä m³ yksikköön GWh. Energiasisältö voi vaihdella huomattavasti kosteudesta riippuen. Polttoainekorvaavuuden arvioon on oletettu sisältyvän noin 10 %:n epävarmuus, jonka perusteella on laskettu korvauskertoimen ala- ja ylärajat vuosille 2000–2010.

Vuodelle 2020 oletuksena oli, että hakkeen lisäkäyttö korvasi polttoaineita, joiden keskimääräinen päästökerroin on 268–357 tCO₂/GWh. Kun mukaan lasketaan polttoainekorvaavuus 2000–2010, saadaan hakkeen kokonaiskäytön korvauskertoimeksi 272–329 tCO₂/GWh vuonna 2020.

Hakkeen käytön polttoainekorvaavuuksien päästövähennysvaikutus on esitetty kuvassa 2.7 ylä- ja alarajoina. Tämä kuvaa hakkeen käytöllä saavutettavaa päästövähennemää Kiotoon pöytäkirjan laskentasääntöjen mukaisesti.



Kuva 2.7. Hakkeen käytöllä saavutettavat päästövähennemät Kiotoon pöytäkirjan laskentasääntöjen mukaisesti vuosina 2000–2010 ja 2020 koko vuosittaiselle hakkeen käytölle. Viimeinen pylväs kuvaa päästövähennemää vuonna 2020, kun mukana on ainoastaan hakkeen lisäkäyttö vuoden 2010 jälkeen.

Tulosten perusteella vuonna 2010 hakkeen käytön polttoainekorvaavuudella saavutettiin 3,1–3,7 MtCO₂:n päästövähennemät. Vuosien 2011–2020 aikana tapahtuneella hakkeen lisäkäytöllä saavutettiin vuonna 2020 4,0–4,7 MtCO₂:n päästövähennemät.

Hakkeen käytön arvioidaan kasvavan erityisesti päästökauppasektorilla. Vuosina 2005–2009 energiantuotannon päästöistä keskimäärin noin 3 % tapahtui ei-päästökauppasektorilla (kts. luku 1.5.4). Tämän perusteella voidaan arvioida, että hakkeen käytön päästövähennyksestä (vuoden 2020 lisäkäyttö verrattuna vuoteen 2010) 3,8–4,6 MtCO₂ kohdistuisi päästökauppasektorille ja noin 0,1 MtCO₂ päästökaupan ulkopuolisille sektoreille.

2.4.2 Politiikkatoimien päästövähennysvaikutus ottaen huomioon vaikutus maaperän hiilitaseeseen

Luvussa 2.4.1 tarkasteltiin metsähakkeen käytön kasvihuonekaasuvaikutusta perustuen nykyisiin Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden laskentasääntöihin. Tässä luvussa tarkastellaan kahta vaihtoehtoista laskentatapaa, joissa maaperän hiilitaseeseen vaikutus otetaan huomioon. Ensimmäisessä laskentatavassa vaikutus maaperän hiilitaseeseen otetaan huomioon vuositasolla, ja toisessa laskentatavassa 100 vuoden aikajänteellä.

Käytännössä laskentaperiaatteista sovitaan osana kansainvälistä prosessia UNFCCC:n puitteissa. Myös EU:ssa saatetaan ottaa käyttöön uusia laskentasääntöjä metsähakkeen energiakäyttöä koskien, esimerkiksi osana mahdollista bioenergian käytön kestävyyskriteeristöä.

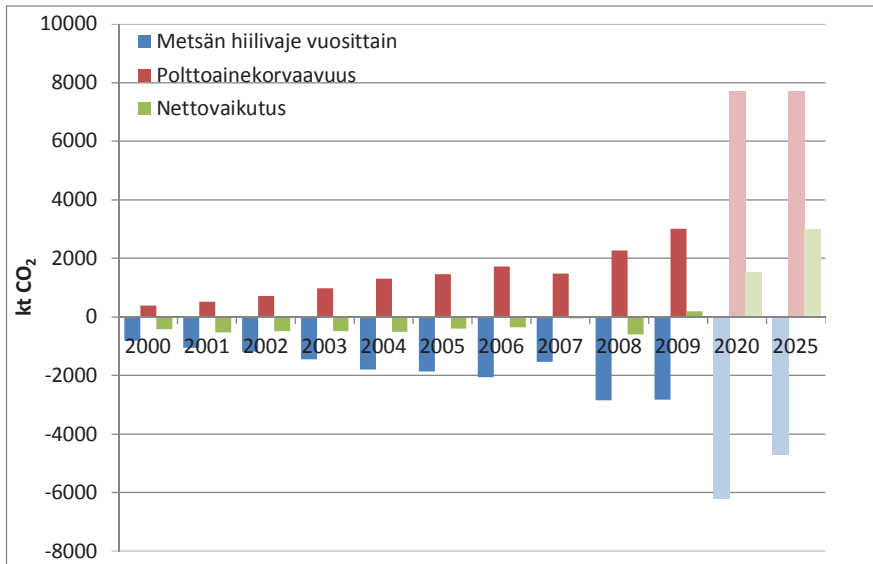
Tässä luvussa tehdyt tarkastelut perustuvat Liskin ym. (2011) tutkimukseen. Tarkasteluun liittyy kuitenkin huomattava epävarmuus, jota pyritään pienentämään muun muassa käynnissä olevassa Metlan ja SYKE:n yhteisessä tutkimushankkeessa.

Metsähakkeen energiakäyttö vaikuttaa metsien hiilitaseeseen kahdella tavalla. Ensinnäkin, jos biomassa jätettäisiin hajoamaan metsään, vapautuisi hiilidioksidi ilmakehään pitkän ajan kuluessa, kun se poltettaessa vapautuu välittömästi. Toiseksi, jos biomassa jätettäisiin metsään, jäisi siitä osa maaperän pitkäaikaiseen hiilivarastoon. Liski ym. (mt.) tarkastelivat hakkeen energiakäytön aiheuttamaa vaikutusta maaperän hiilitaseeseen vuositasolla verrattuna tilanteeseen, jossa biomassa hajoaisi metsässä. Tämä vastaa periaatteeltaan UNFCCC:lle toimitettavaa kasvihuonekaasujen inventaariota. Kuvassa 4.8 on näin laskettu vaikutus maaperän hiilitaseeseen ("hiilivaje") esitetty sinisillä pylväillä. Vuosien 2000–2008 osalta Liskin ym. (mt.) raportti kuvasi toteutuneita hakkeen korjuumääriä, kun taas myöhemmät vuodet perustuivat arvioihin.

Kuvasta on huomattava, että vaikka hakkeen käyttö energiantuotannossa lopetettaisiin, jatkuisi vaikutus maaperän hiilitaseeseen vielä tulevina vuosina. Kuvassa on esitetty myös hakkeen käytön polttoainekorvaavuudella saavutettava päästövähennys (luvussa 2.4.1 esitettyjen ylä- ja alarajojen keskiarvona) sekä hiilivajeen aiheuttaman nielun pienenemisen (päästön) ja polttoainekorvaavuuden aiheuttaman päästövähennyksen nettovaikutus.

Hakkeen energiakäytön aiheuttaman nielun pienenemisen laskentaan sisältyy huomattava epävarmuus. Epävarmuutta aiheuttaa muun muassa käytettävän hakkeen raaka-aine (esim. hakkuutähteiden ja kantojen osuus), mutta erityisen

suuri epävarmuus liittyy siihen, miten biomassan arvioidaan hajoavan metsässä, jos sitä ei korjata energiakäyttöön. Kuvassa 2.8 ei ole esitetty tätä epävarmuutta, sillä vaihteluvälin suuruudesta ei ole riittävästi tietoa.

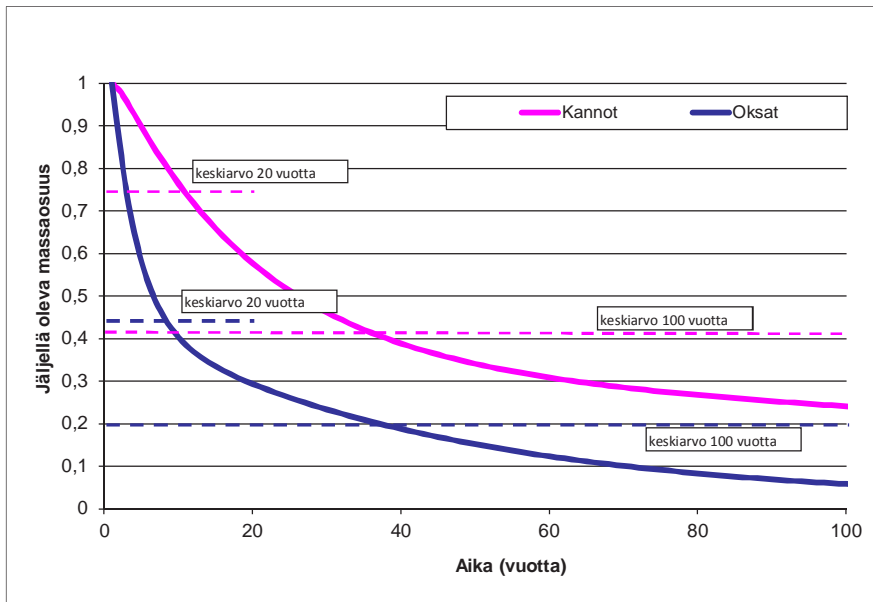


Kuva 2.8. Hakkeen energiakäytöstä aiheutunut vaikutus maaperän hiilitaseeseen ("hiilivaje") vuosittain vuodesta 2000 vuoteen 2008 sekä arviot vuosille 2009, 2020 ja 2025 (Liski ym., 2011), polttoainekorvaavuudella saavutettu päästövähennelmä koko hakkeen käytölle 2000–2009 ja arvio vuosille 2020 ja 2025, sekä nettovaikutus. Vuonna 2025 hakkeen käytön ja korvattavien polttoaineiden on oletettu olevan samat kuin vuonna 2020. Polttoainekorvaavuuden arvio on kuvassa 2.7 esitettyjen ylä- ja alarajojen keskiarvo. Vuoden 2020 metsän hiilivaje riippuu siitä, millaisia hakkeen käyttömäärät ovat olleet myös 2011–2020, kun taas polttoainekorvaavuudesta saatava päästöhöyry johtuu ainoastaan vuonna 2020 käytettävän hakkeen määrästä. Laskettaessa vaikutusta maaperän hiilitaseeseen on oletettu, että korjattavasta hakkeen raaka-aineesta 81 % on oksia ja 19 % kantoja (Liski ym., 2011). Hakkeen käyttömäärä sisältää myös runkokuusta valmistetun hakkeen.

Kuvasta 2.8 voidaan havaita, että kun hakkeen käyttö aloitetaan, sillä ei saavuteta päästövähennyksiä, kun vaikutus maaperän hiilitaseeseen otetaan huomioon. Tämän tarkastelun mukaan hakkeen käytön päästövaikutus kääntyi positiiviseksi (päästöt vähentäväksi) vuonna 2009. Vaikutus maaperän hiilitaseeseen pienenee ajan mittaan, sillä metsistä korjattu hake olisi lahonnut metsässäkin. Jos hakkeen käyttö lopetettaisiin vuonna 2020, ei päästövähennysvaikutusta enää tapahtuisi myöhemminä vuosina (punaiset pylväät), mutta metsän hiilivajeen päästöt jatkuisivat (siniset pylväät). Tässä lasketattavassa vertailutilanteena on siis hakkeen hajoaminen metsässä.

2. Metsähake

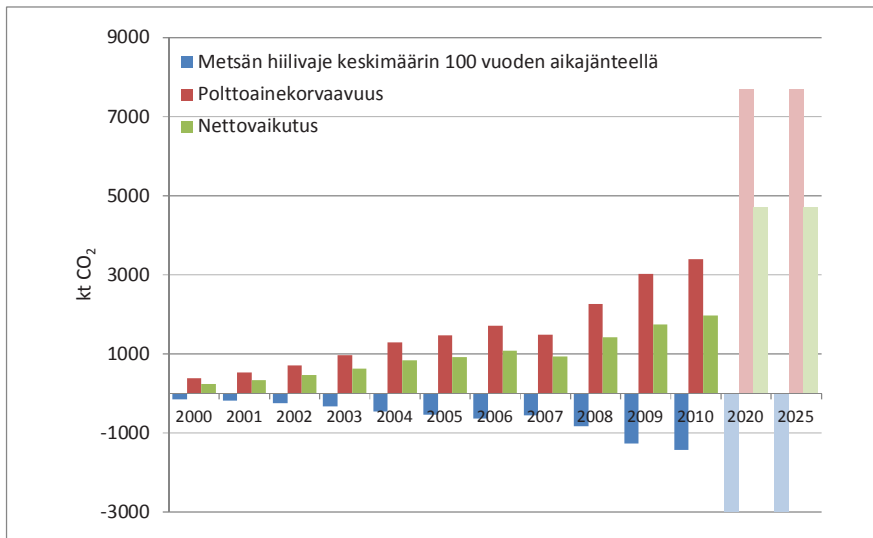
Hakkeen energiakäytön vaikutus metsän hiilitaseeseen on aikariippuvainen. Asiaa on kuvattu kuvassa 2.9, jossa esitetään, miten suuri osa oksien ja kantojen hiilisisällöstä on vielä jäljellä 0–100 vuoden kuluessa, kun biomassa hajoo metsässä.



Kuva 2.9. Oksien ja kantojen hajoaminen metsässä ajan funktiona (Repo ym., 2010).

Hakkeen käytön vaikutusta maaperän hiilitaseeseen voidaan siis kuvata myös käyttämällä keskimääräistä vuosittaista päästökerrointa laskettuna tietyllä aikajänteellä. Kun kuvassa 2.9 esitetyt jäljellä olevat hiilimäärän osuudet kerrotaan hakkeen polton päästökertoimella 394 tCO₂/GWh (Tilastokeskus, 2011b), saadaan sadan vuoden aikajänteellä kantojen käytön päästökertoimeksi 162 tCO₂/GWh ja oksien käytön päästökertoimeksi 79 tCO₂/GWh.

Kuvassa 2.10 on esitetty vaikutuksesta maaperän hiilitaseeseen aiheutunut päästö 100 vuoden aikajänteellä, polttoainekorvaavuudella saavutettu päästövähennelmä sekä näiden nettovaikutus vuosille 2000–2010 sekä arvio vuosille 2020 ja 2025. Vuosien 2020 ja 2025 hakkeen käyttömääränä on hallituksen tavoite, 13,5 Mm³, josta 5 Mm³:n on oletettu tulevan tavoitteen mukaisesti pienpuusta. Koko hakkeen käyttömäärästä 19 %:n oletettiin olevan kantoja Liskin ym. (2011) arvion mukaan, ja loput hakkeen käyttömäärästä on arvioitu saatavan hakkuutähteistä. Energiasisällöltään vuosien 2020 ja 2025 hakemäärä vastaa 25,8 TWh:a.



Kuva 2.10. Hakkeen käytön aiheuttama vaikutus maaperän hiilitaseeseen ("metsän hiilivaje") 100 vuoden aikajänteellä laskettuna, hakkeen käytöstä saatava päästövähennysvaikutus korvattaessa muita polttoaineita sekä näiden nettovaikutus. Polttoainekorvaavuuden arvio on kuvassa 2.7 esitettyjen ylä- ja alarajojen keskiarvo.

Kun tarkastelussa on mukana vaikutus maaperän hiilitaseeseen vuositasolla (kuva 2.8) ei hakkeen käytöllä aluksi saavuteta lainkaan päästövähennysvaikutusta, sillä puun poltossa vapautuu enemmän hiilidioksidia kuin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Jos puu jätettäisiin lahoamaan metsään, hajoaisi se hitaasti vuosikymmenten kuluessa. Kun puu poltetaan, hiilidioksidi vapautuu sen sijaan välittömästi. Kun hakkeen käyttöä jatketaan, tulee vertailukohtaksi tilanne, jossa osa hakkeesta hajoaisi metsässäkin, jolloin hakkeen käytön päästötase muuttuu vähitellen positiiviseksi eli hakkeen käytöstä syntyy vähemmän päästöjä kuin fossiilisen polttoaineen käytöstä. Jos kunakin vuonna poltetun hakemäärän keskimääräistä vuosittaista päästövaikutusta tarkastellaan sadan vuoden aikajänteellä (kuva 2.10), huomataan, että vaikutus maaperän hiilitaseeseen vähentää muiden polttoaineiden korvaamisesta saatua päästöhyötyä noin 40 %. Kuva 2.10 kuvaa teoreettista tilannetta, jossa hakkeen käytön päästökertoimeksi olisi poliittisesti sovittu sen 100 vuoden aikana aiheuttama keskimääräinen päästö. Sadan vuoden aikajänne on käytössä esimerkiksi lämmitysvaikutuskertoimia (GWP-kertoimet) määrittäessä.

Yllä esitetyssä tarkastelussa on oletettu, että vaikutus maaperän hiilitaseeseen johtuu täysimääräisesti metsäbiomassan energiakäytöstä. Toisaalta on kuitenkin huomattava, että energiakäyttöön ohjautuu myös sellaisia kantoja, jotka on nostettu puutautien torjuntatarkoituksessa. Näin ollen kaikkea kantojen energiakäytöstä aiheutuvaa vaikutusta maaperän hiilitaseeseen ei välttämättä tulisi laskea energiakäyttöön liittyväksi.

kennallinen työvoimatarve olisi noin 3 500 koneen- ja autonkuljettajaa, mikä on noin 2 500 enemmän kuin vuoden 2009 laskennallinen kuljettajatarve. Tutkimuksessa arvioitiin myös välillistä työvoimantarvetta kertomalla välitön työtarve kertoimella 0,4. Käytetty kerroin perustuu Tilastokeskuksen vuoden 1997 arviioon.

2.5.2 Koneiden valmistus

Metsätehon ja Pöyryn arviossa metsähakkeen laskennallinen tuotantokalustotarve olisi noin 1 900 konetta ja autoa vuonna 2020, jos käyttö olisi 25 TWh (Kärhä ym., 2009). Tämä olisi raportin mukaan 3,3-kertainen vuoden 2009 laskennalliseen tarpeeseen verrattuna. Uutta kalustoa tarvittaisiin siis noin 1 300 konetta ja autoa. Metsätehon ja Pöyryn arvion mukaan kaluston kokonaishankintakustannukset olisivat noin 500 miljoonaa euroa (alv 0 %).

Metlan arvion (Asikainen, 2012) mukaan yhden metsäkoneen valmistaminen työllistää suunnilleen yhden hengen. Laskelma perustuu suomalaisten metsäteknologiayritysten liikevaihtotietoihin, saatuihin tilauksiin, metsäkoneiden keskimääriin myyntihintoihin ja yritysten henkilömääriin.

Jos metsähakkeen käytön lisääminen 25 TWh:iin vaatisi noin 1 300 metsäkoneen ja -auton valmistamista tällä vuosikymmenellä, valmistettaisiin metsähakkeen käytön lisäämistä varten keskimäärin 130 konetta ja autoa vuodessa. Tämän lisäksi esimerkiksi harvesterit ja metsätraktorit uusitaan 3–5 vuoden välein (mt.), jolloin todellinen työllisyysvaikutus metsäteknologiateollisuuteen olisi melkein kaksinkertainen. Arviossa ei ole mukana alihankkijoiden työpanosta.

Lisäksi vahvat kotimaan markkinat todennäköisesti parantaisivat suomalaisen metsäteknologiateollisuuden kilpailutilannetta Eurooppalaisilla markkinoilla. Kansantalouselämä on tarkasteltu myös skenaariota, jossa vienti kehittyi politiikka-toimien ansiosta suotuisammin kuin ilman niitä (luku 6.3).

2.6 Suorat kustannukset valtiolle

Metsähakkeen käyttöä on edistetty investointituilla, sähköntuotannon verotuella ja energiapuun korjuun ja haketuksen tuilla. Vuosina 2005–2010 myönnetty tuet on esitetty taulukossa 2.3.

2. Metsähake

Taulukko 2.3. Metsähakkeen käyttöä edistävät tuet vuosina 2005–2010. Luvut ovat miljoonia euroja. Puu- ja puupohjaisten polttoaineiden käyttöön liittyvät investointituet kohdistuvat vain osittain hakkeen käytölle (Tullihallitus, 2010; KTM, 2006, 2007; TEM, 2008b, 2009b, 2010c, 2011b; Tapio, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011).

	<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>	<u>2008</u>	<u>2009</u>	<u>2010</u>
Sähköntuotannon verotuki, metsähake	5,2	6,3	4,4	8,1	9,0	12,4
Puupolttoaineen tuotanto, mm. hakkurit ja murskaimet, investointituki	4,5	5,2	2,7	2,0	10,6	5,4
Energiapuun korjuu ja haketus (Kemera)	5,5	5,7	5,1	5,1	13,0	17,5
<i>Puupolttoainevoimalaitokset ja lämpökeskukset, energiatuki</i>	<i>15,2</i>	<i>12,6</i>	<i>14,1</i>	<i>13,0</i>	<i>26,1</i>	<i>13,8</i>
Yhteensä	30	30	26	28	59	49

Vuodesta 2011 alkaen metsähakkeen tukimuodot muuttuivat. Metsähakkeen muuttuva tuotantotuki korvasi sähköntuotannon verotuen, ja Kemera-tuki korvataan jatkossa pienpuun energiatuella. Vuoden 2011 aikana niille metsähakevoimaille, jotka eivät saaneet muuttuvaa tuotantotukea, voitiin maksaa kiinteää sähkön tuotantotukea, mutta tukimuoto poistuu vuoden 2012 alusta. Yhteenveto kustannusarvioista on esitetty taulukossa 2.4. Tuki kasvaisi vuoteen 2020 mennessä noin 60 miljoonaan euroon vuodessa.

Lisäksi puupolttoainetta käyttäville uusille CHP-laitoksille voidaan maksaa syötötäriiffia, mutta tukitaso on niin pieni, ettei se todennäköisesti riitä ohjaamaan metsähaketta näihin voimalaitoksiin. Tämän vuoksi sen kustannuksia ei ole laskettu metsähakkeen edistämisen kustannuksiin.

Taulukko 2.4. Yhteenveto metsähakkeen arvioiduista tuista vuosina 2011–2014 ja 2020. Luvut ovat miljoonia euroja. Arviot ovat hallituksen esityksestä laiksi uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön tuotantotuesta (HE 152/2010).

	<u>2011</u>	<u>2012</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>	<u>2020</u>
Metsähakevoimala, muuttuva sähkön tuotantotuki	27	29	30	30	22
Metsähake, kiinteä sähkön tuotantotuki	3	0	0	0	0
Pienpuun energiatuki (sis. Kemera 2011)	10	22	24	26	36
Yhteensä	40	51	53	56	58

2.7 Kustannustehokkuus valtion kannalta

2.7.1 Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta

Päästövähennysten yksikkökustannus eli päästövähennysten kustannustehokkuus (€/tCO₂) valtion kannalta on laskettu yksinkertaisella menetelmällä erikseen sekä Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden laskentaperiaatteita noudattaen (eli ilman metsän hiilivajeen vaikutusta) sekä metsän hiilivajeen kanssa. Metsän hiilivajeen laskennassa on käytetty keskimääräistä sadan vuoden hiilivajetta.

Hakkeen päästövähennysten kustannustehokkuuden laskentaan vaikuttaa se, oletetaanko kaiken hakkeen käytön vuonna 2020 olevan silloin käytössä olevien politiikkatoimien ansiota, vai oletetaanko, että ainoastaan se käytön lisäys, joka on tapahtunut uusien politiikkatoimien käyttöönoton jälkeen (eli vuodesta 2011 lähtien), on näiden politiikkatoimien ansiota. Kumpikin oletus on omalla tavallaan perusteltavissa: hakkeen käyttö on kasvanut huomattavasti vuoteen 2010 mennessä, ja voidaankin olettaa, että haketta käytettäisiin vastaava määrä myös ilman tukitoimia vuonna 2020. Toisaalta metsähakkeen käyttö on toistaiseksi edellyttänyt tukitoimia, joten voitaisiin olettaa, että haketta ei käytettäisi vuonna 2020 lainkaan, jos tukitoimet lopetettaisiin.

Taulukossa 2.5 on esitetty päästövähennysten yksikkökustannus hakkeen lisäkäytölle vuosien 2004 ja 2010 jälkeen. Hakkeen käyttö alkoi jo ennen vuotta 2004, mutta aikaisempia vuosia ei voitu sisällyttää tarkasteluun, sillä niistä ei ollut käytävissä kustannustietoja.

Taulukko 2.5. Hakkeen edistämistoimien päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden laskentaperiaatteilla (eli ilman metsän hiilivajetta) sekä metsän hiilivaje huomioiden (100 vuoden tarkastelujakso). Arviot ovat keskimääräisiä kustannustehokkuuden arvoja vuosille 2005–2010 ja 2011–2020.

	Kioton laskenta- periaatteilla	Metsän hiilivaje huomioiden
	€/tCO ₂	€/tCO ₂
Keskimääräinen kustannustehokkuus hakkeen lisäkäytölle 2005–2020.	12–14	n. 22
Keskimääräinen kustannustehokkuus hakkeen lisäkäytölle 2011–2020	17–20	n. 29

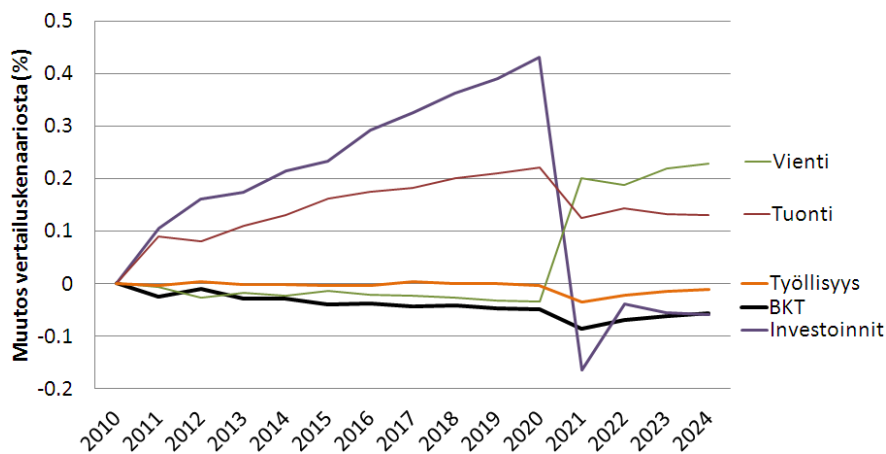
2.7.2 Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta

Hakkeen käytölle on laskettu uusiutuvan energian yksikkökustannus olettaen, että hyötysuhde hakkeen polttoaine-energiasta loppukäyttäjän energiaksi on 55–75 %. Tällöin vuonna 2020 hakkeen käytön kustannus uusiutuvan energian loppukäyttöä kohti on 3–4 M€/TWh. Laskennassa on oletettu, että 13,5 Mm³:n hakkeen käyttö

vastaa polttoaine-energiana 25,8 TWh:a. Lisäksi on huomattava, että mukana vuoden 2020 arvioissa on hakkeen käyttö kokonaisuudessaan vuonna 2020. Hakkeen käyttöä on kuitenkin tuettu jo 2000-luvun alusta alkaen, joten siihen vaikuttaneita kustannuksia on todellisuudessa tapahtunut jo ennen vuotta 2020. Tämä vaikuttaa osaltaan siihen, että vuonna 2020 hake on edullinen uusiutuvan energian muoto valtion kannalta.

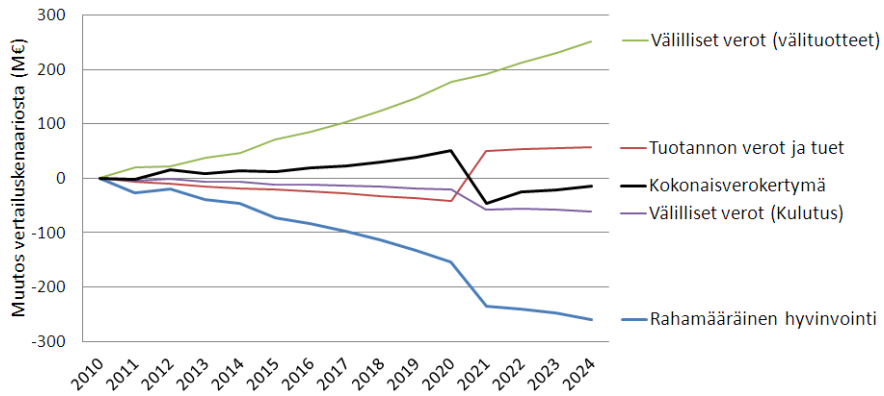
2.8 Kansantaloudelliset kustannukset

Kuvassa 2.12 tarkastellaan metsähakkeen energiakäytön lisäämisen kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Metsähakkeen käytön tuet kasvattavat alkutuotantoa ja investointeja energiasektorille. Investointien kasvu lisää kuitenkin myös tuontia (energiasektorin investointihyödykkeistä merkittävä osa koostuu tuontitavarasta), jolloin vaikutukset kansantuotteeseen jäävät negatiivisiksi vertailuskenaarioon nähden. Lisäksi investointien kasvu nostaa investointien hintatasoa muussakin teollisuudessa, mikä heikentää etenkin pääomavaltaisen teollisuuden kasvua vertailuskenaarioon verrattuna. Näistä syistä kokonaistyöllisyys heikkenee vertailuskenaarioon verrattuna; vaikka uusia työpaikkoja syntyykin ennen kaikkea metsätalouteen ja investointivaiheen aikana esimerkiksi rakennusteollisuuteen, muun teollisuuden kilpailukyky heikkenee rakennusvaiheen aikana. Investointien merkittävä hidastuminen vuoden 2020 jälkeen parantaa kuitenkin muun teollisuuden kilpailukykyä kahta kautta: toisaalta se vapauttaa resursseja vientisektoreille, toisaalta se laskee investointihyödykkeiden hintoja, jotka nousevat metsähakkeen lisäkäytön vaatimien mittavien investointien vuoksi vertailuskenaariota korkeammiksi.



Kuva 2.12. Metsähakkeen käytön kokonaistaloudelliset vaikutukset.

Kuvassa 2.13 tarkastellut valtion kokonaisverotulot kasvavat investointivaiheen aikana, mutta pidemmällä aikavälillä ne jäävät vertailuskenaariota alemmalle tasolle. Kustannustason nousu laskee hyvinvointia vertailuskenaarioon nähden pidemmälläkin aikavälillä.



Kuva 2.13. Metsähakkeen käytön vaikutukset hyvinvointiin ja verokertymiin.

3. Tuulivoima

3.1 Tuulivoimaa edistävät politiikkakeinot

Tuulivoima ei ole vielä Suomessa taloudellisesti kilpailukykyistä perinteisten energiatuotantomuotojen kanssa, joten sitä joudutaan tukemaan. Lisäksi uuden teknologian laajamittainen käyttöönotto vaatii myös mm. koulutuksen, kaavoituksen ja energijärjestelmän uudistamista. Suomessa erityisesti tuulivoimaan kohdistuvia politiikkakeinoja ovat

- syöttötariffi – vuodesta 2011 alkaen
- investointituki (energiatuki) – vuoden 2010 loppuun
- sähköverolain mukainen sähköntuotannon verotuki – vuoden 2010 loppuun
- Tuuliatlas ja muu tutkimustoiminnan tukeminen
- kaavoitus ja ympäristölupamenettely.

Suorien tukien lisäksi tuulivoiman käyttöönottoon kannustaa epäsuorasti mm. EU:n päästökauppa. Lisäksi on useita mekanismeja, joilla hallitus, yritykset ja kuluttajat voivat epäsuorasti tukea tuulivoimaa, kuten lisäämällä tuulivoimaan liittyvää tutkimusrahoitusta ja koulutusta, ostamalla tuulisähköä ja tiedottamalla tuulivoiman hyödyistä. Osa politiikkatoimista, kuten tuulipuistojen kaavoittaminen, mahdollistavat tuulivoiman rakentamisen, mutta eivät ratkaise investointipäätöstä. Tuulivoimaloiden rakentaminen on kaikkien näiden politiikkatoimien ansiota, mutta lopulta ratkaiseva tukimuoto on se, joka tekee investoinnin taloudellisesti kannattavaksi. Ennen vuotta 2011 ratkaisevassa asemassa on ollut investointituki, ja vuodesta 2011 alkaen ratkaiseva politiikkatoimi tulee olemaan syöttötariffi.

3.2 Ex post -arvio tuulivoiman päästövähennyksistä

Jo tapahtuneet päästövähennykset voidaan laskea tuulivoimalla tuotetun sähkön määrästä luvussa 1.5.3 arvioiduilla korvauskertoimilla. Päästövähennystä arvioitaessa vain tuotetun sähkön määrällä on merkitystä eikä tuotantokapasiteettia tarvitse huomioida tässä. Päästövähennys on laskettu kertoimilla 550 gCO₂/kWh (pienempi arvio) ja 700 gCO₂/kWh (suurempi arvio). Arvio saavutetuista päästövähennyksistä on esitetty taulukossa 3.1. Vuonna 2010 saavutettiin 160–200 ktCO₂:n päästövähennys riippuen käytetystä päästövähennyskertoimesta.

Tuulivoima tuottaa pienen määrän päästöjä kapasiteetin rakennusvaiheessa ja muun elinkaaren aikana. Niiden määräksi on arvioitu 2–13 gCO₂ tuotettua kilowattituntia kohti voimalan iästä ja sijainnista riippuen (Spadaro ym., 2000). Tämä pienentäisi tuulivoiman päästövähennyksiä noin prosentilla, mutta sitä ei ole huomioitu, koska päästökertoimen laskutavan vaikutus tulokseen on yli 10 kertaa suurempi.

Taulukko 3.1. Tuulivoiman kapasiteetti, tuotettu tuulisähkö ja siitä lasketut päästövähennykset vuosina 2000–2010. Kapasiteetti ja tuotantoluvut ovat VTT:n tuulivoimatilastoista (VTT, 2011).

Vuosi	Kapasiteetti	Tuulisähkön tuotanto	Päästövähennykset – pienempi arvio	Päästövähennykset – suurempi arvio
	MW	GWh	ktCO ₂	ktCO ₂
2000	38	77	42	54
2001	39	70	38	49
2002	43	63	35	44
2003	52	92	51	64
2004	82	120	70	80
2005	82	168	90	120
2006	86	153	80	110
2007	109	188	100	130
2008	142	261	140	180
2009	147	277	150	190
2010	197	292	160	200

3.3 Ex ante -arvio tuulivoiman päästövähennyksistä

3.3.1 Arvio yksinkertaisilla menetelmillä

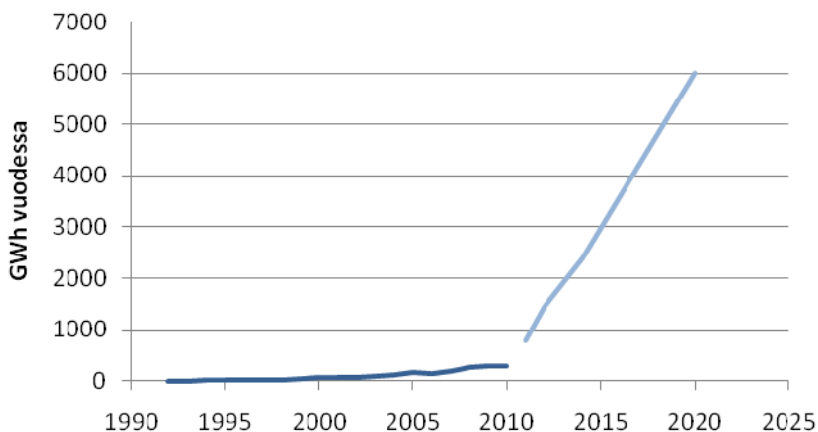
Tulevia päästövähennyksiä arvioitaessa joudutaan tekemään huomattavasti enemmän oletuksia kuin jo tapahtuneita päästövähennyksiä arvioitaessa. Tässä arviossa oletetaan, että hallituksen esityksen tavoite vuoden 2020 tuulisähkön tuotannolle toteutuu (HE 152/2010) ja päästövähennykset lasketaan tuotetun sähkön määrästä. Myöhemmin esitys vahvistettiin laiksi (1396/2010), mutta lopullisessa laissa ei ole esityksen liitteinä olleita taustatietoja, joten jatkossa viitataan hallituksen esitykseen.

Tavoite on kunnianhimoinen, ja vuosittain asennettavan tuulivoiman kapasiteetin on kasvettava paljon nykyistä suuremmaksi. Kuvassa 3.1 on esitetty tuulisähkön tuotanto vuosina 1992–2010 ja hallituksen esityksestä arvioitu tuotanto vuosina

3. Tuulivoima

2011–2020. Jotta tavoite toteutuisi, tuotetun sähkön määrän on yli 20-kertaistuttava 9 vuodessa, mikä vastaa yli 40 % vuosittaista kasvua.

Toisaalta tarvittava kasvuvauhti on näin suurta, koska Suomessa on rakennettu verrattain vähän tuulivoimaa. EU:ssa asennettiin pelkästään vuonna 2010 yli 9 GW tuulivoimaa ja koko maailmassa noin 30 GW.



Kuva 3.1. Tuulisähkön toteutunut tuotanto 1992–2010 sekä hallituksen esityksen (HE 152/2010) asettama tavoite vuosille 2011–2020. Hallituksen esityksessä on annettu tavoite vuosille 2011–2014 sekä 2020. Välivuodet on interpoloitu.

Taulukossa 3.2 on esitetty tavoitekapasiteetti vuosille 2011–2014 ja 2020 sekä tavoite sähköntuotannolle vuodelle 2020. Hallituksen esityksestä otetut numerot on kirjoitettu oranssilla. Päästövähennys on laskettu sähköntuotannosta, jonka on oletettu kasvavan samaa tahtia kuin tavoitekapasiteetin. Arvio on lisävähennyksestä eli siitä on vähennetty vuonna 2010 olemassa ollut kapasiteetti. Vuosi 2015 on interpoloitu.

Arviossa on oletettu, että yhä suurempi osa korvattavasta sähköntuotantokapasiteetista on ulkomailla, kun pohjoismaisen sähköverkon siirtoyhteyksiä Saksaan kasvatetaan ja Suomeen rakennetaan lisää ydinvoimaa sekä metsähakkeeseen ja tuulivoimaan perustuvaa tuotantoa. Vuonna 2020 suomalaisella tuulivoimantuotannolla Suomessa saavutettavat päästövähennykset on arvioitu kertoimilla 200 gCO₂/kWh (pienempi arvio) tai 300 gCO₂/kWh (suurempi arvio), kuten luvussa 1.5.3 on perusteltu. Vuonna 2020 tuulivoimalla saavutettaisiin tehdyillä oletuksilla 1,1–1,7 MtCO₂:n lisäpäästövähennykset vuoteen 2010 verrattuna. Tulokset vuosille 2011–2015 ja 2020 on esitetty taulukossa 3.2.

Taulukko 3.2. Ex ante -arvio tuulivoimalla saavutettavista päästövähennyksistä. Oranssit luvut ovat suoraan hallituksen esityksestä (HE 152/2010). Tavoitesähköntuotanto on laskettu vastaamaan kunkin vuoden kapasiteettia samassa suhteessa kuin vuonna 2020. Vuoden 2015 tavoitekapasiteetti on interpoloitu. Neljännessä sarakkeessa on esitetty pienemmässä ja suuremmassa arvioissa käytetty päästövähennyskerroin kullekin vuodelle.

Vuosi	Kapasiteetti vuoden lopussa	Tavoite sähköntuotanto	Päästövähennyskerroin	Lisävähennykset vuodesta 2010 – pienempi arvio	Lisävähennykset vuodesta 2010 – suurempi arvio
	MW	GWh	gCO ₂ per kWh	MtCO ₂	MtCO ₂
2011	330	792	550 / 700	0,2	0,2
2012	600	1440	511 / 656	0,5	0,6
2013	800	1920	472 / 611	0,7	0,9
2014	990	2376	433 / 567	0,8	1,1
2015	1242	2980	394 / 522	1,0	1,3
2020	2500	6000	200 / 300	1,1	1,7

Tuulivoimaloiden oletettu tekninen käyttöikä on noin 20 vuotta, jolloin vuonna 2020 rakennettu tuulivoimala jatkaisi toimintaansa ja vähentäisi päästöjä vuoteen 2040 saakka. Vuoden 2020 jälkeisiä arvioita ei ole esitetty tässä, mutta ne on otettu huomioon kustannustehokkuutta arvioitaessa. Arvioissa on myös oletettu, että ennen vuotta 2000 rakennetut voimat korvataan uusilla, jotta tavoitekapasiteetti saavutettaisiin.

Tässä on oletettu, että tuulivoiman sähköntuotannon päästövähennykset kohdistuvat kokonaan päästäkauppasektorille, sillä korvausvaikutuksen on oletettu kohdistuvan pohjoismaisiin sähkömarkkinoihin kuuluviin voimalaitoksiin.

3.3.2 Malliarvio

Tuulivoiman päästövähennyksiä voidaan arvioida TIMES:lla ilman, että sähkön korvaavuuskertoimesta joudutaan tekemään oletuksia. Energijärjestelmämallilla voidaan mallintaa tulevaisuus tuulivoiman kanssa ja ilman tuulivoimaa. Kun verrataan eroa näiden skenaarioiden päästöissä, saadaan arvio tuulivoiman päästövähennyksistä.

Taulukossa 3.3 on esitetty arvio tuulivoiman päästövähennyksistä kolmessa tutkitussa skenaariossa. Tulokset vaihtelevat skenaarioiden välillä paljon, sillä päästöoikeuden hinnasta riippuen energijärjestelmä kehittyy eri tavalla ja sähkön tuonin ja viennin määrät vaihtelevat. Kun tuloksista lasketaan keskiarvo, tuulivoima vähentää päästöjä vuonna 2020 lasketuissa skenaarioissa noin 1,2 MtCO₂-ekv. Tulos vastaa yksinkertaisella menetelmällä saatua pienempää lukuarvoa.

3. Tuulivoima

Taulukko 3.3. TIMES:n arvio tuulivoimalla saavutettavista päästövähennyksistä vuonna 2020 päästöoikeuden eri hintaskenaarioissa.

	Ero päästöissä MtCO ₂
Skenaario 1: 17 €/tCO ₂	0,6
Skenaario 2: 25 €/tCO ₂	1,9
Skenaario 3: 40 €/tCO ₂	1
Keskiarvo	1,2

3.4 Työllisyysvaikutukset

Teknolohiateollisuus on arvioinut tuulivoiman tiekartassa (Teknolohiateollisuus 2009), että 100 MW tuulipuiston kumulatiivinen työllisyysvaikutus olisi 1180 henkilötyövuotta ja se jakautuisi seuraaviin työvaiheisiin: projektikehitys ja asiantuntijapalvelut 10 htv, infrastruktuurin rakentaminen ja asentaminen 70 htv, käyttö ja kunnossapito 20 vuotta 800 htv sekä voimaloiden valmistus, materiaalit, komponentit ja järjestelmät 300 htv.

Teknolohiateollisuuden arvio on kattava, mutta käytön ja kunnossapidon työtarve vaikuttaa liian suurelta. Jos 100 MW:n tuulipuisto rakennettaisiin keskimäärin 3 MW:n tuulivoimaloista, tarvittaisiin 33 voimalan käyttöön ja kunnossapitoon 40 htv/vuosi eli jokaista voimalaa kohti laskennallisesti hieman yli 1 htv/vuosi.

Työllisyysvaikutusta vuonna 2020 on tässä hankkeessa arvioitu muuten teknolohiateollisuuden arvon perusteella, mutta käytön ja kunnossapidon oletetaan työllistävän 0,5 htv/voimala/vuosi. Arviot on skaalattu ylöspäin vastaamaan hallituksen esityksen mukaista tavoitekapasiteettia (2 500 MW). Voimaloiden keskimääräiseksi kooksi on oletettu 3 MW ja yhden voimalan eliniäksi 20 vuotta. Voimaloiden rakentamisaikataulun oletetaan olevan kuten luvussa 3.3. Arviossa on huomioitu, että vuonna 2010 oli jo rakennettuna noin 200 MW tuulivoimaa ja että arvio on tehty ainoastaan lisätyöllisyysvaikutuksesta vuoden 2010 tasoon verrattuna. Arvio on esitetty työvaiheittain taulukossa 3.4.

Taulukko 3.4 Teknologiateollisuuden (2009) arvion ja oletetun käytön ja kunnossapidon työllisyysvaikutuksen perusteella laskettu lisätyöllisyysvaikutus vuonna 2020. Tässä on oletettu, että kapasiteettia rakennetaan kuten luvussa 3.3 arvioitiin ja että käyttövaiheen työllisyysvaikutus jakautuu 20 vuodelle. Arviosta on vähennetty vuonna 2010 jo rakennettu kapasiteetti.

Työvaihe	Lisätyöllisyysvaikutus vuonna 2020
Projektikehitys ja asiantuntijapalvelut	25
Voimaloiden valmistus, materiaalit, komponentit ja järjestelmät	725
Infrastruktuurin rakentaminen ja asentaminen	175
Käyttö ja kunnossapito	400
Yhteensä	1300

Tuulivoiman syöttötariffin tapauksessa rakennusvaihe kestäisi noin 10 vuotta, mutta koko työllisyysvaikutus jakautuisi noin 30 vuodelle, sillä voimaloiden käyttöikäksi on oletettu 20 vuotta. Vuonna 2020 rakennetut voimalat toimisivat vuoteen 2040 saakka.

Rakennusvaiheessa työpaikkoja voisi syntyä vuodesta riippuen noin 800–1 000, sillä tuulivoimaloiden rakentaminen ei jakautuisi tasaisesti 10 vuoden ajalle vaan painottuisi vuosikymmenen loppua kohden. Pysyviä työpaikkoja käyttöön ja kunnossapitoon voisi syntyä noin 900. Yhteensä vuoden 2020 työllisyysvaikutus saattaisi olla noin 2 000 työpaikkaa.

Edellä listatut arviot sisältävät epävarmuuden lopulta todella syntyvien työpaikkojen määrästä, mutta lisäksi tulisi ottaa huomioon se, että osa työpaikoista syntyyneen ulkomaille: on todennäköistä, että osa tuulivoimaloiden komponenteista valmistetaan ulkomailta ja että osa rakennusvaiheen työvoimasta tulee ulkomailta. Kotimaisen työvoiman osuutta on erittäin haastavaa arvioida etukäteen, eikä Teknologiateollisuuskseen ottanut tuulivoiman tiekartassa siihen kantaa.

Luvussa 3.8 on esitetty tuulivoiman edistämisen kansantaloudellisia vaikutuksia, jotka on tehty VATTAGE-kansantalousmallilla. Malliarvion työllisyysvaikutus on hyvin linjassa teknologiateollisuuden julkaisun perusteella tehdyn arvion kanssa. Kaikki epäsuorat vaikutukset huomioiden työllisyys on malliarvion mukaan investointivaiheessa enimmillään noin 1 600 htv vertailuskenaariota korkeampi.

3.5 Suorat kustannukset valtiolle

Tuulivoimaa on ennen vuotta 2011 tuettu pääasiassa investointituilla, joita oli mahdollista saada enimmillään 40 % investoinnista ja päätös tehtiin projektikohtaisesti. Investointitukeen sisältyi uuden teknologian vaatimus, mikä rajoitti siihen kelpaavia projekteja. Lisäksi tuulivoimalla tuotettua sähköä tuettiin 6,9 €/MWh sähköverolain (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta 1260/1996)

3. Tuulivoima

mukaisesti. Tästä tukimuodosta käytetään jatkossa nimitystä sähköntuotannon verotuki.

Edellä mainittujen tukien lisäksi ympäristöministeriö myönsi vuonna 2010 avustuksia tuulivoimarakentamisen kaavoitukseen yhteensä 1,5 miljoonaa euroa kunnille ja maakuntien liitoille (YM, 2011).

Taulukkoon 3.5 on koottu tuulivoimalle myönnetyt tuet vuosien 2004–2010 aikana. Eri vuosina myönnetyt investointituet vaihtelevat paljon eivätkä vastaa suoraan samana vuonna rakennettujen voimaloiden kapasiteettia, sillä itse rakentaminen saattoi tapahtua eri kalenterivuoden aikana kuin investointituen myöntäminen tai maksaminen. On myös mahdollista ettei myönnettyä tukea lopulta nostettu.

Taulukko 3.5. Tuulivoimalle myönnetyt investointituet (KTM, 2006; 2007; TEM 2008b; 2009b) ja sähköntuotannon tuet (Tullihallitus 2010) 2004–2010. Luvut ovat miljoonia euroja vuodessa.

	<u>2004</u>	<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>	<u>2008</u>	<u>2009</u>	<u>2010</u>
Sähköntuotannon verotuki	0,8	1,16	1,04	1,31	1,75	1,85	1,94
Investointituki		0	14	4,5	2,01	24,8	-
Kaavoitustuki	-	-	-	-	-	-	1,45
Yhteensä	0,8	1,16	15,04	5,81	3,76	26,65	3,43

Vuodesta 2011 alkaen sähköntuotannon verotuki ja investointituki korvataan syöttötariffilla, jonka suuruus riippuu sähkön hinnasta. Ennen vuotta 2009 rakennetut tuulivoimalat eivät kuitenkaan voi osallistua syöttötariffiin ja vuosina 2009 ja 2010 rakennetut voivat osallistua vain, jos palauttavat saamansa muut tuet.

Syöttötariffia maksetaan siten, että tuulivoiman tuottaja saa myymästään sähköstä vähintään takuuhinnan 83,50 €/MWh. Ensimmäisen neljän vuoden aikana eli 31.12.2015 saakka takuuhinta on korotettu 105,30 €/MWh:iin investointien nopeuttamiseksi. Korotettua syöttötariffia maksetaan enintään kolme vuotta yhdelle voimalalle.

Taulukossa 3.6 on neljä arviota tuulivoiman syöttötariffin suuruudesta vuosina 2011–2030. Syöttötariffi ei lopu vuoteen 2020, vaan sitä maksetaan kullekin voimalalle enintään 12 vuotta. Niinpä vuonna 2020 rakennetut voimalat saattavat saada syöttötariffia vielä vuonna 2030-luvulla. Ensimmäinen on hallituksen esityksessä annettu arvio syöttötariffin suuruudesta vuosina 2011, 2012, 2013 ja 2020. Jos oletetaan, että tukien määrä kasvaa lineaarisesti vuosien 2013 ja 2020 välillä, tukia maksettaisiin 2011–2020 yhteensä noin 1,3 miljardia euroa.

Jos tuulivoimalle maksettavan syöttötariffin suuruutta arvioidaan luvussa 3.3 esitettyjen tuotantomäärätavoitteiden perusteella, vastaa suurempi kustannusarvio hallituksen esityksen arvioita (sähkön hinta 50 €/MWh 2011–2030). Jos oletetaan, että sähkön hinta nousee nykyisestä (65 €/MWh 2011–2030), esimerkiksi kun siirtoyhteyksiä Saksaan vahvistetaan, tulee tuulivoiman syöttötariffi huomattavasti arvioitua halvemmaksi. Toisaalta sähkön nykyhintaa taas on erittäin alhainen, ja

sen vuoksi tässä on tarkasteltu myös alhaisempaa sähkönhintaa (40 €/MWh 2011–2030). Kumulatiivisesti vuosien 2011–2020 aikana tuulivoiman syöttötariffia maksettaisiin 0,8–1,6 miljardia euroa riippuen toteutuvasta sähkön hinnasta ja vuosien 2021–2030 aikana 0,7–1,7 miljardia euroa. Summat on esitetty kunkin vuoden rahassa eikä niitä ole tässä diskontattu.

Taulukko 3.6. Hallituksen esityksen arvio tuulivoimalle maksettavista syöttötariffeista 2011–2020 (HE 152/2010) sekä tässä hankkeessa tehty arvio eri sähkön hinnoilla. Luvut ovat miljoonia euroja vuodessa.

	2011	2012	2013	2015	2020	2025	2030
Hallituksen esityksen arvio	10	44	102	-	200	-	-
Tämä hanke, 40 €/MWh	52	94	125	149	261	177	53
Tämä hanke, 50 €/MWh	44	80	106	119	201	137	40
Tämä hanke, 65 €/MWh	32	58	77	74	111	75	22

3.6 Kustannustehokkuus valtion kannalta

3.6.1 Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta

Jo toteutuneita suoria kustannuksia ja päästövähennyksiä (*ex post* -arvio) ei voi suoraan verrata, sillä voimalat on rakennettu osittain eri vuosina kuin investointituet on maksettu. Lisäksi ne vuoden 2009 aikana rakennetut tuulivoimalat, jotka eivät saaneet valtioneuvon tukea, voivat liittyä syöttötariffiin. Näiden arviota vaikeuttavien tekijöiden vuoksi tässä arvioidaan ainoastaan syöttötariffilla saavutettavien päästövähennysten yksikkökustannusta eli kustannustehokkuutta (€/tCO₂). Arviossa on oletettu, että

- päästövähennykset ja suorat kustannukset valtiolle lasketaan kuten luvuissa 3.3 ja 3.5
- tuulivoimalaitosten tekninen käyttöikä on 20 vuotta, jolloin päästövähennykset jatkuvat vuoteen 2040 vuoden 2020 päästövähennyskertoimilla
- syöttötariffia maksetaan yhdelle voimalaitokselle 12 vuotta
- tarkastelu tehdään kahdella eri sähkön hinnalla: 50 ja 65 €/MWh (vuodet 2011–2030)
- kustannukset diskontataan 5 %:n korolla.

Valituista päästökertoimista ja sähkön hinnasta riippuen eri arviot antavat päästövähennysten hinnaksi 25–60 €/tCO₂. Arviot on esitetty taulukossa 3.7. Tuulivoiman syöttötariffin kustannustehokkuus olisi parempi, jos voimaloiden tekninen

3. Tuulivoima

käyttöikä olisi pidempi. Kun vastaavat arviot lasketaan 25 vuoden teknisellä käyttöiällä, päästövähennysten kustannus olisi 20–60 €/tCO₂.

Taulukko 3.7. Arvio tuulivoiman syöttötariffilla saavutettavien päästövähennysten kustannustehokkuudesta

	Sähkön hinta vuosina 2011–2030	
	50 €/MWh	65 €/MWh
Päästövähennysten yksikkökustannus (Pienempi korvauskerroin)	60 €/tCO ₂	35 €/tCO ₂
Päästövähennysten yksikkökustannus (Suurempi korvauskerroin)	40 €/tCO ₂	25 €/tCO ₂

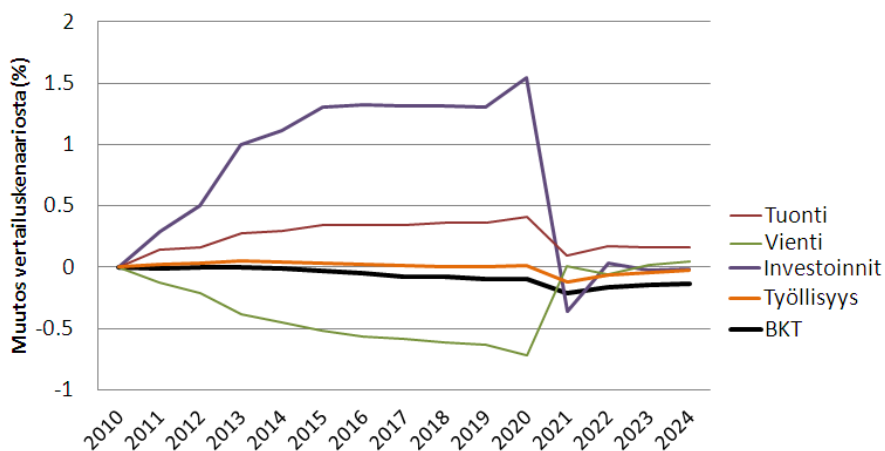
Kustannukset on laskettu valtion näkökulmasta, mutta laskelmat voidaan ajatella myös hyvänä arviona päästövähennyskustannuksista koko energijärjestelmälle, jos syöttötariffitaso on onnistuttu valitsemaan sopivasti. Syöttötariffin taso on pyritty mitoittamaan siten, että sillä pystyttäisiin tuottamaan 6 TWh tuulivoimaa taloudellisesti kannattavasti. Jos yksityisten toimijoiden investoinnit muuttuvat juuri ja juuri kannattaviksi, voidaan ajatella, että syöttötariffi kuvaa koko energijärjestelmän laajuista päästövähennyskustannusta.

3.6.2 Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta

Uusiutuvan energian yksikkökustannus on laskettu tuulivoimalle olettaen, että luvussa 3.5 esitetyt suorat kustannukset valtiolle (200 M€ vuonna 2020) ja tuulivoiman tuotannolle asetettu tavoite toteutuvat (2 500 MW ja 6 TWh vuonna 2020). Vuoden 2020 tavoitteesta on vähennetty vuoden 2010 kapasiteettia vastaava osuus (197 MW), ja uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta on laskettu ainoastaan lisäkapasiteetista. Tällä tavalla laskettuna tuulivoimalla tuotetun uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta olisi noin 28 M€/TWh.

3.7 Kansantaloudelliset vaikutukset

Kuvassa 3.2 tarkastellaan tuulivoiman tavoitteiden vaikutuksia kansantuotteeseen vertailuskenaarioon verrattuna. Kokonaisinvestoinnit ovat vertailuskenaariota suuremmat niin kauan kuin tuulivoiman tukia sovelletaan. Vuoden 2020 jälkeen investointitukien oletetaan lakkaavan, jolloin kokonaisinvestoinnit laskevat vertailuskenaariota alemmiksi. Tällöin myös kansantuote painuu alemmaksi. Investoinnit luovat lisätuloa kotitalouksille, joiden kulutus nousee vertailuskenaariota korkeammaksi investointijakson alussa. Pidemmällä aikavälillä kohonneet elinkustannukset kuitenkin laskevat myös kulutusta. Työllisyys sen sijaan on investointivaiheessa enimmillään noin 1 600 htv vertailuskenaariota korkeampi.

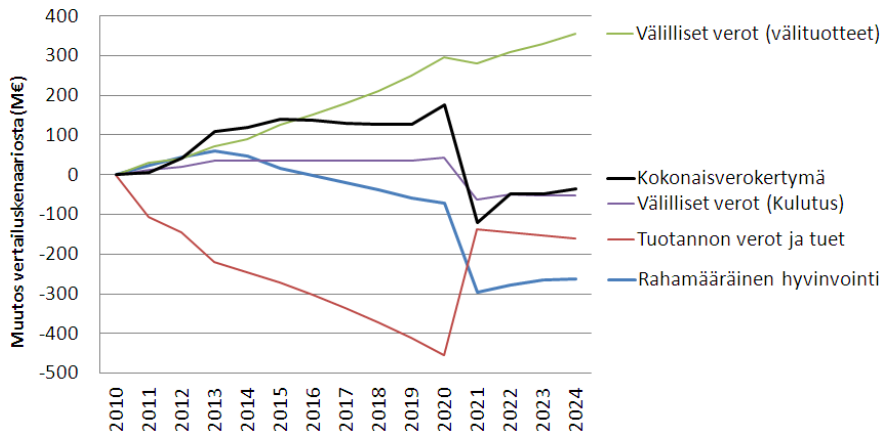


Kuva 3.2. Tuulivoiman edistämisen kokonaistaloudelliset vaikutukset.

Kuvassa 3.3 tarkastellaan tuulivoiman tavoitteiden vaikutusta hyvinvointiin ja verokertymiin. Tuulivoiman saama tuki on laskettu tuotannon tueksi: tuki siis laskee verokertymiä selvästi. Investointikysynnän kasvu sen sijaan lisää välituotteiden kysyntää ja niistä kerättävien verojen kertymää. Energian hinnannousu sen sijaan vähentää jonkin verran kysyntää, mikä pienentää energiaverokertymää. Kuluttajien ostovoima laskee, ja vuoteen 2020 mennessä kuluttajat ovat menettäneet vajaat 100 miljoonaa euroa vertailuskenaarioon verrattuna.

Valtion tulojen kannalta investointivaihe näkyy lähes 500 miljoonan euron tuotantoverojen menetyksenä (joka aiheutuu maksetuista tuista); toisaalta investointien luoma lisäkysyntä nostaa sekä välillisten verojen että kokonaisveron kertymää vuoteen 2020 saakka. Tämän jälkeen vaikutus nettoverokertymään jää negatiiviseksi vertailuskenaarioon verrattuna. Myös kuluttajien hyvinvointi jää vertailuskenaariota alemmalle tasolle tiiviin investointivaiheen jälkeen.

3. Tuulivoima

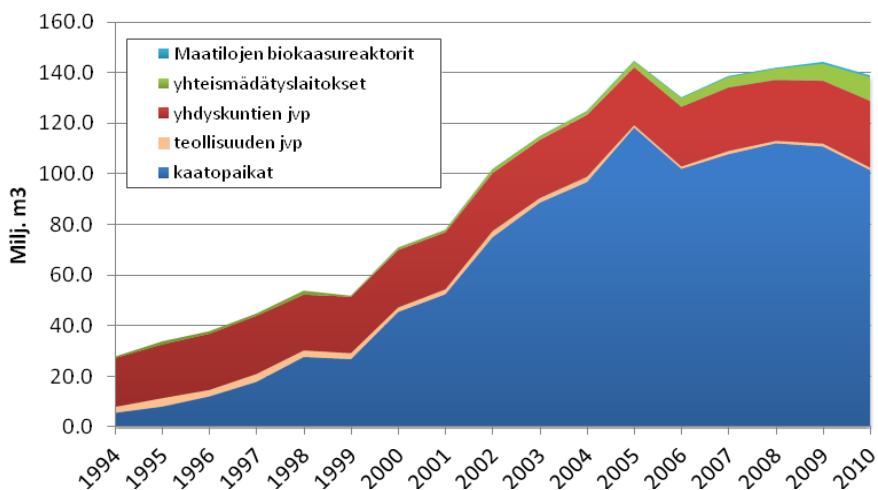


Kuva 3.3. Tuulivoiman edistämisen vaikutukset hyvinvointiin ja verokertymiin.

4. Biokaasureaktorit

4.1 Biokaasun tuotanto Suomessa

Kuvassa 4.1 on esitetty Suomessa vuosina 1994–2010 tuotetun biokaasun määrä tuotantolaitostyypeittäin (Biokaasulaitosrekisteri, Kuittinen 1995–2011). Kaikesta tuotetusta biokaasusta noin 75 % kerätään talteen kaatopaikoilla ja jäljelle jäävä 25 % tuotetaan yhteismädättämöissä, jätevedenpuhdistamoissa ja maatilojen biokaasureaktoreissa. Yhteismädätyslaitosten ja maatilojen biokaasulaitosten tuottaman biokaasun määrä kasvoi vuosina 2005–2010 yli 25 %:n vuosivauhdilla, mutta absoluuttisesti määrät ovat edelleen pieniä.



Kuva 4.1. Suomessa vuosina 1994–2009 tuotettu biokaasu (Biokaasulaitosrekisteri, Kuittinen 1995–2011).

Prosessiteknisesti biokaasun tuottajat tulisi jakaa kahteen eri luokkaan, itsestään muodostuvan biokaasun talteen keräämiseen ja biokaasureaktoreihin, jotka tuottavat biokaasua jostakin orgaanisesta raaka-aineesta. Ensimmäiseen luokkaan

kuuluvat kaatopaikat, joissa biokaasua muodostuu orgaanisen jätteen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Biokaasureaktoreihin kuuluvat jätevesien käsittelylaitokset, yhteismädättämöt sekä maatilalaitokset.

Kaatopaikkakaasun talteenottoa säädellään jätelainsäädännössä, ja biokaasun syöttötariffi koskee ainoastaan biokaasureaktoreita. Lisäksi kaatopaikkojen päästövähennyksiä ja niiden kustannuksia arvioi Suomessa SYKE, joten tässä hankkeessa päätettiin käsitellä tarkemmin ainoastaan biokaasureaktoreita (jätevedenpuhdistamot, yhteismädättämöt sekä maatilalaitokset).

4.2 Biokaasureaktorien päästövähennysmekanismit

Jätevedenpuhdistamoiden, yhteismädätyslaitosten ja mautilojen biokaasureaktorit ovat varta vasten biokaasun tuotantoon rakennettuja laitoksia, jotka voivat käyttää biojätettä, lantaa tai muita vastaavia orgaanisia aineksia biokaasun tuotantoon. Ne on rakennettu siten, että tuotetun ja talteenotetun metaanin, eli biokaasun energiasällön, määrä olisi mahdollisimman suuri.

Biokaasureaktoreilla on useita kasvihuonekaasu- ja ympäristövaikutuksia: Biokaasureaktoreilla tuotetulla energialla voidaan korvata muuta sähkön- ja lämmöntuotantoa (kohta 1). Lisäksi niillä voi olla vaikutuksia ei-CO₂-päästöjen määrään ja myös maankäytön päästöihin raaka-aineista ja niiden vaihtoehtoisista käyttötavoista riippuen (kohta 2). Biokaasureaktorit voivat mm. pienentää jätevesien aiheuttamaa kuormitusta vesistöihin, parantaa materiaalitehokkuutta korvaamalla lannoitteita tai parantaa huoltovarmuutta. Tässä raportissa keskitytään pelkästään kasvihuonekaasuvaikutuksiin.

- 1) Tuotettu sähkö, lämpö ja mekaaninen energia korvaavat muuta energiantuotantoa. Muun energiantuotannon korvaamisesta on oletettu, että sähkön korvauskertoimen pienempi arvo vuosina 2000–2010 on 550 gCO₂/kWh ja suurempi arvio on 700 gCO₂/kWh. Lämmön ja mekaanisen energian korvauskertoimina on vuosina 2000–2010 käytetty lukuarvoja 200 ja 290 gCO₂/kWh. Vuosien 2011–2020 aikana sähkön kertoimien on oletettu laskevan tasaisesti arvoon 200 tai 300 gCO₂/kWh. Lämmön korvauskertoimien oletetaan pysyvän samana vuosina 2011–2020. Kertoimet ja niiden kehitys on perusteltu luvuissa 1.5.3 ja 1.5.4.
- 2) Muun energiantuotannon korvaamisen lisäksi biohajoavan materiaalin käyttö biokaasureaktorissa korvaa sen vaihtoehtoisen käyttötavan, joita ovat esimerkiksi biojätteen kaatopaikkasijoitus tai lannan levitys pellolle. Vaihtoehtoisista käyttötavoista voisi vapautua hiilidioksidia, metaania ja typpioksiduulia, kun biokaasureaktorista vapautuu polttamisen jälkeen käytännössä vain hiilidioksidia. Ilmastopimuksessa metaani on 21 kertaa ja typpioksiduuli jopa 310 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu. Jos biokaasureaktorilla onnistutaan välttämään näiden päästöjen vapautumista, saavutetaan sillä suhteessa tuotettuun energiaan suuret päästövähennykset.

Kaksi todennäköisintä vertailuskenaariota tällä hetkellä ovat biojätteen kaatopaikkasijoittaminen ja lannan levittäminen pellolle. Biojätteen kaatopaikkasijoittaminen johtaa metaanin vapautumiseen kaatopaikoilla, joka kaatopaikasta riippuen joko otetaan talteen ja poltetaan tai vapautuu ilmakehään. Niiltäkin kaatopaikoilta, joilla talteenotto on järjestetty, arviolta kolmannes metaanista vapautuu ilmakehään. Tosin vuodesta 2016 alkaen orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoitus kielletään asteittain, jolloin tämän vertailuskenaarion merkittävyys vähenee eikä biokaasulaitosten hyödyksi voida enää laskea niin paljon jätemetaanipäästöjen välttämistä.

Lannan levittämisessä pelloille vapautuu metaania IPCC:n oletuskertoimien mukaan noin 0,02 kg N₂O-päästöjä lantakiloa kohti. Jos lantaa käytettäisiin biokaasureaktorien raaka-aineena, vältettäisiin nämä typpioksiduulipäästöt, ja lisäksi se voisi pienentää painetta metsien raivaamiseen, mitä tällä hetkellä tehdään Suomessa mm. ylimääräisen lannan levittämiseksi. Peltohehtaarille on säädetty yläraja lannan käytölle muista ympäristösyistä. Biokaasureaktoreilla ei-CO₂-päästöt voisivat vähentyä näissä vertailutapauksissa merkittävästi.

Raaka-aineiden vaihtoehtoisten käyttötapojen tarkka arviointi vaatisi lukuisia oletuksia rakennettavista biokaasureaktorityypeistä, raaka-ainejakeista sekä niiden vaihtoehtoista käyttöketjuista eri puolilla Suomea. Lisäksi ei ole itsestään selvää, että suhteellisen pienet muutokset näkyisivät kasvihuonekaasuinventaarissa, kuten tässä on oletettu. Kaiken kaikkiaan näiden arvioiden tekeminen paremmalla tarkkuudella ei ole mahdollista tässä hankkeessa, missä biokaasun tukeminen on merkittävästi pienin arvioitavista politiikkatoimiryppäistä. Tässä on arvioitu ainoastaan raaka-aineiden vaihtoehtoista käyttötapoista vapautuvien päästöjen suuruusluokkaa.

Näissä arvioissa on yksinkertaistaen oletettu, että raaka-aineiden vaihtoehtoisessa käytössä olisi vapautunut 0–0,2 kertaa biokaasureaktoreissa poltettua metaania vastaava määrä päästöjä hiilidioksidiekvivalenteina. Joissakin vertailuketjuissa tämä arvio lienee liian pieni, mutta kokonaisuuden kannalta on tärkeämpää, ettei vaikutusta yliarvioida, kun sitä ei tunneta riittävän tarkasti.

Nykyiset biokaasureaktorit ovat biokaasulaitosrekisterin tilastojen mukaan tuottaneet keskimäärin 3,2 GWh energiaa (sähkö, lämpö ja mekaaninen energia) miljoonasta kuutiosta biokaasua vuosien 2000–2009 aikana (Kuitinen, 2011). Biokaasu sisältää tyypillisesti 40–70 % metaania, ja joitakin laitospohjaisia tarkempia arvioita löytyy biokaasulaitosrekisteristä. Jos vastaava suhdeluku arvioidaan tuotetun energian ja tuotetun metaanin välille, saadaan biokaasulaitosrekisterin pohjalta laskettua, että miljoonasta kuutiosta biokaasun sisältämää metaania tuotettiin 5,0 GWh energiaa. Vuosina 2000–2009 vältetyt ei-CO₂-päästöt on arvioitu tilastoidusta tuotetun metaanin määrästä aiemmin esitetyillä kertoimilla ja vuosina 2011–2020 oletetun energia-metaani-kertoimen avulla.

Kaikista epävarmuuksista huolimatta metaanin ja typpioksiduulin osuuksia kasvihuonekaasuvähennyksissä tulisi arvioida, sillä niiden lämmittävä vaikutus on suuri ja niiden välttämistä yleensä seuraa suuria päästövähennyksiä verrattuna hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Tältä osin tehtyä arviota tulisi tarkentaa.

4.3 Ex post -arvio biokaasureaktorioiden päästövähennyksistä

Biokaasureaktoreilla vuosina 2000–2010 tuotetun sähkön, lämmön ja mekaanisen energian määrät on esitetty taulukossa 4.1. Samassa taulukossa on esitetty arvio muun energiatuotannon korvaamisella saavutetuista päästövähennyksistä. Energiämäärät on muutettu päästövähennyksiksi edellisessä luvussa esitellyillä kertoimilla.

Taulukko 4.1. Biokaasureaktoreissa vuosina 2000–2010 tuotettu sähkö, lämpö ja mekaaninen energia sekä arvio muun energiatuotannon korvaamisella saavutetuista päästövähennyksistä.

Vuosi	Tuotettu sähkö	Tuotettu lämpö	Tuotettu mekaaninen energia	Päästövähennykset – pienempi arvio	Päästövähennykset – suurempi arvio
	GWh	GWh	GWh	MtCO ₂	MtCO ₂
2000	31	89	2	0,04	0,05
2001	30	90	2	0,04	0,05
2002	32	95	2	0,04	0,05
2003	32	91	2	0,04	0,05
2004	34	98	2	0,04	0,05
2005	33	92	2	0,04	0,05
2006	34	96	2	0,04	0,05
2007	40	103	2	0,04	0,06
2008	39	100	2	0,04	0,06
2009	41	107	2	0,05	0,06
2010	46	133	1	0,05	0,07

Arvio ei-CO₂-päästöjen välttämiseksi saavutetuista päästövähennyksistä on esitetty taulukossa 4.2. Kun energiantuotannon korvaamisella ja raaka-aineiden käyttötavan vaihtamisella saavutetut päästövähennykset lasketaan yhteen, vuonna 2009 biokaasureaktoreilla saavutettiin yhteensä noin 0,05–0,15 MtCO₂-ekv:n päästövähennykset.

Olemassa olevien biokaasureaktorioiden rakentamiseen on vaikuttanut laaja kirjo eri politiikkatoimia. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot on rakennettu pääasiassa 80-luvulla, eivätkä niiden päästövähennykset siis ole nykyisten politiikkatoimen ansiota. Jo rakennettujen yhteismädätyslaitosten, teollisuuden jätevedenpuhdistamoiden sekä maatalouden biokaasureaktorioiden päästövähennykset taas ovat pääasiassa investointitukien ansiota.

Taulukko 4.2. Arvio biokaasureaktoreiden käytöllä vuosina 2000–2010 vältetyistä ei-CO₂-päästöistä. Arvio on perusteltu tarkemmin luvussa 4.2.

Vuosi	Tuotettu biokaasu	Vältetyt ei-CO ₂ -päästöt – pienempi arvio	Vältetyt ei-CO ₂ -päästöt – suurempi arvio
	milj. m ³	MtCO ₂ ekv	MtCO ₂ ekv
2000	26	0	0,06
2001	26	0	0,06
2002	27	0	0,06
2003	26	0	0,06
2004	28	0	0,06
2005	26	0	0,06
2006	28	0	0,06
2007	31	0	0,07
2008	30	0	0,07
2009	34	0	0,07
2010	38	0	0,08

4.4 Ex ante -arvio biokaasureaktoriin päästövähennyksistä

Vuodesta 2011 eteenpäin myös biokaasuvoimalaitosten investointituet korvataan syöttötariffilla. Biokaasureaktoriin syöttötariffista julkaistiin hallituksen esitys (HE 152/2010), mikä myöhemmin vahvistettiin laiksi (Laki uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010). Lopullisessa laissa ei ole hallituksen esityksessä olleita liitteitä, joissa oli arvioitu mm. tavoitteita ja kustannuksia, joten jatkossa viitataan edelleen hallituksen esitykseen.

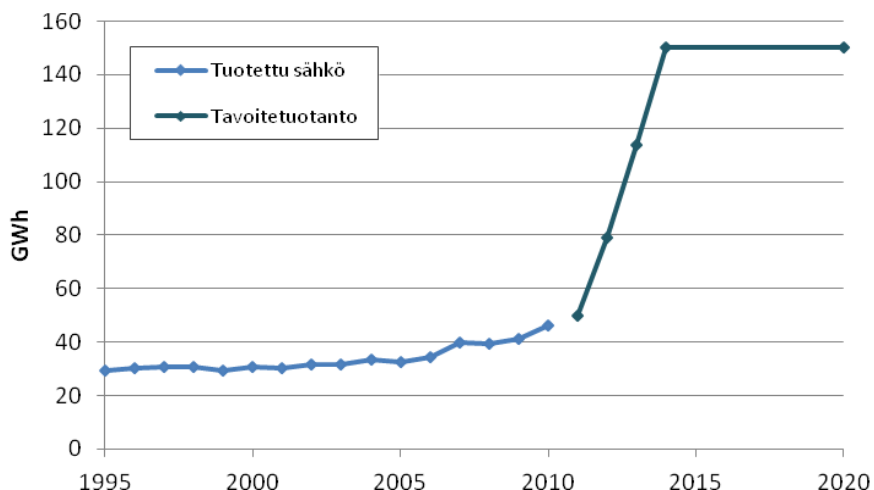
Syöttötariffin piiriin voidaan hyväksyä uusi biokaasuvoimala, jossa ”biokaasulaitoksessa syntyvästä ja suoraan tai kaasuverkon kautta voimalaitokselle siirretystä biokaasusta tuotetaan sähköä” (HE 152/2010). Tämä määritelmä kattaa uudet jätevedenpuhdistamoiden, yhteismädättämöiden ja maatalalaitosten biokaasureaktorit sekä myös biokaasua ostavat maakaasuvoimalaitokset. Vanhat voimalat voivat liittyä syöttötariffiin siirtymäsäännöksen nojalla, jos ne on otettu kaupalliseen käyttöön 1.1.2000 jälkeen eivätkä ne ole saaneet valtiontukea.

Syöttötariffissa määritellään biokaasuvoimalaitoksille sähkön takuuhinta 83,50 €/MWh, minkä lisäksi ne voivat saada lämpöpreemion 50 €/MWh, jos ne tuottavat lämpöä hyötykäyttöön ja voimalan kokonaishyötysuhde on vähintään 50 % tai vähintään 75 %, kun voimalaitoksen koko on yli 1 MW.

Hallituksen esityksen tavoitteena on saada biokaasun syöttötariffin piiriin 150 GWh sähköntuotantoa vuoden 2014 loppuun mennessä, minkä arvioidaan vastaavan 19 MW:n kapasiteettia. Kuvassa 4.2 on esitetty biokaasureaktoriin

4. Biokaasureaktorit

sähköntuotanto vuosina 1995–2010 ja hallituksen esityksen tavoitetuotanto vuosina 2011–2020. Jotta vuoden 2014 tavoite toteutuisi, tuotetun sähkön määrän on kasvatettava keskimäärin 30 % vuodessa, mikä on hyvinkin mahdollista, sillä biokaasua tuotetaan vielä suhteellisen vähän.



Kuva 4.2. Biokaasureaktoreissa tuotettu sähkö vuosina 1995–2010 (Kuittinen ym., 2011) sekä tavoite vuosille 2011–2020 (HE 152/2010). Kaikki kuvaan piirretyt tavoitevuodet ovat suoraan hallituksen esityksen liitteistä.

Tässä arvioissa oletetaan, että hallituksen esityksen tavoite sähköntuotannolle toteutuu, ja, että siirtymäsäännöksen nojalla syöttötariffin piiriin hyväksytään 10 GWh jo olemassa olevaa tuotantoa, mikä suunnilleen vastaa 2000-luvulla käyttöön otettujen biokaasureaktoreiden sähköntuotantoa (Kuittinen, 2011). Uutta kapasiteettia rakennettaisiin siis sen verran, että sillä tuotettaisiin 140 GWh sähköä. Tässä arvioissa oletetaan, että rakennettavat biokaasureaktorit tuottavat yhtä paljon lämpöä kuin sähköä. Olemassa olevasta tuotannosta ei lasketa uusia päästövähennyksiä, sillä se sisältyy jo *ex post* -arvioon. Päästövähennysten *ex ante* -arvio lasketaan siis vuodesta 2011 alkaen rakennettaville laitoksille.

Taulukossa 4.3 on esitetty tavoitekapasiteetti, tavoitetuotanto sähkölle sekä arvioissa käytetyt sähkön- ja lämmöntuotannot vuosille 2011–2020. Taulukossa on oletettu, että 10 GWh:n osuus tavoitetuotannosta tuotetaan olemassa olevalla kapasiteetilla eikä siitä lasketa uusia päästövähennyksiä. Näin vuoden 2020 sähköntuotanto on tässä arvioissa 140 GWh eikä 150 GWh kuten tavoitteessa. Lämmöntuotanto on laskettu arvioissa käytetystä sähköntuotannosta. Arvio muun energiantuotannon korvaamisella ja ei-CO₂-päästöjen välttämällä saavutettavista päästövähennyksistä on esitetty taulukossa 4.4.

Taulukko 4.3. Oletukset biokaasun päästövähennysten *ex ante* -arvion takana. Oranssit numerot on otettu hallituksen esityksestä (HE 152/2010).

Vuosi	Biokaasuvoimat syöttötariffin piirissä	Sähkön tuotanto syöttötariffin piirissä	Uutta sähkön tuotantoa	Uutta lämmön- tuotantoa
	MW	GWh	GWh	GWh
2012	10	79	69	69
2014	19	150	140	140
2015	19	150	140	140
2020	19	150	140	140

Taulukko 4.4. Arvio rakennettavien biokaasureaktorien tuottaman sähkön ja lämmön avulla saavutettavista päästövähennyksistä vuosina 2011–2020.

Vuosi	Korvatus energiantuotannon päästövähennykset		Ei-CO ₂ -päästöjen välttämisen päästövähennykset	
	Pienempi arvio	Suurempi arvio	Pienempi arvio	Suurempi arvio
	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂ ekv	MtCO ₂ ekv
2012	0,05	0,07	0	0,06
2014	0,09	0,12	0	0,12
2015	0,08	0,11	0	0,12
2020	0,06	0,08	0	0,12

Yhteensä biokaasun syöttötariffilla saavutettaisiin 0,08–0,24 MtCO₂-ekv:n päästövähennykset vuonna 2015 ja 0,06–0,20 MtCO₂-ekv:n päästövähennykset vuonna 2020. Vuoden 2020 pienemmät päästövähennykset johtuvat sähkön pienevästä korvaavuuskertoimesta.

Biokaasureaktorien päästövähennysten jakautumisesta päästökaupparektorille ja sen ulkopuolisille sektoreille on oletettu, että sähkön- ja lämmöntuotannon päästövähennykset kohdistuisivat päästökaupparektorille ja ei-CO₂-päästöjen välttämällä saavutettavat päästövähennykset kohdistuisivat ei-PK-sektorille. Tällä jaolla biokaasureaktorit vähentäisivät päästökaupparektorin päästöjä 0,06–0,08 MtCO₂-ekv vuonna 2020 ja ei-päästökaupparektorin päästöjä 0–0,12 MtCO₂-ekv vuonna 2020.

4.5 Työllisyysvaikutukset

Biokaasun työllisyysvaikutuksia on tutkittu VTT:n tutkimuksessa Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset (Halonen ym., 2003). Raportissa on käsitelty biokaasureaktorien työllisyysvaikutusta vuosina 1995 ja

4. Biokaasureaktorit

2001. Raportissa biokaasulaitokset on jaettu neljään eri luokkaan, mikä vastaa tässä julkaisussa käytettyä jakoa muuten, mutta siinä yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamot on laskettu yhdeksi luokaksi. Tutkimuksen tulokset biokaasureaktorioiden tuotanto- ja käyttöketjun työllisyysvaikutuksista on esitetty taulukossa 4.5.

Taulukko 4.5. Erityyppisten biokaasulaitosten lukumäärä (Halonen ym., 2003), niiden tuottama energia (Kuittinen ym., 2011) ja arvio tuotanto- ja käyttöketjun työllisyysvaikutuksista vuosina 1995 ja 2001 (Halonen ym., 2003)

	Laitosmäärä		Tuotettu energia		Työllisyysvaikutus	
	Kpl		GWh		Htv	
	1995	2001	1995	2001	1995	2001
Jätevedenpuhdistamot	17	19	120	118	3,4	3,8
Yhteismädätyslaitokset	1	1	5,1	3,6	3	3
Maatilat	-	5	0	0,26	-	0,25

VTT:n raportin (Halonen ym.) mukaan biokaasun tuotanto- ja käyttöketjun työllisyysvaikutus on suhteellisen pieni jätevedenpuhdistamoissa, mutta suuri suhteessa tuotetun energian määrään yhteismädätyslaitoksissa ja maataloilla. Laitosmäärään ja tuotetun energian määrään suhteutettu työllisyysvaikutus on esitetty taulukossa 4.6.

Taulukko 4.6. Erityyppisten biokaasulaitosten tuotanto- ja käyttöketjun työllisyysvaikutus kappalemäärää ja tuotettua energiamäärää kohti vuosina 1995 ja 2001.

	Htv / kpl	Htv / GWh
Jätevedenpuhdistamot	0,2	0,03
Yhteismädätyslaitokset	3	0,7
Maatilat	0,05	1

Biokaasun syöttötariffin työllisyysvaikutus olisi kaiken kaikkiaan noin 100–150 htv/vuosi, jos oletetaan, että yksi GWh tuotantoa tuo noin 0,3–0,5 henkilötyövuotta (taulukko 4.6) ja syöttötariffin piirissä on 300 GWh/a energiantuotantoa (luku 4.4). Tässä esitetty arvio perustuu vuosien 1995 ja 2001 tilanteeseen, sillä uudempaa tutkimustietoa ei ollut käytettävissä. On todennäköistä, että teknologia ja käytännöt paranevat ja tehostuvat niin, että toteutuva työllisyysvaikutus on arvioitua pienempi. Lisäksi on todennäköistä, että osa työllisyysvaikutuksesta tulisi jo olemassa olevien työpaikkojen yhteyteen, kuten maataloille, ja vain osa olisi kokonaan uusia työpaikkoja.

4.6 Suorat kustannukset valtiolle

Biokaasun tuotantoa tuetaan useilla eri tukimuodoilla. Keskeisin tukimuoto ennen vuotta 2011 olivat investointituet, joita työ- ja elinkeinoministeriö myönsi bioenergiantuotannon avustuksena (Valtionavustuslaki 688/2001; Valtioneuvoston asetus bioenergiantuotannon avustamisesta 607/2008) ja maa- ja metsätalousministeriö maatalouden investointitukirahoituksena (Laki maatalouden rakennetuista 1476/2007). Yhteensä biokaasulaitoksille myönnettiin vuonna 2010 noin 8,1 M€ investointitukea. Raportin kirjoitusvaiheessa osa aikaisempina vuosina myönnetystä tukipäätöksistä oli rauennut, joten käytetty tukimäärä tulee olemaan myönnettyä tukea pienempi.

Investointitukien lisäksi biokaasun tuotantoa edistetään mm. sähköntuotannon verotuella (4,2 snt/kWh). Toisaalta vesistönsuojeluun tarkoitettu tuki lietalannan sijoittamiseen saattaa pienentää biokaasureaktoreille tarjottavan lannan määrää, sillä tukea ei makseta biokaasureaktorissa käsitellystä lannasta. Taulukossa 4.7 on esitetty yhteenveto vuosina 2004–2009 biokaasulle myönnettyistä ja maksetuista tuista.

Taulukko 4.7. Biokaasulle vuosina 2004–2010 myönnetyt investointituet, M€. Vuoden 2011 loppuun mennessä yli puolet 2008 tuista oli rauennut. TEM:n myöntämät tuet vuosilta 2004–2009 (HE 152/2010) ja vuodelta 2010 (TEM 2011b), maatalouden investointituet (MMM 2011a) ja sähköntuotannon verotuet, M€ (Tullihallitus 2010).

	<u>2004</u>	<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>	<u>2008</u>	<u>2009</u>	<u>2010</u>
Myönnetyt investointituet, TEM	1,95	1,41	0,11	0,13	5,8	4,2	0,6
Myönnetyt investointituet, MMM	0	0	0	0	8,5	4,9	7,3
Sähköntuotannon verotuki	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,26
Yhteensä	0,05	2,6	0,2	0,9	14,3	9,9	8,2

Biokaasun syöttötariffin kustannuksia on arvioitu hallituksen esityksessä (HE 152/2010). Esityksen arvio on koottu taulukkoon 4.8. Maksettavien tukien arvioidaan nousevan 13 miljoonan euron tasolle vuonna 2015, kun kaikki uusi kapasiteetti on rakennettu, ja pysyvän samansuuruisena vuoteen 2020. Jos vastaava arvio lasketaan hallituksen esityksen sähkön tuotantotavoitteista ja oletetusta lämmöntuotannon määrästä kahdella eri sähkönhinnalla, saadaan vuoden 2020 kustannusarvioksi hallituksen esityksessä ollutta arviota vastaavat summat. Sähkön hinta pysyy arvioissa vakiona koko tarkastelujakson yli.

4. Biokaasureaktorit

Taulukko 4.8. Hallituksen esityksen arvio maksettavan syöttötariffin suuruudesta ja tässä hankkeessa laskettu arvio syöttötariffin suuruudesta.

	2011	2012	2013	2014	2015	2020	2025	2030
	M€	M€	M€	M€	M€	M€	M€	M€
Hallituksen esityksen arvio	3	4	7	10	13	13	-	-
Impakti, sähkön hinta 40 €/MWh	5	7	11	14	14	14	3	0
Impakti, sähkön hinta 50 €/MWh	4	7	10	13	13	13	3	0
Impakti, sähkön hinta 65 €/MWh	3	5	8	10	10	10	3	0

Syöttötariffia maksettaisiin hallituksen esityksen arvion mukaan vuosina 2011–2020 yhteensä noin 100 M€ ja tämän hankkeen arvioiden mukaan 90–120 M€. Vuosien 2021–2030 aikana syöttötariffia maksettaisiin noin 45–55 M€. Yhdelle voimalaitokselle syöttötariffia maksetaan korkeintaan 12 vuotta.

4.7 Kustannustehokkuus valtion kannalta

4.7.1 Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta

Vuosina 2000–2009 toteutuneita kustannuksia ja päästövähennyksiä ei voida suoraan verrata, sillä laitoksia ei välttämättä ole rakennettu samana vuonna kuin tuet on myönnetty eikä kaikkia tukia saaneita laitoksia välttämättä edes ollut rakennettu ennen vuoden 2010 loppua. Tämän vuoksi tässä arvioidaan ainoastaan syöttötariffilla saavutettavien päästövähennysten kustannustehokkuutta. Arviossa on oletettu, että

- laitosten sähkön ja lämmön tuotanto, päästövähennykset ja kustannukset lasketaan kuten luvuissa 4.4 ja 4.6
- biokaasulaitosten tekninen käyttöikä on 20 vuotta, jolloin päästövähennykset jatkuvat vuoteen 2035 vuoden 2020 päästövähennyskertoimilla
- syöttötariffia maksetaan yhdelle laitokselle 12 vuoden ajan
- sähkön hinta on 50 tai 65 €/MWh koko tarkastelun ajan (2011–2030)
- kaikille laitoksille maksetaan myös 50 €/MWh lämpöpöremio
- kustannukset diskontataan 5 %:n korolla..

Taulukossa 4.9 on esitetty arviot päästövähennysten kustannustehokkuudesta pienemmillä (sähkö 550 → 200, lämpö 200 ja metaani 0) ja suuremmilla vähennyskertoimilla (sähkö 700 → 300, lämpö 290 ja metaani 0,2). Jos metaani- ja typpioksiduulipäästöt vähenevät kuten suuremmissa kertoimissa on oletettu, biokaasun syöttötariffin päästövähennysten kustannustehokkuus olisi 20–25 €/tCO₂-ekv. Pienemmillä kertoimilla ja ilman oletettuja ei-CO₂-päästövähennyksiä päästövähennysten yksikkö-

kustannus olisi 70–85 €/tCO₂. Suurin epävarmuus kustannustehokkuus arvioissa on ei-CO₂-päästöjen vähennyskerroin, toiseksi suurin sähkön ja lämmön korvaavuuskertoimet ja sähkön hinta.

Taulukko 4.9. Biokaasun päästövähennysten kustannustehokkuus ilman oletettuja metaanin ja typpioksiduulin päästövähennyksiä sekä niiden kanssa.

	Sähkön hinta vuosina 2011–2030	
	50 €/MWh	65 €/MWh
Päästövähennysten yksikkökustannus (Pienemmät korvauskertoimet)	84 €/tCO ₂	69 €/tCO ₂
Päästövähennysten yksikkökustannus (Suuremmat korvauskertoimet)	23 €/tCO ₂	19 €/tCO ₂

Jos syöttötariffilla todella saadaan vähennettyä metaani- ja typpioksiduulipäästöjä, olisi se tästä näkökulmasta kohtuullisen edullinen tapa vähentää päästöjä. Ei-CO₂-päästövähennysten arviointiin sisältyy kuitenkin huomattava epävarmuus. On myös muistettava, että tämä laskelma kattaa ainoastaan syöttötariffista aiheutuvat suorat kustannukset valtiolle ja jättää huomioimatta esimerkiksi laitosten rakennuksen, käytön ja huollon kustannukset.

Toisaalta voidaan ajatella, että arvioidut kustannukset olisivat hyvä arvio päästövähennyskustannuksista koko energijärjestelmälle, jos syöttötariffin taso on mitoitettu siten, että sillä pystyttäisiin rakentamaan 140 GWh biokaasusähkön tuotantoa juuri ja juuri taloudellisesti kannattavasti. Tällöin voitaisiin ajatella, että syöttötariffi kuvaa koko energijärjestelmän laajuista päästövähennyskustannusta. Jos yksityisten toimijoiden investoinnit muuttuvat juuri ja juuri kannattavaksi, pitäisi syöttötariffin kattaa kaikki ylimääräiset kustannukset eli edustaa toimen päästövähennyskustannusta koko energijärjestelmälle.

Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvityksessä (Hagström, 2005) arviointiin, että suurikokoisella sikaatilalla päästäisiin noin 100 €/tCO₂-ekv:n päästövähennyskustannukseen, kun kaikki kustannukset ja päästövähennykset otettiin huomioon. Arvio ei siis ole täysin vertailukelpoinen tässä käytetyn lähestymistavan kanssa. Vuonna 2011 julkaistun Biotila-hankkeen kannattavuustarkastelun mukaan maatilakokoluokan biokaasulaitokset olisivat nykyisillä tukitoimilla taloudellisesti kannattavia, jos raaka-aineesta saadaan porttimaksuja tai kaikki tuotettu sähkö ja lämpö voidaan hyödyntää korvaamaan öljyn käyttöä (Taavitsainen, 2011). Biokaasulaitosten taloudellinen kannattavuus saattaisi parantua merkittävästi, jos kotimaisten päästövähennysten hyvitysjärjestelmä toteutuisi (Mikkanen ym., 2011). Hyvitysjärjestelmän toteutuessa sen piiriin kuuluville toimijoille voitaisiin myöntää rahallinen korvaus vastineeksi aikaansaadusta ja todennetusta päästökaupan ulkopuolisesta päästövähennyksestä.

4.7.2 Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta

Uusiutuvan energian yksikkökustannus on laskettu biokaasureaktoreille olettaen, että luvussa 4.5 esitetyt suorat kustannukset (13 M€ vuonna 2020) ja biokaasureaktorien sähköntuotannolle asetettu tavoite (150 GWh vuonna 2020) toteutuvat. Vuoden 2020 tavoitteesta on vähennetty 10 GWh tuotantoa, jonka oletetaan olevan syöttötariffiin liittyvien jo olemassa olevien laitosten yhteistuotanto. Tällöin uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta on laskettu ainoastaan lisäkapasiteetista. Sähkön lisäksi syöttötariffiin kuuluvat uudet biokaasureaktorit tuottaisivat 140 GWh lämpöä. Tällä tavalla laskettuna biokaasureaktoreilla tuotetun uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta olisi noin 46 M€/TWh.

5. Liikenteen biopolttoaineet

5.1 Käyttöä edistävät politiikkatoimet

Liikenteen biopolttoaineiden käyttöä edistetään Suomessa jakeluelvoitteella. Liikenteen biopolttoaineiden kotimaista tuotantoa edistetään investointituilla ja tutkimusrahoituksella. Edellä mainittujen lisäksi liikenteen biopolttoaineiden valmistusverotus on kevyempi kuin fossiilisten.

5.1.1 Jakeluelvoite

Biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käyttöä EU:ssa on edistetty jo vuosien ajan. EU:n direktiivi 2003/30/EY asetti jäsenmaille viitteellisen tavoitteen lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä energiasisällöltään 5,75 %:iin kaikesta markkinoille saatetusta liikennekäyttöön tarkoitettusta bensiinistä ja dieselistä vuoteen 2010 mennessä. Vuonna 2009 annettu EU:n uusiutuvien energialähteiden edistämisdirektiivi, ns. RES-direktiivi (2009/28/EC), asetti vastaavan mutta velvoittavan 10 %:n tavoitteen vuodelle 2020.

Suomessa biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä säädetään biopolttoaineiden kulutukseen toimittamista koskevassa veloitteessa (jakeluelvoitteessa) liikennepolttoaineiden jakelijoille (Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 446/2007, 5. §). 30.12.2010 annetussa laissa (Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta 1420/2010) muutettiin jakeluelvoitetta mm. siten, että biopolttoaineiden osuuden tulee olla 6 % vuosina 2011–2014 ja sen jälkeen kasvaa tasaisesti 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Tärkein ohjauskeino liikenteen biopolttoaineiden määrän kasvattamiseksi Suomessa on liikenteen biopolttoaineiden jakeluelvoite.

Jakeluelvoite sisältää myös kestävyyskriteerit. Jotta liikenteen biopolttoaineet ovat tukikelpoisia ja jotta ne lasketaan EU:n ja Suomen asettamia tavoitteita täytettäessä, tulee niiden täyttää RES-direktiivissä (2009/28/EC) asetetut kestävyyskriteerit. Kestävyyskriteerit asettavat vaatimuksia biopolttoaineiden raaka-aineiden alkuperälle sekä biopolttoaineilla saavutettavalle kasvihuonekaasupäästöjen vähennykselle vertailupolttoaineeseen nähden.

Päästövähennystä koskevan kestävyyskriteerin mukaan biopolttoaineen tuotannolla ja käytöllä on saavutettava vähintään 35 %:n vähennys kasvihuonekaasupäästöissä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Vuodesta 2017 alkaen on kasvihuonekaasupäästövähennyksen oltava 50 %, ja vuonna 2017 tai sen jälkeen käyttöönotetuissa laitoksissa vähennyksen on oltava 60 % vuodesta 2018 eteenpäin (RES-direktiivi 2009/28/EC, artikla 17(2)). Kestävyyskriteerien kasvihuonekaasupäästöjä koskevaa osuutta sovelletaan 1.4.2013 alkaen niihin liikenteen biopolttoaineisiin ja bionesteisiin, jotka on tuotettu 23.1.2008 jo toiminnassa olleissa laitoksissa. Muiden laitosten ja kestävyyskriteereiden osalta direktiiviä sovelletaan ilman siirtymäaikaa. RES-direktiivin mukaisesti Suomeen luodaan kansallinen järjestelmä, jolla valvotaan kestävyyskriteerien täyttymistä.

EU:n RES-direktiivin mukaan liikenteen uusiutuvan energian osuus lasketaan nestemäisistä ja kaasumaisista biopolttoaineista sekä tie- ja raideliikenteessä käytetystä sähköstä, joka on tuotettu uusiutuvalla energialla. Suomen jakeluvelvoitelaki (Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta 1420/2010) koskee vain nestemäisiä liikenteen biopolttoaineita, ja lain 5. §:n mukaan uusiutuvan energian osuus lasketaan "moottoribensiinin, dieselin ja biopolttoaineiden energiasisällön kokonaismäärästä". Velvoite ei koske biokaasun liikennekäyttöä eikä sähkön käyttöä liikenteessä.

Jätteistä, tähteistä ja syötäväksi kelpaamattomasta selluloosasta tai lignoselluloosasta valmistettujen liikenteen biopolttoaineiden energiasisältö voidaan "tuuplaskea" eli ottaa huomioon kaksinkertaisena jakeluvelvoitteessa ja EU:n RES-direktiivin liikenteen uusiutuvien energialähteiden käyttövelvoitetta täytettäessä. Uusiutuvan energian kokonaistavoitteeseen tuuplalaskettavat otetaan kuitenkin huomioon niiden todellisen energiasisällön mukaan.

5.1.2 Valmisteveroalennus

Vuoden 2010 loppuun asti liikenteen biopolttoaineista ei tarvinnut maksaa valmisteveroa, jolloin niiden valmistaminen oli toimijoille taloudellisesti kannattavampaa. Vuoden 2011 alusta niistä joudutaan maksamaan valmisteveroa, mutta se on pienempi kuin fossiilisista polttoaineista maksettava vero. Bioetanolin valmistevero on noin puolet bensiinin valmisteverosta ja biodieselin valmistevero on noin 25 % pienempi kuin fossiilisen dieselin (Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta 1399/2010).

Eri biopolttoaineiden valmisteverot ovat muuten keskenään yhtä suuret, mutta tuuplalaskettavien biopolttoaineiden käyttöön kannustetaan alemmalla valmisteverolla. Eri polttoainelajien verotusta ja sen kustannuksia valtiolle on käsitelty tarkemmin luvussa 5.7.

5.1.3 Investointituet

EU rahoittaa biojalostamoiden investointeja päästöoikeuksien huutokaupasta saatavilla tuloilla. Mekanismia kutsutaan NER300-hauksi ja sen ensimmäinen

kierros päättyi vuoden 2011 alussa. Työ- ja elinkeinoministeriö toimitti kaikki kolme ohjelman vaatimukset täyttävää biopolttoainehakemusta komissiolle (TEM, 2011c). Komissio voi hyväksyä useampia hakemuksia ja komission myöntämä rahoitus voi kattaa 50 % uuden teknologian kustannuksista.

5.2 Liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutusmekanismit

Nykyisen vallitsevan kasvihuonekaasupäästöjen tilastointikäytännön mukaisesti bioenergian ja siten myös liikenteen biopolttoaineiden polton ei katsota aiheuttavan hiilidioksidipäästöjä energiasektorilla, jonka alainen liikennesektori on. Tämä johtuu siitä, että biopolttoaineen poltossa syntyvän hiilidioksidin oletetaan sitoutuvan takaisin kasvavaan raaka-aineeseen. Poltossa aiheutuvat metaani- ja typpioksiduulipäästöt sen sijaan lasketaan liikennesektorin päästöiksi fossiilisten polttoaineiden tavoin.

Liikenteen biopolttoaineiden valmistuksessa aiheutuu kuitenkin päästöjä raaka-aineen tuotannossa ja hankinnassa sekä raaka-aineen, välituotteiden ja lopputuotteen kuljetuksissa, varastoinnissa, jalostamisessa ja jakelussa. Suurin osa näistä aiheutuu yleensä muilla kuin liikennesektorilla. Päästöjen kokonaislaskennan kannalta tämä ei ole ongelma, mikäli päästötilastointi on kattavaa ja sisältää myös muiden sektorien päästöt, kuten Suomessa. Ongelmia voi kuitenkin tulla, mikäli osa biopolttoaineen hankintaketjusta tapahtuu maassa, jossa päästötilastointi on puutteellista.

Koska biopolttoaineiden laskennalliset kasvihuonekaasupäästöt aiheutuvat yleensä enimmäkseen tuotantovaiheessa, on koko biopolttoaineen tuotantoketju keskeisessä roolissa biopolttoaineen päästöjä arvioitaessa. Suomeen tuotujen raaka-aineiden, välituotteiden tai biopolttoaineiden tapauksessa merkittävä osa tuotantoketjun päästöistä saattaa aiheutua Suomen rajojen ulkopuolella. Tässä tapauksessa päästöt voivat siis pienentyä yhden tilastorajan sisäpuolella, kuten esimerkiksi Suomessa, ja kasvaa muualla, kuten esimerkiksi Brasiliassa, missä tuotetaan bioetanolia vientiin.

Arvioitaessa biopolttoaineen tuotanto- ja käyttöketjun päästöjä raaka-aineen hankinnasta polttoaineen polttamiseen saakka joudutaan käytännössä soveltamaan elinkaariarviointia (LCA, Life cycle assessment) ja sen menetelmällisiä periaatteita (ISO 14040–14044). Tarkastelujen rajauksessa, parametrien valinnassa, päästöjen kohdentamisessa eri tuotteille monituotekonseptien tapauksessa ja mahdollisessa kierrätyksessä sekä arvioinnissa sovellettavissa indikaattoreissa joudutaan tekemään useita oletuksia. Biopolttoaineiden arvioidut päästöt ovat usein hyvin herkkiä näille oletuksille (esim. Soimakallio & Koponen, 2011; Soimakallio ym., 2009).

EU on RES-direktiivissä (2009/28/EC) asettanut kestävyyskriteeristön ja antanut siinä oletuskertoimia biopolttoaineiden tuotantoketjun eri vaiheiden päästöille ja biopolttoaineilla saavutettavalle päästövähennykselle vertailupolttolaineeseen nähden sekä menetelmäkehityksen biopolttoaineiden tuotannon aktuaalisten päästöjen laskemiseksi. Oletuskertoimia saa käyttää tietyin RES-direktiivissä määrättyin

ehdoin. Yhtenä erityisvaatimuksena on se, että raaka-aineiden hankinta-alueella maankäytön muutoksen päästö ei saa olla nolaa suurempi.

Tässä raportissa liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutukset on arvioitu eri päästövaikutuskertoimilla, jotka on otettu joko suoraan komission RES-direktiivistä tai eri tutkimuksista. Näiden lisäksi on pyritty arvioimaan, kuinka iso osa tuotantoketjun päästöistä vapautuu Suomen rajojen sisäpuolella.

5.3 Ex post -arvio liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutuksista

5.3.1 Liikenteen biopolttoaineiden käyttö Suomessa

Liikenteen biopolttoaineiden käyttö Suomessa kasvoi vuosien 2006–2009 aikana käytännössä nolasta 150 000 öljykvivalenttitonniin (myöhemmin toe). Samalla biopolttoaineiden osuus koko tieliikenteen polttoaineista kasvoi noin neljään prosenttiin. Taulukossa 5.1 on koottu tilastot liikenteen energiankulutuksesta ja liikenteen biopolttoaineiden määristä vuosina 2006–2009 (Tilastokeskus, 2011a). Vuoden 2010 tilastoja ei ollut raportin kirjoitushetkellä saatavilla.

Taulukko 5.1. Liikenteen biopolttoaineiden käyttö Suomessa vuosina 2006–2009.

	Bioetanol 1000 toe	Biodiesel 1000 toe	Liikenteen biopolttoaineet yhteensä 1000 toe	Tieliikenteen polttoaineet yhteensä 1000 toe	Biopoltto- aineiden osuus %
2006	0,8	0	0,8	4010	0,02 %
2007	1,7	0,1	1,8	4135	0,04 %
2008	64	10	74	3930	2 %
2009	79	66	146	3810	4 %

5.3.2 Arvio Suomessa käytetyn bioetanolin ja biodieselin raaka-aineista

Jakeluvaiheen mukaisesti jokainen jakelija on velvollinen toimittamaan liikenteen biopolttoaineita loppukäyttäjille. Laissa säädetään, että ”Tullilaitos valvoo tämän lain ja sen nojalla annettujen säännösten noudattamista sekä huolehtii lain täytäntöönpanosta” (Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta 1420/2010). Jakelijakohtaisen tietokannan valmistelu aloitettiin vuonna 2010, eikä sitä ollut käytettävissä vielä raportin kirjoitushetkellä.

Suomessa käytettävistä biopolttoaineista osa on täysin kotimaisia, osassa raaka-aineet tuodaan Suomeen jalostettavaksi ja osa tuodaan maahan jo valmiina tuotteina. Tuonti- ja vientitilastot ovat tullin tiedossa, mutta tulli ei tilastoi valmiin

tuotteen raaka-ainetta ja tietosuojalain vuoksi ilmoittaa esimerkiksi maahan tuodun palmuöljyn määrän ainoastaan euroina. Lisäksi tullin käyttämät CN-luokat saattaa sisältää myös johonkin muuhun teollisuudenalaa menevää tuotetta.

Liikenteen biopolttoaineiden raaka-aineista oli saatavilla ainoastaan jakeluyhtiöiden itse Taloussanomille antamaa tietoa käyttämistään raaka-aineista (TS, 2011). Taulukoihin 5.2 ja 5.3 on koottu bensiinin ja dieselin jakelijat Suomessa, näiden jakeluosuudet öljy- ja kaasualan keskusliiton mukaan (ÖKL, 2010) sekä ilmoitetut raaka-aineosuudet.

Taulukko 5.2. Bensiinin jakelijat, markkinaosuudet 2008 ja 2009 (ÖKL, 2010) ja yhtiöiden ilmoittamat raaka-aineet (TS, 2011).

	Markkinaosuudet bensiinin myynnissä		Bioraaka-aineet yhtiöittäin	%
	2008 %	2009 %		
ABC, Shell ja St1	51,6	53,4	Sokeriruoko jätetaikina, mallasjäte ja perunankuoret	80 20
Neste Oil ja Teboil	43,8	44,0	sokeriruoko, vilja, maissi ja sokerijuurikas	100
Seo	2,7	2,6	Ei ilmoitettu	
Yhteensä	100	100		

Taulukko 5.3. Dieselin jakelijat, markkinaosuudet 2008 ja 2009 (ÖKL, 2010) ja yhtiöiden ilmoittamat raaka-aineet (TS, 2011).

	Markkinaosuudet dieselin myynnissä		Bioraaka-aineet yhtiöittäin	%
	2008 %	2009 %		
ABC, Shell, St1	30,3	31,9	Fossiilinen palmuöljy (nexbtl) Rypsiöljy	94 5.5 0.5
Neste Oil ja Teboil	68,0	66,4	Fossiilinen palmuöljy (nexbtl) jäteöljy ja jäterasva	90 9 1
Seo	1,7	1,6	Ei ilmoitettu	
Yhteensä	100	100		

5. Liikenteen biopolttoaineet

Taulukoiden 5.2 ja 5.3 perusteella on mahdollista arvioida, mistä raaka-aineista Suomessa käytetty bioetanoli ja biodiesel on tuotettu, jos oletetaan, että

- 1) kaikki jakelijat ovat käyttäneet ilmoittamiaan raaka-aineita samassa suhteessa myös aiempina vuosina
- 2) kaikki jakelijat ovat käyttäneet koko suomen bioetanolista ja -dieselistä juuri sen verran kuin niiden osuus bensiinin tai dieselin myynnistä on.

Yhtiöt jakelevat 95 E10:n⁴ ja dieselin lisäksi 98 E5:tä sekä joissakin tapauksissa myös kokonaan biopohjaista polttoainetta, joka yhtiöstä riippuen kulkee nimellä Green Diesel 100 (Neste Oil) tai Refuel (St1). Päästövaikutuksia arvioitaessa on oletettu, että 98 E5:n biokomponentin raaka-aineet ovat samat kuin 95 E10:n, jolloin ainoastaan kokonaisuudella on merkitystä. Green Diesel 100:ssa on palmuöljyä ja rypsiöljyä samassa suhteessa kuin fossiiliseen dieseliin sekoitettavassa biodieselissä (TS, 2011), jota ei siten tarvitse huomioida erikseen. Refuelin myyntimäärät eivät ole tiedossa, joten sitä ei voida huomioida arvioissa erikseen.

Kun eri jakelijoiden myyntivolyymiä verrataan niiden ilmoittamiin biopolttoaineiden raaka-aineisiin, voidaan arvioida bioetanolin ja biodieselin raaka-aineita vuosina 2008 ja 2009 koko Suomessa. SEO:n osuudesta on oletettu, että se on keskimääräistä Suomessa myytävää biodieselä tai etanolia.

Taulukoissa 5.4 ja 5.5 esitettyjen arvioiden mukaan Suomessa käytetystä biodieselistä valtaosa on tehty palmuöljystä ja enemmistö etanolista on peräisin soke-riiu'osta. Arviolta 10 % käytetystä biodieselistä tehdään rypsiöljystä sekä jäterasvoista ja noin 10 % etanolista valmistetaan leipomojätteistä. Arvio saataisiin luotettavammaksi, jos tullin tilasto käytetyistä raaka-aineista ja biopolttoainemääristä olisi ollut jo käytettävissä. Monien oletusten ja suurten epävarmuuksien johdosta luvut ovat vain suuntaa antavia.

Myöhemmissä arvioissa vuosille 2006 ja 2007 on käytetty vuoden 2008 raaka-aineosuuksia. Tästä oletuksesta ei aiheudu suurta virhettä, sillä 2006 ja 2007 liikenteen biopolttoaineita käytettiin hyvin vähän.

Taulukko 5.4. Arvio biodieselin raaka-aineista Suomessa vuosina 2008 ja 2009. Arvio perustuu eri yritysten jakeluosuuksiin (ÖKL, 2010) ja itse ilmoittamiin raaka-aineosuuksiin (TS, 2011).

	2008		2009	
	ktoe	%	Ktoe	%
palmuöljy (nexbtl)	6	65	43	65
palmuöljy ja kasviöljyä Euroopasta	2	24	16	25
rypsiöljy	0,5	5	3	5
rypsiöljy ja jäterasva	0,5	4	3	4
Yhteensä	9,7	100	66,3	100

⁴ 95-oktaanista bensiiniä, joka sisältää korkeintaan 10 tilavuusprosenttia bioetanolia.

Taulukko 5.5. Arvio bioetanolin raaka-aineista Suomessa vuosina 2008 ja 2009. Arvio perustuu eri yritysten jakeluosuuksiin (ÖKL, 2010) ja itse ilmoittamiin raaka-aineosuuksiin (TS, 2011).

	2008		2009	
	ktoe	%	ktoe	%
sokeriruoko, vilja, maissi ja sokerijuurikas	31	46	36	44
sokeriruoko	28	41	35	43
jätetaikina, mallasjäte ja perunankuoret	7	10	9	11
Yhteensä	64,5	100	79,3	100

5.3.3 Eri biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutus

Jotta eri biopolttoaineiden yhteenlaskettu päästövaikutus voitaisiin arvioida, tulee jokaiselle tuoteryhmälle määritellä päästövaikutuskertoimien. Tässä hankkeessa arviot tehtiin yksinkertaisella tavalla käyttämällä jokaiselle eri tuotekategorialle kolmea eri päästövaikutuskertoiminta, joilla pyritään kuvaamaan eri näkökulmia. Taulukossa 5.6 on esitetty päästövaikutuksia arvioitaessa käytetyt kertoimet ja ne on perusteltu seuraavissa alaluvuissa.

Taulukko 5.6. Eri biopolttoaineluokille käytetyt päästövaikutuskertoimet sekä arvio Suomessa vapautuvien päästöjen osuudesta. Päästövaikutuskertoimien kuvaava päästövähennemää verrattuna fossiilisen polttoaineen käyttöön. Positiivinen luku tarkoittaa, että päästöt kasvavat fossiiliseen vaihtoehtoon verrattuna. Lukuarvojen valintaa on kuvattu seuraavissa alaluvuissa.

Tuoteryhmä	Pienempi kerroin	Suurempi kerroin	Päästöt Suomessa
	%	%	%
palmuöljy (NExBTL)	-65	+100	0
palmuöljy ja kasviöljyä Euroopasta	-56	+100	0
rypsiöljy	-38	-8	100
rypsiöljy ja jäterasva	-83	-8	100
sokeriruoko, vilja, maissi ja sokerijuurikas	-71	+10	0
sokeriruoko	-71	-50	0
jätetaikina, mallasjäte ja perunankuoret	-83	-50	100

Päästövaikutuskertoimen lisäksi arviossa on oleellista huomioida myös se, kuinka iso osa päästöistä vapautuu Suomessa ja kuinka paljon muualla maailmassa. Koska tässä verrataan biopolttoaineita fossiilisiin polttoaineisiin, tulee huomioida keskeisimmät erot niiden tuotanto- ja käyttöketjun välillä. Suurin ero on se, että

liikenteen biopolttoaineet ovat hiilidioksidin osalta laskennallisesti nollapäästöisiä liikennesektorilla⁵, joten merkittävä osa niiden päästöistä aiheutuu tuotantoketjussa, kun taas fossiilisten polttoaineiden tapauksessa suurin osa päästöistä aiheutuu tyypillisesti polttovaiheessa ja siten liikennesektorilla.

Jos koko biopolttoaineen tuotantoketju on Suomessa, kaikki päästöt tapahtuvat Suomessa. Jos kaikki vaiheet tapahtuvat muualla ja Suomeen tuodaan valmis tuote, Suomessa ei laskennallisesti tapahdu muita päästöjä kuin kuljetuksen ja jakelun päästöt, jotka on oletettu yhtä suuriksi kuin fossiililla polttoaineilla.

Näiden kahden ryhmän (tuodaan valmis tuote tai koko valmistusketju Suomessa) lisäksi on käytössä Neste Oilin NExBTL-diesel, jonka raaka-aineet kasvatetaan ulkomailla, mutta itse tuote jalostetaan Suomessa. Jalostuksen päästöt ovat noin 10 % polton päästöistä (Nikander, 2008), mutta tässä on oletettu, että Neste Oilin jalostamalla biodieselillä korvataan fossiilista dieseliä, jonka Neste Oil olisi joka tapauksessa jalostanut Suomessa. Tässä on oletettu, että biodieselin ja fossiilisen dieselin jalostuksen päästöt ovat suunnilleen yhtä suuret, eivätkä siten kasva biodieselin tuotannon lisääntymisen vuoksi.

HVO-diesel palmuöljystä

Vetykäsitellyn (HVO) palmuöljydieselin kasvihuonekaasuvaikutukset ovat RES-direktiivin (2009/28/EC) oletusarvojen mukaan -26 %, jos tuotannon metaania ei kerätä talteen, ja -65 %, jos talteenotto on järjestetty. Ainoastaan pienempi näistä kertoimista (-65 %) täyttää EU:n kestävyyskriteerit.

Monien kirjallisuuslähteiden mukaan arviot palmuöljy-HVO:n päästövähennyksistä ovat epävarmoja ja tulokset vaihtelevat paljon oletuksista riippuen (mm. UNEP, 2011; Soimakallio & Koponen, 2011). Suurimpien arvioiden mukaan palmuöljystä valmistettu biopolttoaine voi aiheuttaa jopa 20-kertaiset päästöt fossiiliseen polttoaineeseen nähden, mikäli palmuöljyplantaasi perustetaan suosademetseen (UNEP, 2011). Vaikka EU:n RES-direktiivi ehkäisee suorien maankäytön muutosten mahdollisuutta, ei se toistaiseksi ota kantaa epäsuoriin maankäytön muutoksiin. EU:n komissio tosin parhaillaan pohtii sitä, miten epäsuoriin maankäytön muutoksiin tulisi RES-direktiivin puitteissa suhtautua (EC, 2010). Jos maankäytön epäsuorat muutokset huomioidaan, ovat palmuöljystä valmistetun dieselin päästöt monien tutkimusten mukaan todennäköisesti fossiilisia polttoaineita suuremmat (esim. Edwards ym., 2010; Searchinger ym., 2008).

Tässä hankkeessa laadituissa arvioissa ei ole huomioitu pessimistisimpiä skenaarioita. Palmuöljydieselille on käytetty pienempänä kertoimena RES-direktiivin oletuskerrointa -65 % ja suurempana kertoimena +100 % eli kaksi kertaa fossiilisen dieselin päästöt Reinhardtin (2007) esittämään arvioon perustuen.

⁵ Tässä on jätetty huomioimatta biopolttoaineiden polton aiheuttamat CH₄- ja N₂O-päästöt, sillä niissä ei ole merkittävää eroa biopolttoaineiden ja fossiilisten polttoaineiden välillä (Mäkinen ym., 2006). Tässä ei ole huomioitu myöskään biopolttoaineiden tuotannon kuljetuksissa liikennesektorille aiheutuvia päästöjä.

Biodiesel palmuöljystä ja yleisesti Euroopassa tuotetusta kasviöljystä

RES-direktiivissä muulle palmuöljybiodieselille (not hydrotreated) annetut päästövaikutusten oletuskertoimet ovat hieman suurempia kuin palmuöljy-HVO-dieselille: -56 %, jos metaanin talteenotto on järjestetty, ja -19 %, jos talteenottoa ei ole. Raaka-aineluokka "kasviöljy Euroopasta" voi tarkoittaa esimerkiksi rapsiöljyä, auringonkukkaöljyä tai jotain muuta kasviöljyä. RES-direktiivissä näiden muiden tuotteiden oletuskertoimet kuitenkin mahtuvat palmuöljydieselin haarukkaan, jota on sovellettu tämän hankkeen arvioissa. Näiden lisäksi tälle tuoteryhmälle käytettiin myös +100 %:n päästövaikutuserrointa kuten edellä palmuöljy-HVO-dieselille.

Biodiesel suomalaisesta rypsiöljystä

RES-direktiivissä ei ole annettu päästövaikutuksen oletuserrointa rypsiöljydieselille. Lähin vastaava oletuserroin on rapsiöljylle (rape seed biodiesel), jolle annetaan oletuskertoimeksi -38 %. Euroopan unionissa tuotettuja raaka-aineita varten oletusarvoja voidaan kuitenkin käyttää vain, jos raaka-aineet on tuotettu jäsenvaltioiden toimittamissa luetteloissa mainituilla alueilla, joilla viljelystä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen voidaan olettaa olevan pienempiä tai samansuuruisia kuin RES-direktiivissä (direktiivin liite V, D-osa). Maa- ja metsätalousministeriön komissiolle toimittaman muistion (MMM, 2011a) mukaan rapsin viljelyn oletusarvo (29 g CO₂ekv/MJ) ei alitu Suomessa millään NUTS 2 -alueella. Tämä johtuu erityisesti siitä, että Suomessa satotaso tarvittavaan typpilannoitukseen ja siitä aiheutuviin päästöihin nähden on merkittävästi pienempi kuin Euroopassa keskimäärin (Soimakallio ym. 2009).

Tässä hankkeessa on kokonaispäästövaikutusta arvioitaessa oletettu, että rypsiöljybiodiesel on kokonaan kotimaista alkuperää. Pienempänä päästövaikutuserktoimenä on tässä käytetty RES-direktiivin oletuserrointa rapsiöljylle, -38 %. Tämä perustuu siihen, että Suomessa voi olla mahdollista päästä rypsi-biodieselin osalta RES-direktiivin oletusarvoihin.

Suurempi kerroin (-8 %) on saatu muuttamalla Soimakallion ym. (2009) suomalaiselle rypsi-biodieselille laatima odotusarvolaskenta RES-direktiivin edellyttämän energiaperusteisen allokoinnin mukaiseksi Sinkon ym. (2010) esittämien kertoimien perusteella. Tässä käytetyt kertoimet ovat arvioita ja edustavat erilaisia mahdollisia näkökulmia ja taserajauksia, joilla liikenteen biopolttoaineiden päästöjä voidaan arvioida. RES-direktiivin mukaisesti Suomeen luodaan kansallinen järjestelmä, jolla valvotaan kestävyyskriteereiden täyttymistä.

Biodiesel jäteöljystä ja jäterasvoista

RES-direktiivissä luokalle "waste vegetable or animal oil biodiesel" annetaan päästövaikutuksen oletuskertoimeksi -83 %. Erillistä arviota teurasjäterasvoista tehdystä HVO-dieselistä ei ole, joten tälle luokalle on sovellettu edellä mainittua kerrointa. Tässä hankkeessa on oletettu, että kaikki jäterasvoista tuotettu biodiesel on täysin

suomalaista. Tälle luokalle on käytetty pienempänä kertoimena yllä mainittua -83 %:a ja suurempana kertoimena rypsiöljyn suurempaa kerrointa.

Bioetanoli sokeriruo'osta

Sokeriruoekoetanolin päästövaikutuskertoimen oletusarvo on RES-direktiivissä -71 %. Ecofysin (2010) kokoamien tutkimusten mukaan epäsuoran maankäytön muutosten huomioiminen lisääsi sokeriruoekoetanolin päästövaikutukset karkeasti -50 %:n tasolle, jota on sovellettu tässä hankkeessa suurempana kertoimena.

Bioetanoli sokeriruo'osta, viljasta, maissista ja sokerijuurikkaasta

Tämä laaja kategoria sisältää päästövaikutukseltaan hyvin erilaisia raaka-aineita. RES-direktiivi antaa viljaetanolille päästövaikutukseksi useita arvoja -16 %:n ja -69 %:n välillä riippuen siitä, mitä energianlähdettä etanolin prosessoinnissa käytetään. Edullisin kerroin saavutetaan, jos sivutuotteena syntyneet oljet poltetaan CHP-laitoksessa etanolin tuotannon prosessienergiaksi.

Maissietanolille RES-direktiivi antaa päästövaikutuksen oletuskertoimeksi -49 %, mutta myös siinä on oletettu sivuvirtojen käyttöä CHP-voimalaitoksessa. UNEP:n (2011) raportti antaa maissietanolin päästövaikutukseksi haarukan -60 ... +10 %. Vastaavasti sokerijuurikkaasta valmistetulle etanolille RES-direktiivi antaa päästövaikutuksen oletuskertoimeksi -52 % ja UNEP:n raportti haarukan -35 %:sta -65 %:iin.

Tässä hankkeessa kaikki tämän luokan etanoli on oletettu tuontituotteeksi. Sokeriruoekoetanolille on käytetty RES-direktiivin oletuskerrointa -71 % ja maissietanolille UNEP:n raportin suurinta kerrointa +10 %.

Bioetanoli jätteistä

RES-direktiivissä on oletuskerroin luokille "waste wood ethanol" (-80 %) ja "waste vegetable or animal oil biodiesel" (-83 %). VTT:n tutkimuksessa (Koponen ym., 2009) arvioitiin teollisuuden ja kaupan jätteistä valmistettavan etanolin päästövaikutuskerrointa. Julkaisussa arvioitiin useiden eri tuotanto- ja raaka-aineketjujen päästövaikutusta, joiden keskiarvo oli noin -50 %. Tälle tuoteluokalle on tässä arviossa käytetty pienempänä päästövaikutuskertoimena -83 % ja suurempana kertoimena -50 %. Tässä on oletettu, että jätteistä valmistettu etanoli on täysin suomalainen tuote.

5.3.4 Arvio päästövaikutuksesta vuosina 2008 ja 2009

Arvio päästövaikutuksista saadaan, kun taulukoissa 5.4 ja 5.5 esitetyt arviot eri raaka-aineiden määristä kerrotaan taulukon 5.6 päästövaikutuskertoimilla. Vuosien 2008 ja 2009 tulokset on esitetty taulukossa 5.7. Vuosina 2006 ja 2007 käytetyt liikenteen biopolttoaineiden määrät olivat niin pieniä, ettei niiden tuloksia ole esitetty.

Keskeinen tulos on se, että Suomen liikennesektorin päästöt pienivät vuosina 2008 ja 2009, mutta päästöt muilla sektoreilla Suomessa kasvoivat hieman ja muualla maailmassa jopa +30 % ...+140 % Suomen liikennesektorilla tapahtuneista vähennyksistä. Jos kaikki osa-arviot lasketaan yhteen, liikenteen biopolttoaineilla saavutettiin arviolta -70 ... +40 %:n päästövaikutus suhteessa vastaaviin fossiilisiin päästöihin.

Tuloksissa on suurta epävarmuutta, jota voi aiheuttaa etenkin palmuöljybiodiesel. Sen päästöt voivat olla alle puolet fossiilisista polttoaineista tai selvästi fossiilisia polttoaineita suuremmat riippuen siitä, miten maankäytön suorien ja epäsuorien muutosten päästöt huomioidaan. Vuonna 2009 palmuöljydieseliä käytettiin selvästi enemmän kuin vuonna 2008 mikä näkyy tuloksissa muun maailman päästövaikutuksen leventyneenä epävarmuusvälinä.

Taulukko 5.7. Suomessa käytetyn liikenteen biopolttoaineiden aiheuttama päästövaikutus Suomessa ja muualla maailmassa vuosina 2008 ja 2009.

	2008		2009	
	Pienempi arvio	Suurempi arvio	Pienempi arvio	Suurempi arvio
	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂
Päästövaikutus Suomessa liikennesektorilla	-0,26	-0,26	-0,45	-0,45
Päästövaikutus Suomessa muilla sektoreilla	+0,005	+0,01	+0,01	+0,03
Päästövaikutus muualla maailmassa	+0,06	+0,20	+0,1	+0,54
Yhteensä	-0,2	-0,05	-0,3	+0,1

5.4 Ex ante -arvio liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutuksista

5.4.1 Biopolttoaineiden arvioitu käyttö vuosina 2011–2020

Hallituksen esityksessä (HE 152/2010) arvioidaan, että vuodelle 2020 asetettu 20 %:n jakeluväli tarkoittaa liikenteen biopolttoaineiden käytön kasvua nykyisestä 150 000:sta noin 730 000 öljykvivalenttitonniin (jatkossa toe). Jos velvoitteesta täytetään puolet tuplalaskettavilla, tarvittava biopolttoainemäärä vuonna 2020 olisi todellisuudessa noin 360 ktoe perinteisiä ja noin 180 ktoe tuplalaskettavia biopolttoaineita.

Tässä hankkeessa on oletettu, että Suomeen rakennetaan vuosien 2015 ja 2020 välisenä aikana yksi 200 ktoe:n biojalostamo ja että kaikki sen tuottama tuplalaskettava biopolttoaine käytetään Suomessa. Suomi on kansallisessa uusiutuvan energian suunnitelmassaan (National Renewable Energy Action Plan, ks.

5. Liikenteen biopolttoaineet

NREAP Finland, 2010) arvioinut, että vuosina 2015 ja 2020 Suomessa käytettäisiin biopolttoaineita taulukon 5.8 mukaisesti. Vuoden 2015 arvioidut käyttömäärät ovat huomattavasti suurempia kuin jakeluvolvoite edellyttää, joten tässä arvioissa vuoden 2015 käyttömääriä on skaalattu alaspäin vastaamaan jakeluvolvoitetta. Lisäksi tässä oletetaan, ettei biojalostamo ole toiminnassa vielä vuonna 2015, jolloin tuplalaskettavaa biodieseliä ei tällöin vielä käytettäisi. Vuoden 2020 arvio on sovitettu biojalostamoon, jonka biopolttoaineen vuosituotannoksi on oletettu 200 ktoe.

Taulukko 5.8. Arvio liikenteen biopolttoaineiden käyttömääristä vuosina 2015 ja 2020.

	NREAP	Tässä arvioissa käytetty	NREAP	Tässä arvioissa käytetty
	2015	2015	2020	2020
	ktoe	Ktoe	ktoe	Ktoe
etanoli (ktoe)	120	120	130	120
josta tuplalaskettavaa	20	20	40	40
josta tuontia		100		80
biodieseliä (ktoe)	300	160	430	380
josta tuplalaskettavia	50	0	140	200
josta tuontia (palmuöljyä, jalostus Suomessa)		160		180
Arvio biokomponentin % -osuudesta	13	8	20	20
Jakeluvolvoite (%)	8	8	20	20

Käytetyistä raaka-aineista on oletettu, että

- yksinkertaisesti laskettava biodiesel on palmuöljystä valmistettua HVO-dieseliä
- tuplalaskettava biodiesel on suomalaista metsätähdedieseliä
- yksinkertaisesti laskettava bioetanoli on sokeriruokoetanolia
- tuplalaskettava bioetanoli on suomalaista jäte-etanolia.

5.4.2 Kasvihuonekaasuvaikutukset

Taulukossa 5.9 on tässä arvioissa tarkastelluille tuoteryhmille esitetty eri kertoimia tuotannon ja käytön päästövaikutuksesta fossiilisiin polttoaineisiin nähden. Perustelut käytetyille metsätähdedieselin päästökertoimille on esitetty alla ja muille kertoimille luvussa 5.3.3. Negatiivinen päästövaikutuserroin tarkoittaa sitä, että päästöt ovat fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna pienemmät, ja positiivinen kerroin sitä, että biopolttoaineen päästöt ovat fossiilisia polttoaineita suuremmat. Tulevaisuudessa käytetty raaka-ainepohja on todennäköisesti laajempi kuin oletuksissa, mutta muiden mahdollisten tuotteiden kertoimien ylä- ja alarajat olisivat samaa

suuruusluokkaa kuin valittujen oletustuotteiden, joten tällä ei oletettu olevan suurta merkitystä lopputuloksiin.

RES-direktiivissä (2009/28/EC) annetaan jätetuusta valmistetulle biodieselille päästövaikutuksen oletuskertoimeksi -95 % (waste wood FT-diesel). Epäselvää on, voiko tätä kerrointa soveltaa metsätähteestä valmistetulle FT-dieselille. Arviota metsätähteestä valmistetun FT-dieselin kasvihuonekaasupäästöille ovat esittäneet mm. Soimakallio ym. 2009 ja Koponen ym. 2012, jotka toteavat, että polttoaineen jalostuksessa käytettävän sähkön päästökerroin ja metsätähteen korjuusta aiheutuva maaperän hiilivarastojen pieneneminen ovat keskeisimpiä lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä. Jos maaperän hiilivarastojen pieneneminen huomioidaan ja siinä käytetään verrattain lyhyttä aikajännettä (esim. 20 vuotta), saattavat metsätähteestä valmistetun FT-dieselin päästöt olla jopa fossiilisia polttoaineita suuremmat (Koponen ym. 2012). Sadan vuoden aikajännettä käytettäessä päästövaikutus on karkeasti keskimäärin -50 % (Koponen ym. 2012). RES-direktiivin kestävyyskriteeristön perusteella on epäselvää, tulisiko biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa huomioida maaperän hiilivarastojen muutokset vai ei. Tässä hankkeessa on puusta valmistettavalle biodieselille sovellettu pienempänä kertoimena RES-direktiivin jätetuupohjaiselle FT-dieselille antamaa kerrointa (-95 %) ja suurempana kertoimena Koposen ym. (2012) metsätähte-FT-dieselille ilmoittamaa odotusarvoa käyttäen sadan vuoden aikajännettä maaperän hiilivaraston muutokselle.

Taulukko 5.9. Eri biopolttoaineluokille käytettyjä päästövaikutuskertoimia sekä arvio Suomessa vapautuvien päästöjen osuudesta.

	Pienempi kerroin	Suurempi kerroin	päästöt Suomessa
	%	%	%
Biodiesel palmuöljystä (NExBTL)	-65	+100	0
Biodiesel puusta	-95	-50	100
Etanoli sokeriruuo'osta	-71	-50	0
Etanoli jätteestä	-83	-50	100

Arvio liikenteen biopolttoaineiden tulevaisuuden päästövaikutuksista saadaan, kun oletetut käyttömäärät (taulukko 5.8) kerrotaan oletetuilla päästövaikutuskertoimilla (taulukko 5.9). Tulokset on esitetty taulukossa 5.10.

Taulukko 5.10. Arvio Suomessa käytettyjen liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutuksista vuosina 2015 ja 2020. Arvio on esitetty koko käytetylle biopolttoainemäärälle. Vuoden 2010 käyttötasosta tapahtuneen muutoksen voi laskea tämän ja taulukon 5.7 erotuksena.

	2015		2020	
	Pienempi arvio	Suurempi arvio	Pienempi arvio	Suurempi arvio
	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂
Päästövaikutus Suomessa liikennesektorilla	-0,85	-0,85	-1,5	-1,5
Päästövaikutus Suomessa muilla sektoreilla	+0,01	+0,03	+0,05	+0,4
Päästövaikutus muualla maailmassa	+0,3	+1,1	+0,3	+1,2
Yhteensä	-0,6	+0,3	-1,2	+0,1

Nykyisillä laskentasaännöillä liikenteen biopolttoaineiden käyttöä lisäämällä saavutetaan merkittävä päästövähennys Suomen liikennesektorilla, mutta samalla päästöjä aiheutuu muilla sektoreilla Suomessa ja tuontiraaka-aineiden tai -polttoaineiden tapauksessa muissa maissa. Arviossa on oletettu, että palmuöljydieseliä käytetään vuonna 2015 merkittävässä määrin, jolloin globaalit päästöt saattavat jopa hieman kasvaa. Kun vuoteen 2020 mennessä siirrytään osittain palmuöljydieselistä metsätähdedieseliin, vähenevät todennäköisesti myös globaalit kokonaispäästöt. Kokonaispäästövaikutuksen kannalta kiinnostavaa on tuotannon ja käytön aiheuttama energiamäärään suhteutettu kasvihuonekaasuvaikutus, joka on esitetty taulukossa 5.11.

Taulukko 5.11. Liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutus suhteutettuna käytetyn energian määrään (gCO₂/MJ).

	2015		2020	
	Pienempi arvio	Suurempi arvio	Pienempi arvio	Suurempi arvio
	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /MJ
Päästövaikutus Suomen liikennesektorilla	-73	-73	-73	-73
Päästövaikutus Suomen muilla sektoreilla	+1	+3	+4	+18
Päästövaikutus muualla maailmassa	+22	+96	+13	+58
Yhteensä	-50	-2	-58	-17

Ex post -arviossa muun maailman päästövaikutusten epävarmuudet olivat todella suuret erityisesti palmuöljylle annetun verrattain suuren päästövaikutusten vaihteluvälin vuoksi. *Ex ante* -arvioissa kotimaisen tuotannon on oletettu kasvavan merkittävästi, jolloin myös Suomen rajojen sisäpuolella aiheutuvien päästöjen epä-

varmuus kasvaa. Molemmissa arvioissa keskeisin epävarmuus liittyy maankäytön ja maankäytön muutoksen päästöjen huomioimiseen.

EU:n liikenteen biopolttoainetavoitteesta on yleisesti arvioitu, että EU:n laajui- nen biopolttoainetavoite todennäköisesti johtaa voimakkaaseen maankäytön mu- tokseen erityisesti epäsuorien, markkinavaikutusten kautta aiheutuvien maankäy- tön muutosten vuoksi. Esimerkiksi IEEP (2011) arvioi, että EU:n biopolttoaineta- voite lisää globaaleja päästöjä, kun maankäytön muutokset otetaan huomioon.

5.5 Ex ante -arvio biojalostamon päästövaikutuksista

Yksinkertaisin menetelmin tehdyssä *ex ante* -arviossa (luku 5.3) tarkasteltiin Suo- messa valmistetun biodieselin vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin osana liiken- teen biopolttoaineiden kokonaisarviota. Tässä luvussa keskitytään arvioimaan erityisesti metsätähdebiodieseliä valmistavan biojalostamon vaikutusta.

Tässä arviossa oletettiin, että jos sellutehtaaseen integroitaisiin 200 ktoe bio- dieseliä vuodessa tuottava biojalostamo, laitos käyttäisi vuodessa 2,2 TWh enemmän puumassaa ja 0,46 TWh enemmän sähköä kuin sellutehdas käyttäisi normaalisti (McKeough & Kurkela, 2008). Jos jalostamo rakennetaan rannikolle tai lähelle itärajaa, se pystyy todennäköisesti hyödyntämään edullista tuontibiomas- saa, mutta tässä arviossa on haluttu tarkastella tilannetta, jossa kaikki jalostamon käyttämä raaka-aine olisi kotimaista.

Lisäksi on oletettu, että käytettävissä olevan hakkeen määrä lisääntyy jalosta- mon tarpeen verran (arvio A) tai käytettävissä olevan metsähakkeen kokonais- määrä ei muutu, kun jalostamo rakennetaan (arvio B), ja kaikki käytettävä raaka- aine on metsähaketta (oksia).

Arviossa A metsähaketta käytetään vuonna 2020 tavoitteen mukaisesti 25 TWh yhteistuotannossa ja tämän lisäksi saadaan 2,2 TWh metsähaketta biojalosta- moon. Arviossa B 2,2 TWh metsähaketta käytetään energiantuotannon sijasta biojalostamolla.

Arviossa A metsästä kerättävän raaka-aineen määrä kasvaa, jolloin myös maaperän hiilitase pienenee enemmän kuin ilman biojalostamoa. Todellisuudessa raaka-ainetta voidaan myös tuoda maahan, mutta silloin maaperän hiilivaje piene- nee muualla. Arviossa B maaperän hiilitaso ei pienene enemmän kuin vertailuske- naariossa, sillä metsähake olisi kerätty joka tapauksessa. Arviossa B päästöt kuitenkin kasvavat energiantuotantosektorilla suhteessa vertailuskenaarioon, kun metsähakkeen sijasta joudutaan käyttämään muita polttoaineita.

On muistettava, että maaperän pienentynyt hiilitase (hiilivaje) näkyy kasvihuo- nekaasuinventareissa, mutta Kioton sopimuksen mukaisessa laskennassa niille on sovittu taso, johon asti ne otetaan huomioon. Suomen hiilinielut ovat kokonai- suudessaan hyvin suuret, ja vaikka ne hieman pienenisivätkin, ei Kioton sopimuk- sen nieluraja ole vielä lähellä. Käytännössä maaperän hiilivaje ei siis vaikuta Kio- ton sopimuksen mukaiseen laskentaan. Tässä arviossa maaperän hiilivaje on otettu mukaan suuruusluokka-arviona.

Biojalostamossa käytetty raaka-aine voi todellisuudessa olla jättepuuta tai tuontibiomassaa, jolloin on muitakin vaihtoehtoja kuin uuden metsähakkeen korjaaminen tai muiden polttoaineiden käyttö CHP-voimaloissa. Toisaalta myös jättepuu ja tuontibiomassa voitaisiin käyttää CHP-kattiloissa, jolloin vertaillaan jälleen puuaineksen käyttöä energiantuotannossa tai biojalostamossa, kuten arvioissa B.

Tässä raportissa biojalostamon vaikutuksia energiajärjestelmään on arvioitu VTT:n TIMES-mallilla, jossa biojalostamo lisättiin kolmeen luvussa 1.4 esiteltyyn vertailuskenaarioon. Energiajärjestelmämallinnuksen lisäksi tapauksessa A on arvioitu, kuinka paljon raaka-aineen korjuu pienentäisi maaperän hiilivarastoja, jos kaikki käytettävä raaka-aine olisi metsähaketta. Arvio on tehty olettaen, että

- käytettävä raaka-aine on hakkuutähdeoksia
- oksien päästökerroin (100 vuoden tarkastelujaksolla) on 79 tCO₂/GWh (kts. luku 2.4.2)
- raaka-aineen käytöstä aiheutuva vuosittainen hiilivaje on 2,2 TWh * 79 tCO₂/GWh = 0,17 MtCO₂/vuosi.

Taulukossa 5.12 on esitetty tulokset kahdesta eri tapauksesta (metsähakkeen kokonaismäärä lisääntyy (A) tai pysyy muuttumattomana (B)). Molemmissa tapauksissa liikennesektorin päästöt vähenivät keskimäärin 0,62 MtCO₂. Muilla energiantuotantosektoreilla päästöt pysyivät joko suunnilleen samana (A) tai kasvoivat suunnilleen yhtä paljon kuin liikenteen päästöt pienenevät (B). Tämän lisäksi tapauksessa A maaperän hiilivarasto pienenee keskimäärin 0,17 MtCO₂-ekv vuodessa, ja tapauksessa B se pysyy samalla tasolla kuin vertailuskenaariossa.

Kun molempien arvioiden eri komponentit lasketaan yhteen, tapauksessa A Suomen kokonaispäästöt vähenisivät noin 0,5 MtCO₂-ekv ja tapauksessa B ne pysyisivät suurin piirtein yhtä suurina verrattuna tilanteeseen, jossa biojalostamo ei olisi. Suomen energiasektorien päästöt voisivat kasvaa enemmänkin tapauksessa B, mutta Times-malli lisäsi tarkasteltavassa skenaariossa tuontisähkön ja -biomassan määrää.

Taulukko 5.12. Malliarviot biojalostamon vaikutuksista Suomen energiajärjestelmään.

	Arvio A			Arvio B	
	Liikenne	Muut sektorit Suomessa	Maankäytön päästöt	Liikenne	Muut sektorit Suomessa
	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂ ekv	MtCO ₂	MtCO ₂
Skenaario 1: 17 €/tCO ₂	-0,62	-0,01	+0,17	-0,62	+0,61
Skenaario 2: 25 €/tCO ₂	-0,62	+0,14	+0,17	-0,62	+0,75
Skenaario 3: 40 €/tCO ₂	-0,61	-0,26	+0,17	-0,61	+0,35
Keskiarvo	-0,62	-0,04	+0,17	-0,62	+0,57

Yllä esitetystä päästövaikutuksista liikennesektorin päästövähennykset kohdistuvat ei-päästökauppasektorille, muiden sektorien päästöjen lisäys pääasiassa päästökauppasektorille ja maankäytön päästöjen mahdollinen lisäys LULUCF-sektorille.

VTT:n koordinoimassa ja Suomen Akatemian rahoittamassa FOBIT-hankkeessa on tehty vastaava, mutta laajempi ja tarkempi analyysi puu-FT-dieselin tuotannon vaikutuksista energijärjestelmään ja metsien hiilitaseisiin (Forsström ym., 2011). Hankkeessa käytettiin EPOLA-energijärjestelmämallia ja EFISCEN-metsämallia rinnakkain. Tuloksena oli, että päästöt päästökauppasektorilla kasvaisivat noin kaksi kertaa sen verran kuin ne ei-päästökauppasektorilla vähenisivät. Keskeisin ero oletuksissa tässä hankkeessa ja FOBIT-hankkeessa tehtyjen tarkastelujen välillä oli käytettävissä olevan tuontibiomassan ja tuontisähkön määrissä. Tässä hankkeessa mallin sallittiin korvata enemmän kotimaista sähköntuotantoa tuontisähköllä, jolloin kotimaisten päästöjen lisäys jäi pienemmäksi.

5.6 Työllisyysvaikutus

Liikenteen biopolttoaineiden jakeluelvoitteen työllisyysvaikutusta ei ole suoraan arvioitu muissa tutkimuksissa. Voidaan kuitenkin olettaa, ettei liikenteen biopolttoaineiden maahantuonti työllistä merkittävästi enempää kuin fossiilisten polttoaineiden maahantuonti. Työllisyyserot tulevat siis kotimaisesta raaka-aineiden hankinnasta ja lopputuotteen jalostuksesta.

Biojalostamon työllisyysvaikutuksista on joitakin arvioita. Ruralia-instituutin (Reini & Törmä, 2010) tekemän ”Suomen metsäteollisuuden uusien mahdollisuuksien aluetaloudelliset vaikutukset” -selvityksen mukaan biojalostamo toisi noin 850 uutta työpaikkaa, kun myös korjuun työllisyysvaikutus lasketaan mukaan.

UPM:n bioliiketoiminnan johtajan Petri Kukkosen mukaan biojalostamo toisi itse tehdasalueelle 50–70 työpaikkaa ja korjuussa ja kuljetuksissa kymmenkertaisen määrän eli noin 500–700 työpaikkaa (SK, 2011). Uudenmaan uutisen mukaan NSE Biofuelsin mahdollisesti rakentamalle jalostamolle syntyisi pysyviä työpaikkoja noin 50 ja puunhankintaketjuun satoja (Uusimaa, 2011).

Biojalostamon puunhankintaketjun työpaikat ovat osittain päällekkäisiä metsähakkeen hankintaketjun kanssa. Kun biojalostamo lisää metsästä kerättävän hakkeen määrää yli 13,5 miljoonan kiintokuution, joka on ilmasto- ja energiastrategian tavoite metsähakkeelle, lisääntyvät myös työpaikat korjuussa ja kuljetuksessa. Työllisyysvaikutuksista on esitetty malliarvio luvussa 5.9.

5.7 Suorat kustannukset valtiolle

Biopolttoaineiden jakeluelvoitteesta tulee hyvin pienet suorat hallinnolliset kustannukset, sillä valvonnan ei arvioida maksavan paljon ja liikennepolttoaineiden ostajat maksavat mahdollisen kalliimman polttoaineen. Valmisteveroalennuksen

5. Liikenteen biopolttoaineet

kustannukset ovat selvästi suuremmat, mutta sen määrää arvioitaessa joudutaan vertaamaan tilastoitua kulutusta laskennalliseen kulutukseen ilman biopolttoaineita.

Taulukossa 5.13 on esitetty bensiinin, dieselin ja liikenteen biopolttoaineiden valmisteverot ennen vuotta 2011 ja vuodesta 2011 alkaen. Vuoden 2010 loppuun asti liikenteen biopolttoaineista ei tarvinnut maksaa valmisteveroa, jolloin niiden myyminen oli kannattavampaa. Vuoden 2011 alusta liikenteen biopolttoaineistakin joudutaan maksamaan valmisteveroa, mutta se on pienempi kuin fossiilisten polttoaineiden vero. Bioetanolin valmistevero on noin puolet bensiinin valmisteverosta ja biodieselin valmistevero on noin 25 % pienempi kuin fossiilisen dieselin.

Taulukko 5.13. Bensiinistä, dieselistä ja liikenteen biopolttoaineista maksettavat valmisteverot.

	31.12.2010 asti snt/litra	1.1.2011 alkaen snt/litra
Fossiilinen bensiini	62,70	62,70
Bioetanoli	0	37,56
Bioetanoli, tuplalaskettava	0	33,73
Fossiilinen diesel	36,40	44,30
Biodiesel	0	34,56
Biodiesel, parafiini	0	30,60
Biodiesel, parafiini tuplalaskettava	0	24,34

Menetetyn valmisteveron laskemisessa on otettava huomioon, että valmistevero mitataan litroissa, kun biopolttoaineita käsitellään muuten energiayksiköissä (esim. MJ, ktoe). Lisäksi tuplalaskettavista maksetaan eri valmistevero kuin perinteisistä ja kaikilla polttoainelajeilla on omat tiheyskertoimensa ja lämpöarvonsa. Näissä laskuissa käytetyt lukuarvot polttoaineiden tiheydelle ja lämpöarvolle on esitetty taulukossa 5.14.

Taulukossa 5.15 on esitetty arvio valmisteveroalennuksen määrästä, joka on saatu soveltamalla taulukoiden 5.13 ja 5.14 kertoimia liikenteen polttonesteiden käyttömääriin. Tulokset on esitetty taulukoissa 5.4 ja 5.8. Taulukon 5.15. luvut ovat miljoonia euroja.

Vuosien 2008 ja 2009 suuret kustannukset johtuivat liikenteen biopolttoaineiden valmisteverovapaudesta. Vuodesta 2011 alkaen niistäkin maksetaan valmisteveroa ja valtion veromenetykset pienenevät merkittävästi. Vaikka arvioitu käyttö on vuonna 2015 noin kaksi kertaa suurempi kuin vuonna 2009, veroalennus olisi vain noin kolmasosa vuoden 2009 veronalennuksesta.

Taulukko 5.14. Liikenteen biopolttoaineiden tiheydet ja lämpöarvot.

	Tiheys	Lämpöarvo
	kg/l	GJ/t
Bensiini	0,75	43,00
Bioetanoli, kaikki	0,79	26,80
Diesel	0,84	42,80
Biodiesel, kaikki	0,77	44,00

Taulukko 5.15. Arvio liikenteen biopolttoaineiden valmisteveroalennuksesta 2006–2020. Verotus muuttui 1.1.2011, minkä vuoksi valmisteveroalennus on vuonna 2015 noin kolmasosa vuoden 2009 veroalennuksesta, vaikka oletettu käyttömäärä on selvästi suurempi.

	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020
Valmisteveroalennus (M€)	1	1	65	100	-	35	80

5.8 Kustannustehokkuus valtion kannalta

5.8.1 Päästövähennysten yksikkökustannus valtion kannalta

Liikenteen biopolttoaineilla saavutettavien päästövähennysten kustannustehokkuus riippuu suuresti valittavasta taserajasta kustannuksissa ja päästövähennyksissä. Tässä arvioissa on tarkasteltu päästövähennyksiä kolmella eri taserajalla (Suomen liikennesektori, koko Suomi ja koko maailma), joita on käytetty myös *post-* ja *ex ante* -arvioissa. Kustannuksista on tarkasteltu pelkästään valtiolle aiheutuvia suoria kustannuksia. Suorien kustannusten lisäksi kotimaisen liikenteen biopolttoaineiden tuotannon edistäminen saattaa edellyttää myös muiden tukimekanismien, kuten investointitukien käyttöä, joita ei huomioitu tässä selvityksessä. Tulokset on esitetty taulukossa 5.16.

Arvion tulkitsemista vaikeuttavat globaalien päästövaikutusten suuremmat arviot, joissa globaalit päästöt kasvavat. Suurimpien arvioiden kustannustehokkuus on merkitty tähdellä (*), mikä tarkoittaa, että kyseisessä tapauksessa ei saavuteta päästövähennyksiä.

Luvut ovat ennen valmisteveron korotusta hyvin suuria ja 2011 alkaen puolestaan selvästi pienempiä. Jos tarkastellaan pelkästään liikennesektorin päästövähennysten kustannustehokkuutta, ovat liikenteen biopolttoaineet kohtuullisen edullinen toimi. Jos otetaan huomioon vaikutukset muilla sektoreilla Suomessa, liikenteen biopolttoaineiden kustannustehokkuus ei ole enää niin hyvä, ja jos tarkastellaan koko globaalia päästövaikutusta, päästövähennykset ovat edullisimmillaankin kohtuullisen

5. Liikenteen biopolttoaineet

kalliita ja päästöt saattavat pahimmillaan jopa kasvaa. Lisäksi on muistettava, että tässä arvioissa on tarkasteltu pelkästään valmisteveroalennusta.

Taulukko 5.16. Liikenteen biopolttoaineilla saavutettujen päästövähennysten kustannustehokkuus.

	2009	2010	2015	2020
	€/tCO ₂ ekv	€/tCO ₂ ekv	€/tCO ₂ ekv	€/tCO ₂ ekv
päästövaikutus Suomessa liikennesektorilla	220	-	38	53
päästövaikutus suomessa yhteensä	230 ... 240	-	39 ... 40	56 ... 69
Globaali päästövaikutus	320 ... *	-	56 ... *	68 ... *

* Ylärajaa ei ole merkitty, sillä kokonaispäästöt saattavat kasvaa

5.8.2 Uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta

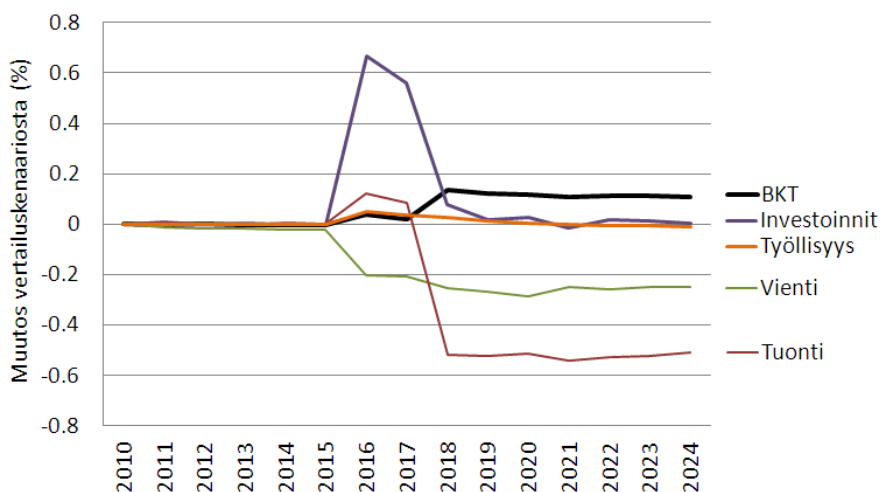
Vuonna 2020 Suomessa käytetään noin 500 ktoe liikenteen biopolttoaineita (luku 5.3) ja nämä saisivat yhteensä noin 80 miljoonan valmisteveroalennuksen (luku 5.7). Kun näitä arvioita vertaa keskenään, liikenteen biopolttoaineiden uusiutuvan energian yksikkökustannus valtion kannalta olisi noin 14 M€/TWh.

Erityisesti liikenteen biopolttoaineiden tapauksessa valtio maksaa vain pienen osan kustannuksesta, sillä niiden käyttöä säädellään syöttötariffin sijasta jakeluvelvoitteella. Jos tähän arvioon lisättäisiin myös muiden toimijoiden kustannuksia, nousisi myös uusiutuvan energian yksikkökustannuksen hinta.

5.9 Kansantaloudelliset vaikutukset

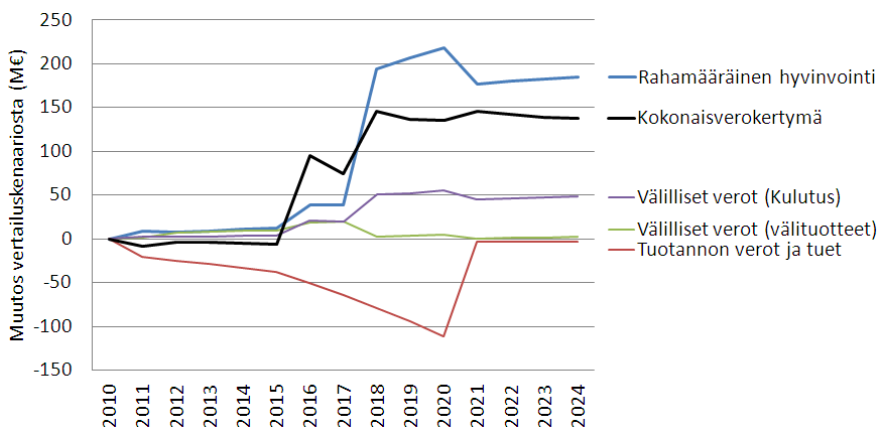
Kuvassa 5.1 on arvioitu biopolttoaineiden käytön lisäämisen vaikutuksia. Arvioissa oletetaan, että biopolttoaineille kohdistuu verotukia koko kymmenluvun ja että vuosien 2016 ja 2017 aikana rakennettaisiin lisäkapasiteettia kotimaisiin raaka-aineisiin perustuvaan biopolttoaineiden jalostukseen.

Biopolttoaineiden tuki näkyy halvempina hintoina kotitalouksien kulutuksessa, joka on vertailuskenaariota suurempi. Kokonaisinvestoinnit nousevat vertailuskenaariota korkeammiksi vuosina 2016 ja 2017, mutta pidemmällä aikavälillä ne palautuvat vertailuskenaarion tasolle. Pidemmällä aikavälillä kansantuote on vertailuskenaariota korkeampi, koska kotimaisen raaka-aineen käyttö luo lisätyötä alkutuotantoon ja kuljetuksiin. Kotimaisen hintatason nousu kuitenkin heikentää viennin kilpailukykyä vertailuskenaarioon nähden.



Kuva 5.1. Liikenteen biopolttoaineiden lisäyksen kokonaistaloudelliset vaikutukset.

Kuvassa 5.2 tarkastellaan verokertymien muutoksia rahamääräisesti. Valtion menoja liikenteen biopolttoaineet lisäävät tukien kautta. Kotimaisen jalostuksen lisääntyminen kuitenkin kasvattaa valtion tulojakin, jolloin työllisyys on enimmillään noin 1 700 htv vertailuskenaariota korkeampi. Pidemmällä aikavälillä myös kokonaisverokertymä nousee vertailuskenaariota korkeammaksi. Myös kuluttajien hyvinvointi on vertailuskenaariota korkeammalla tasolla pääasiassa vertailuskenaariota paremman taluskehityksen vuoksi.



Kuva 5.2. Liikenteen biopolttoaineiden vaikutukset verokertymiin ja hyvinvointiin.

6. Pohdinta ja suositukset

6.1 Menetelmistä ja tuloksista

IMPAKTI-hankkeessa arvioitiin uusiutuvan energian edistämistoimien päästövähennys- kustannus- ja työllisyysvaikutuksia sekä yksinkertaisten menetelmien että mallitarkastelujen avulla. Päästövähennysvaikutusten arvioinnissa todettiin, että päästövähennysvaikutuksia ei ole mahdollista esittää erikseen eri politiikkatoimille. Lisäksi politiikkatoimen vaikutusta on käytännössä vaikeaa erottaa muista uusiutuvan energialähteen käyttöön vaikuttavista tekijöistä.

Hankkeen tulokset osoittavat, että uusiutuvan energian edistämistoimien päästövähennysvaikutuksia on mahdollista arvioida käyttäen muita tarkoituksia varten kerättäviä ja tilastoitavia tietoja sekä suhteellisen yksinkertaisia päästövähennyskertoimia. Yksinkertaisten menetelmien etuna on, että ne ovat selkeitä ja läpinäkyvästi raportoitavissa. Niiden käyttäminen ilmastopolitiikan vaikuttavuuden seurantaan määrääjain on myös kustannustehokasta, kun tietoja seurantaan käytettävisistä indikaattoreista kerätään osana muuta tiedonkeruuta ja tilastointia.

Yksinkertaisten menetelmien haittapuolena kuitenkin on, että niillä ei pystytä arvioimaan eri politiikkatoimien ristikkäis- ja kerrannaisvaikutuksia eikä eri energialähteiden mahdollista keskinäistä kilpailua. Myöskään energijärjestelmän muuttamista laajemmin ei voida tarkastella yksinkertaisien menetelmien avulla.

TIMES-energijärjestelmämallilla arvioidut päästövähennysvaikutukset tuottivat tuulivoimalle ja metsähakkeen käytölle pienemmät päästövähennykset vuodelle 2020 kuin yksinkertaiset arviot. Tämä johtuu siitä, että mallilaskelmilla voidaan ottaa huomioon energijärjestelmän toiminta laajemmin. Toisaalta mallilaskelmien tarkkuus ei sovellu pienimpien politiikkatoimien ja muutosten arviointiin. Näin ollen esimerkiksi biokaasureaktorien käytön edistämisen päästövähennysvaikutusta ei pystytty tutkimaan TIMES-mallilla.

Metsähakkeen käytöllä saavutettava päästövähennys arvioitiin yksinkertaisilla arvioilla siten, että huomioon otettiin ainoastaan muiden polttoaineiden korvaavuudella saavutettava päästöhyöty, sekä siten, että myös metsän hiilivajeen aiheuttama päästövaikutus otettiin huomioon. Ainoastaan polttoainekorvaavuuden huomioon ottava laskentatapa vastaa päästöjen laskentaa nykyisillä Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden laskentasäännöillä, joissa maankäyttösektorin päästöt ovat mukana vain rajoitetulta osin. Tällä hetkellä neuvotteluissa olevassa

uudessa ilmastopimuksessa nielujen käsittely on vielä avoin, mutta käytännössä Kioton sopimuksen kaltainen menettely jatkunee mahdollisessa uudessakin sopimuksessa. Metsähakkeen käyttö energiantuotannossa vaikuttaa kuitenkin maaperän hiilitaseeseen verrattuna tilanteeseen, jossa biomassasta hajoaisi metsässä. Metsän hiilivajeen arviointiin vaikuttaa huomattavasti tarkastelun aikajänne. Jos hiilivajetta tarkastellaan vuositasolla, ei hakkeen käytöllä saavuteta aluksi lainkaan päästövähennyksiä. Metsän hiilivajeen päästövaikutus kuitenkin pienenee ajan mittaan, sillä ajan kuluessa suurin osa biomassasta hajoaisi myös metsässä. Kun metsän hiilivajetta tarkasteltiin sadan vuoden aikajänteellä, pienensi hiilivaje polttoainekorvaavuudella saavutettavaa päästövähennysvaikutusta noin 40 %. Metsän hiilivajeen arviointiin sisältyy kuitenkin toistaiseksi huomattava epävarmuus, jota pyritään pienentämään useammassa käynnissä olevassa hankkeessa.

Liikenteen biopolttoaineiden päästövaikutus eroaa muista tässä tarkastelluista energialähteistä siten, että tuotantoon liittyvät päästöt tapahtuvat useimmiten Suomen rajojen ulkopuolella, kun taas biopolttoaineiden käytössä saavutettavat päästövähennykset tapahtuvat Suomessa. Näin ollen ilmastopolitiikkatoimi, joka vähentää päästöjä Suomessa, ei välttämättä tee sitä muissa maissa tai kokonaisvaltaisesti. Tässä hankkeessa tehtyjen tarkastelujen mukaan biopolttoaineiden käyttö Suomessa voi jopa lisätä globaaleja päästöjä, kun mahdolliset maankäytön muutokset muissa maissa otetaan huomioon. Arvioidut vaikutukset vaihtelevat kuitenkin huomattavasti biopolttoaineen raaka-aineen, tuotantotavan ja laskentatavan mukaan. Globaalien vaikutusten ottaminen mukaan laskentaan vaatii tase-ajan kasvattamista Suomen rajojen ulkopuolelle. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi soveltamalla elinkaarianalyysiä. Kun maiden päästötavoitteiden toteutumista seurataan maakohteisilla päästöinventaariorilla, eivät elinkaarianalyysillä saadut tulokset päästövähennysvaikutuksista tuota sellaista tietoa, jonka perusteella voitaisiin suoraan arvioida toimenpiteen vaikutusta päästövähennysvelvoitteen saavuttamiseen. Jos liikenteen biopolttoaineiden kotimainen valmistus aloitetaan suuressa mittakaavassa, siirtää se koko tuotanto- ja käyttöketjun päästöt Suomeen ja päästöjä päästökaupan ulkopuolisilta sektoreilta päästökauppasektorille.

Uusiutuvan energian edistämisen työllisyysvaikutuksia arvioitiin kirjallisuusselvityksen perusteella ja malliarviona. Kirjallisuusselvityksen työllisyysarviot eivät ole yhtä kattavia. Työllisyysvaikutus jakautuu investointi- ja käyttövaiheiden työllisyysvaikutukseen. Investointivaihe sisältää infrastruktuurin, voimaloiden ja koneiden valmistuksen ja suunnittelun. Käyttövaiheeseen puolestaan kuuluvat korjuun ja kuljetuksen työtarve sekä voimaloilla tapahtuva käyttö ja kunnossapito. Käyttövaiheen työllisyysvaikutus jatkuu koko investoinnin eliniän yli ja sille syntyvät työpaiikat ovat kotimaassa. Käytännössä osa käyttövaiheen työllisyysvaikutuksesta saattaa syntyä jo olemassa olevien työpaikkojen, kuten maatalojen, yhteyteen. Investointivaiheen työllisyysvaikutuksesta osa saattaa kohdistua ulkomaille, jos voimaloita, niiden osia tai koneita ostetaan ulkomailta. Lisäksi osa rakennustyövoimasta saattaa olla muista maista. Malliarviot ovat metodiikaltaan yhdenmukaisia, ja niissä pystytään ottamaan huomioon myös epäsuorat vaikutukset muihin toimialoihin.

Yksinkertaisilla menetelmillä arvioitiin uusiutuvan energian edistämistoimien kustannustehokkuutta siten, että laskentaan otettiin mukaan ainoastaan suoraan

valtiolle kohdistuvat kustannukset, kuten syöttötariffien tai investointitukien kustannukset. Kun sekä päästövähennyksissä että kustannuksissa on epävarmuutta, ei kustannustehokkuutta voida arvioida kovinkaan tarkasti, mutta tässä hankkeessa kehitetyt riittävän yksinkertaiset tavat tarkastella eri politiikkatoimien kustannuksia ovat tehokkaita, kun halutaan arvioida eri toimien kustannustehokkuutta.

6.2 Suosituksia arviointi- ja raportointimenetelmien kehittämiseksi

Suomi raportoi EU:lle ja YK:lle politiikkatoimien vaikuttavuudesta määräajoin. Toistaiseksi raportointia varten ei ole kehitetty yhtenäistä järjestelmää eikä menetelmää, jolla vaikutuksia arvioitaisiin. Tässä hankkeessa kehitetyt yksinkertaiset menetelmät soveltuisivat selkeytensä ja läpinäkyvyytensä vuoksi määräajoin tehtävään raportointiin.

EU:n seurantajärjestelmäpäätöksen mukainen raportointi perustuu tällä hetkellä määrämuotoiseen Excel-taulukon, jonka käyttäminen raportoinnissa ei kuitenkaan ole pakollista. Taulukossa tulokset olisi esitettävä toimenpidekohtaisesti. Tässä hankkeessa saatujen kokemusten perusteella toimenpidekohtainen raportointi ei kuitenkaan ole välttämättä mielekästä. Määrämuotoisen raportointitaulukon käytössä on myös se haaste, että yksinkertaisessa raportointimuodossa käytetyt menetelmät, rajaukset ja yksinkertaistukset jäävät helposti huomiotta. Tämä on ongelmallista etenkin siinä tapauksessa, että eri maiden politiikkatoimien vaikuttavuutta vertailtaisiin raportoitujen lukujen perusteella.

Seurantajärjestelmäpäätös on tarkoitus korvata seurantajärjestelmäasetuksella, josta komissio antoi ehdotuksensa marraskuussa 2011. Ehdotuksessa ei määritellä raportointimuotoa yksityiskohtaisesti, vaan komission on tarkoitus määritellä yksityiskohdat myöhemmin. Asetusehdotuksen käsittelyssä olisi tärkeää ottaa huomioon tässä hankkeessa havaitut ongelmakohdat nykyisen raportointimuodon käytössä.

Nykyisten EU:n ja YK:n raportointikäytäntöjen mukaan maat raportoivat ainoastaan maan rajojen sisäpuolella tapahtuvista päästöistä. Ilmastopimuksen mukainen raportointi kattaa kaikki päästö- ja nielusektorit, mutta Kioton pöytäkirjassa maankäyttösektori on mukana vain tiettyjen toimien osalta. Myöskään EU:n taakanjakopäätöksessä ei ole toistaiseksi otettu huomioon maankäyttösektoria.

Politiikkatoimien vaikuttavuutta arvioidessa olisi tärkeää ottaa huomioon maan rajojen sisäpuolella tapahtuvien vaikutusten lisäksi vaikutukset muissa maissa (erityisesti päästörajoituksen ulkopuolisissa maissa) sekä vaikutukset niillä sektoreilla, jotka ovat päästövähennystavoitteiden ulkopuolella. Näiden vaikutusten arvioimiseksi ja esittämiseksi tarvittaisiin myös yhtenäisiä menetelmiä ja raportointitapoja.

Tässä hankkeessa tehtyjä politiikkatoimien päästövaikutusarvioita olisi mahdollista käyttää määräajoin tehtävässä raportoinnissa. Suurin osa käytetyistä lähtötiedoista on saatavilla eri tahojen keräämistä tilastoista, joten erilliselle tiedonkeruulle ei olisi tarvetta. Liikenteen biopolttoaineista ja etenkin niiden tuotannon

raaka-aineista ei kuitenkaan ole vielä olemassa tilastoitua tietoa, mutta Tilastokeskus on kehittämässä uusia tiedonkeruumenetelmiä ja -järjestelmiä.

Uusiutuvaa energiaa edistävien politiikkatoimien arviointiin liittyy huomattavia epävarmuuksia, joita voitaisiin pienentää lisätutkimuksen avulla. Biokaasureaktorien tapauksessa päästövähennysvaikutus ja toimenpiteiden kustannustehokkuus riippuvat huomattavasti biokaasun raaka-aineiden vaihtoehtoisten käyttötapojen metaani- ja typpioksiduulipäästöstä. Tämän arvion tarkentaminen vaatisi sekä tieteellistä tutkimusta vaihtoehtoisten menetelmien päästöistä että tarkempaa tiedonkeruuta biokaasun tuotantoon käytetyistä raaka-aineista. Toisaalta biokaasureaktorit ovat hyvin pienessä osassa Suomen uusiutuvan energian tuotannossa ja tulevaisuuden päästövähennystavoitteissa.

Arvioihin metsähakkeen käytön vaikutuksesta maaperän hiilitaseeseen sisältyy myös huomattavia epävarmuuksia, joita voitaisiin pienentää lisätutkimuksen avulla. Tällaisia hankkeita on käynnissä myös kirjoitushetkellä. Myöskään siitä ei ole yhtenäistä käytäntöä, sisällytetäänkö nämä vaikutukset arvioihin kansainvälisissä politiikkatoimien vaikuttavuutta kuvaavissa raportoinneissa ja mikä olisi sopiva tarkastelun aikajänne.

Muilta osin tässä julkaisussa esitettyjen päästövähennysarvioiden suurimmat epävarmuudet liittyvät siihen, mitä energiamuotoa uusiutuvan energian lisäkäyttö korvaa. Vaikka itse energiantuotannon päästöt tunnetaankin hyvin, liittyy vertailutilanteen valintaan aina väistämättä epävarmuutta.

Toistaiseksi Suomen raportoinneissa EU:lle ja YK:lle on esitetty vain hyvin rajallisesti tietoa toimenpiteiden kustannuksista tai kustannustehokkuudesta. Kansainvälisissä raportoinneissa ei myöskään ole sovittu siitä, mille tahoille kohdistuvia kustannuksia edellytetään raportoitavaksi. Myöskään komission ehdotuksessa uudeksi seurantajärjestelmäasetukseksi ei ole määritelty, mitä kustannuksia kustannusvaikutusten raportointi koskee. Mikäli tavoitteena on raportoida suoria valtiolle kohdistuvia kustannuksia tai kansantalouden kustannuksia, sopivat tässä hankkeessa kehitetyt menetelmät ja arviot käytettäväksi raportoinnissa.

6.3 Kokonaistaloudellisten vaikutusten arvioinnista

Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään useilla kansainvälisillä sopimuksilla, EU:n direktiiveillä ja kotimaisilla poliittisilla päätöksillä. Sopimukset ja päätökset on kohdistettu yhteiskunnan eri alueille ja niiden kaikkien tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Sovittujen tavoitteiden kohdesektorit ja ajallinen jänne kohdistuvat mm. kasvihuonekaasujen yleiseen vähentämiseen (Kioton pöytäkirja, vuodet 2008–2012), suurteollisuuden ja keskitetyn energiantuotannon päästöjen rajoittamiseen (EU:n päästökauppa, 2005 alkaen), uusiutuvan energian lisäämiseen (2020), ei-päästökauppasektorin päästöjen vähentämiseen (2013 alkaen), energiatehokkuuden parantamiseen ja liikenteen biopolttoaineosuuden kasvattamiseen.

Tavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa toteutetaan politiikkatoimia, joilla pyritään yhden tai useamman tavoitteen saavuttamiseen, mutta todennäköisesti säädetty politiikkatoimi vaikuttaa myös muiden tavoitteiden saavuttamiseen. Osa

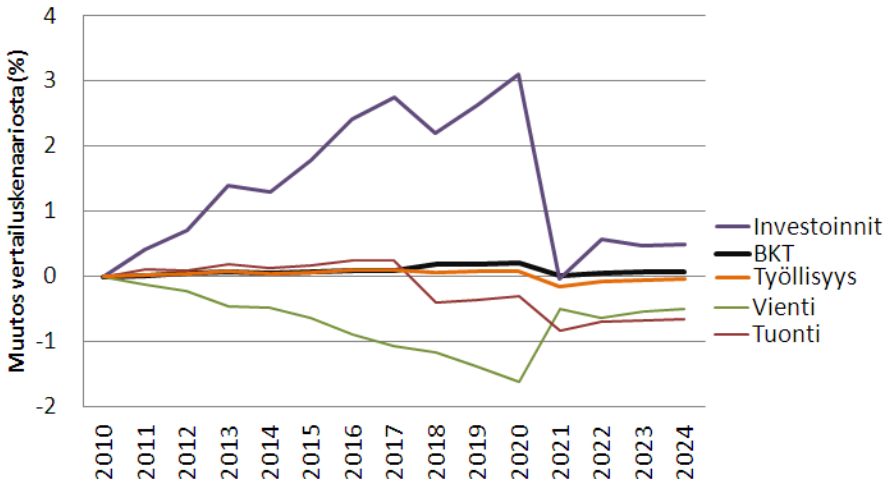
6. Pohdinta ja suositukset

säädetyistä politiikkakeinoista tukee toisiaan, joidenkin välillä taas on ristiriitaisuuksia. Esimerkiksi energiansäästötoimet pääsääntöisesti tukevat kaikkien muiden tavoitteiden saavuttamista, ja lisäksi niillä voidaan aikaansaada säästöjä, jolloin niiden kustannustehokkuus voi olla hyvä. Toisaalta osa ei-päästökauppasektorin päästövähennystoimista siirtää päästöjä päästökauppasektorille. Yleensä kokonaispäästöt kuitenkin laskevat, mutta osa kustannustehokkuudesta häviää ristikkäisiin vaikutuksiin.

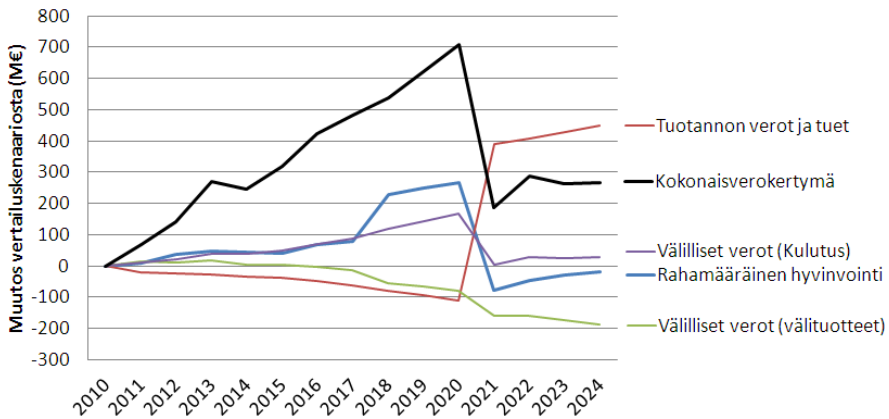
Yksi keskeisimmistä tuloksista oli, että yksittäisen politiikkatoimen vaikutuksia ei voida yksinkertaisin tilastollisin menetelmin erottaa muiden vastaavien politiikkatoimien vaikutuksista. Tämän vuoksi tässä hankkeessa päädyttiin tarkastelemaan uusiutuvan energian muotoja kokonaisuuksina. Tarkastelluille uusiutuvan energian muodoille arvioitiin vaikutukset suhteessa päästövähennyksiin, päästövähennysten jakautumiseen PK- ja ei-PK-sektorille ja uusiutuvan energian lisäämiseen. Näiden lisäksi on oleellista tarkastella myös politiikkatoimien yhteiskunnallisia vaikutuksia, joista tässä hankkeessa tarkasteltiin työllisyysvaikutusta, suoria kustannuksia valtiolle ja kansantaloudellisia kustannuksia.

Kaikkien osatarkastelujen lisäksi on tärkeää tarkastella myös kokonaisuuden vaikutusta, jotta politiikkatoimien toisiaan tukeva tai haittaava vaikutus saataisiin esille. Kansantaloudellisten kokonaisvaikutusten tarkastelu tehtiin VATTAGE-kansantalousmallilla. Kuvissa 6.1 ja 6.2 tarkastellaan kaikkien kolmen kokonaisuuden yhteisvaikutuksia. Uusiutuvan energian investointivaiheen aikana kansantuote on vertailuskenaariota korkeampi, mutta pidemmällä aikavälillä kansantuote palautuu kutakuinkin vertailuskenaarion tasolle. Taloudesta tulee rakennusvaiheen aikana vertailuskenaarioon nähden kotimarkkinavetoisempi: sekä viennin että tuonnin taso jää hieman alemmaksi kuin vertailuskenaariossa.

On tärkeää muistaa myös, että uusiutuvan energian käyttöä edistävillä politiikkatoimilla on kansantaloudelle kustannusten lisäksi myös positiivisia vaikutuksia. Rakennusaikana kotimaiset investoinnit kasvavat ja työvoimaa tarvitaan niin rakennus- kuin käyttövaiheessa.



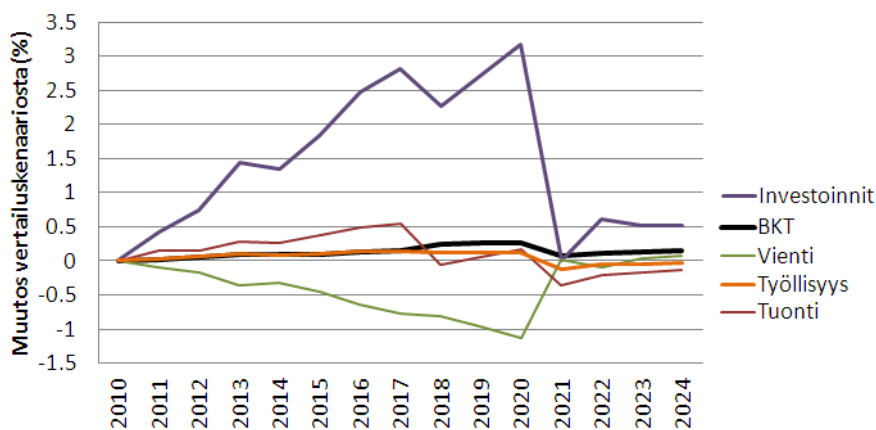
Kuva 6.1. Uusiutuvan energian tavoitteiden kokonaistaloudelliset vaikutukset.



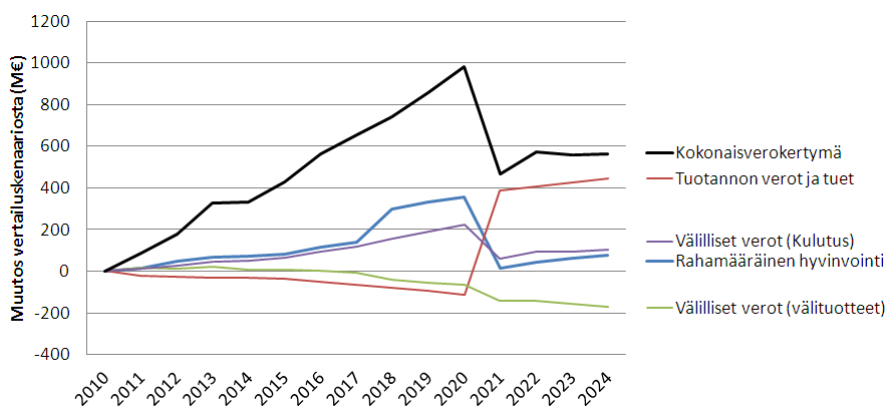
Kuva 6.2. Uusiutuvan energian tavoitteiden vaikutukset hyvinvointiin ja verkertymiin.

On myös mahdollista, että kasvavien investointien ja kysynnän myötä Suomalaiset yritykset onnistuvat lisäämään teknologiavientiään. Kuvissa 6.3 ja 6.4 on tarkasteltu skenaariota, jossa energiateknologian vienti kasvaisi vertailuskenaariota enemmän. Skenaariossa oletetaan, että Suomi vähintäänkin säilyttäisi markkinaosuutensa energiateknologian markkinoilla. Tällöin koko teknologiateollisuuden vienti kasvaisi noin 1–2 prosenttia vertailuskenaariota nopeammin, jolloin kokonaisvienti ja kansantuote päätyisivät vertailuskenaariota korkeammalle tasolle. Sekä kuluttajien hyvinvointi että valtion verotulot nousevat nekin vertailuskenaariota korkeammiksi.

6. Pohdinta ja suositukset



Kuva 6.3. Vientiskenaarion kokonaistaloudelliset vaikutukset.



Kuva 6.4. Vientiskenaarion vaikutukset hyvinvointiin ja verokertymiin.

Pidemmällä aikavälillä uusiutuvilla energianlähteillä voi olla positiivinen vaikutus kansantaloudelle etenkin silloin, jos niillä onnistutaan korvaamaan tuontienergiaa kohtuuhintaisella kotimaisella valmistuksella. Tarkasteltujen uusiutuvan energian politiikkatoimien yhteisvaikutuksesta kansantuote olisi malliarvion mukaan vuonna 2020 noin 0,2 % vertailuskenaariota korkeammalla tasolla ja investointivaiheen jälkeen kansantuote jäisi noin 0,1 % vertailuskenaariota korkeammalle tasolle. Lisäksi on mahdollista, että kasvavien investointien ja kotimaisen kysynnän myötä suomalaiset yritykset onnistuvat lisäämään teknologiavientiään, jolloin tarkasteltujen toimien positiivinen vaikutus kansantalouteen olisi voimakkaampi.

Lähdeluettelo

- 280/2004/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston päätös N:o 280/2004/EY, tehty 11. helmikuuta 2004, järjestelmästä yhteisön kasvihuonekaasupäästöjen seuraamiseksi ja Kioton pöytäkirjan täytäntöönpanemiseksi (EUVL L 49, 19.2.2004).
- 2003/30/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/30/EY, annettu 8 päivänä toukokuuta 2003, liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä.
- 2005/166/EY. Komission päätös, tehty 10 päivänä helmikuuta 2005, järjestelmästä yhteisön kasvihuonekaasupäästöjen seuraamiseksi ja Kioton pöytäkirjan täytäntöönpanemiseksi tehdyn Euroopan parlamentin ja neuvoston päätöksen N:o 280/2004/EY täytäntöönpanosäännöistä (tiedoksiannettu numerolla K(2005) 247).
- 2009/28/EC. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.
- Ahonen, A. 2004. Metsähakkeen energiakäytön työllisyys- ja tulovaikutukset. Case-tutkimus. Oulun yliopisto, Kajaanin kehittämiskeskus. REDEC Kajaani, Working Papers 47 http://www.kajaaninyliopistokeskus.oulu.fi/julkaisut/workingpapers/Redec_WP47.pdf (24.2.2012).
- Asikainen, A. 2.1.2012. Yksityinen tiedonanto.
- EC 2010. Report from the Commission on indirect land-use change related to biofuels and bioliquids. 811 final. Brussels, 22.12.2010.
- Ecofys 2010. Indirect effects of biofuel production. Unraveling the numbers. Bart Defue, Ecofys, Conference presentation, syyskuu 2010.
- Edwards, R., Mulligan, D. Marelli, L. 2010. Indirect land use change from increased biofuels demand. Comparison of models and results for marginal biofuels production from different feedstocks. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy. <http://www.jrc.ec.europa.eu> (24.2.2012).
- Energiateollisuus ry 2011. Kaukolämpötilasto 2010.

- FCCC/CP/1999/7. Review of the implementation of commitments and of other provisions of the Convention. UNFCCC guidelines on reporting and review.
- FCCC/IDR.5/FIN. Report of the in-country in-depth review of the fifth national communication of Finland. UNFCCC 2010.
<http://unfccc.int/resource/docs/2010/idr/fin05.pdf> (24.2.2012).
- Flyktman, M., Kärki, J., Hurskainen, M., Helynen, S. & Sipilä, K. 2011. Kivihillen korvaaminen yhteistuotannon pölypolttokattiloissa. VTT Tiedotteita 2595. Espoo, 2011. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2595.pdf>.
- Forsström, J., Pingoud, K., Pohjola, J., Vilén, T., Valsta, L. & Verkerk, H. 2011. Wood-based biodiesel in Finland – Market-mediated impacts on emissions and costs. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T7.pdf> (28.2.2012).
- Forsström, J., Pursiheimo, E., Kekkonen V. & Honkatukia, J. 2010. Ydinvoimahankkeiden periaatepäätökseen liittyvät energia- ja kansantaloudelliset selvitykset. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W141.pdf> (22.2.2012).
- Forster, D., Falconer, A., Buttazoni, M., Greenleaf, J., Eichhammer, W., Köhler, J., Faber, S., Toro F., Harmsen, R., Schleich, J., Sensfuss, F., Rhiemeier, J.-M., Harfoot, M., Ragwitz, M., 2009. Quantification of the effects on greenhouse gas emissions of policies and measures: Final Report. http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/ghgpams_report_180110.pdf (28.2.2012).
- Hagström M., Vartiainen E. & Vanhanen J. 2005, Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys, Gaia,
<http://www.ruoko.fi/uploads/pdf/kannattavuusselvennys.pdf> (28.2.2012)
- Halonen, P., Helynen, S., Flyktman, M., Kallio, E., Kallio, M., Paappanen, T. & Vesterinen, P. 2003. Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset. VTT Tiedotteita 2219. Espoo, Finland.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2219.pdf> (24.2.2012).
- HE 152/2010, Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta.
http://www.tem.fi/files/26294/HEluonnos_110310_.pdf (24.2.2012).
- HE 270/2010. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi kestävänsä metsätalouden rahoituslain muuttamisesta ja laiksi pienpuun energiatuesta.

- Helmisaari, H.S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Smolander, A. & Tamminen, P. 2009. Hakkuutähteiden korjuu – muuttuuko typen saatavuus? Metsätieteen aikakauskirja 1/2009.
- Honkatukia, J., Forström J. & Pursiheimo, E. 2009. Energia- ja ilmastopoliittisen toimenpidekokonaisuuden vaikutukset energiajärjestelmään ja kansantalouteen vuoden 2013 jälkeisessä päästökauppajärjestelmässä. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. VATT Tutkimukset 165. http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t165.pdf (24.2.2012).
- Hytönen, J. 2010. Kokopuukorjuu soilta: Hakkuutähteiden määrä ja ravinnesisältö ensiharvennusmänniköissä. Bioenergiaa metsistä tutkimus- ja kehittämisohjelman tutkijapäivät 1.12.2010. Tiedekeskus Heureka, Vantaa.
- IEEP 2011. The land-use implications of EU bioenergy policy. Going beyond iLUC. Institute for European Environmental Policy.
- ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. International Organization for Standardization 2006.
- Koponen, K. & Soimakallio, S. 2012. Yksityinen tiedonanto.
- Koponen, K., Soimakallio, S. & Sipilä, K. 2009. Assessing the greenhouse gas emissions of waste-derived ethanol in accordance with the EU RED methodology for biofuels. VTT Research Notes 2507. Espoo, Finland. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2507.pdf> (24.2.2012).
- KTM 2006. Energiakatsaus 1/2006. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- KTM 2007. Energiakatsaus 1/2007. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Kuittinen, V., Huttunen, M. J. & Leinonen, S. 1995–2011. Suomen biokaasulaitosrekisterit 1–14 eli vuodet 1994–2010; http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=61 (28.2.2012)
- Kärhä K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajuoja, H. 2010. Kiinteiden puupolttoainesten saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 66/2010.
- Kärhä, K., Strandström, M., Lahtinen, P. & Elo, J. 2009. Metsähakkeen tuotannon kalusto- ja työvoimatarve Suomessa 2020. Metsätehon katsaus 41. http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Katsaus/Katsaus_041_Metsahakkeen_tuotannon_kalusto-ja_tyovoima_kk.pdf.

- Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 446/2007.
- Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta 1420/2010.
- Laki maatalouden rakennetuista 1476/2007.
- Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta 1399/2010.
- Laki pienpuun energiatuesta 101/2011.
- Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta 1260/1996.
- Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010 (ajantasainen lainsäädäntö).
- Liski J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J., Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu, V.-V. & Tuovinen, J.-P. 2011. Mestäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa. Suomen ympäristö 5/2011.
- LVM 2009. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020. Liikenne- ja viestintäministeriö, ohjelmia ja strategioita 2/2009.
- LVM 2010. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020 Seuranta 2010. http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=964900&name=DLFE-11121.pdf&title=Julkaisuja_28-2010.
- Lindroos, T. J., Hast, A., Ekholm T. & Savolainen, I. 2011. Arvio ei-päästökaupparektorin päästövähennyskeinoista ja kustannuksista Suomessa. VTT Tiedotteita 2605. Espoo, Finland.
- McKeough, P. & Kurkela, E. 2008. Process evaluations and design Studies in the UCG project 2004–2007. VTT Research notes 2434. Espoo, Finland. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2434.pdf> (24.2.2012).
- Metla 2011. Metsähakkeen kokonaiskäyttö raaka-aineittain 2000–2010.
- Mikkanen, P., Ahonen, H.-M., Ollikainen, J., Magnusson, R. & Rautanen T. 2011, Esiselvitys kotimaisten päästövähennysten hyvitysjärjestelmästä. Loppuraportti 20.12.2011. GreenStream Network, First Climate & ympäristöministeriö. <http://www.ymparisto.fi> (24.2.2012).

- MMM 2008. Bioenergia maa- ja metsätaloudessa. Maa- ja metsätalousministeriön bioenergiatuotannon työryhmä. Helsinki 2008.
- MMM 2011a. Vehnän ja rapsin kasviuonekaasupäästöt viljeltäessä niitä biopoltto-aineiden raaka-aineeksi Suomessa. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/28/EY mukainen laskenta Artikla 19(2). Helsinki, 12.5.2011. http://www.mmm.fi/attachments/maatalous/maataloustuotanto/bioenergia/5qWnE6HyK/Bio_rapotti_vehnan_ja_rapsin_kasviuonekaasupaatot_12052011.pdf (24.2.2012).
- MMM 2011b. Pienpuun energiatukilain (101/2011) voimaantulo edellyttää komission hyväksyntää (tiedote). http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/hankkeet_tyoryhmat/lainsaadantohankkeet_0/pienpuunenergiatuki.html.
- Monni, S. 2010. Kansallisen ilmastopolitiikan vaikutusten arvioinnin kehittämistarpeet [Improvement needed in the impact assessment of the national climate policy]. Ympäristöministeriön raportteja 7/2010, 80 s. <http://www.ymparisto.fi> (24.2.2012).
- Motiva Oy, 2009a. Pienkäytön edistäminen – Maalämmön käytön edistäminen. Projektin vaikutusarvio 8.12.2009. Määttä, T. Motiva Oy. Projektin vaikutusarvio 8.12.2009. Timo Määttä, Motiva Oy.
- Motiva Oy, 2009b. Bioenergian edistäminen – Lämpöyrittäjäyys.
- Motiva Oy, 2009c. TEM:n energiatehokkuustoimikunta: Energiansäästön ja hiilidioksidipäästöjen vaikutusarviot -taustaraportti. http://www.motiva.fi/files/2644/Energiansaaston_ja_hiilidioksidipaastojen_vaiikutusarviot_taus_taraportti_2009.pdf (24.2.2012).
- Nikander, S. 2008. Greenhouse gas and energy intensity of product chain: case transport biofuel.
- NREAP Finland 2010, http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/action_plan_en.htm (24.2.2012).
- Paananen, M. 2005. Jyväskylän Teknologiateollisuus, Selvitys metsähakkeen tuotannon työllistävyyydestä Keski-Suomessa 1995–2004.
- Peltola, S., Kilpeläinen, H. & Asikainen, A. 2011. Recovery rates of logging residue harvesting in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) dominated stands. *Biomass & Bioenergy* 35: 1545–1551.

- Reinhardt 2007, Reinhardt, G. A., Rettenmaier, N. & Gärtner S. Environmental effects of palm oil production. Teoksessa: Rain forest for biodiesel? Ecological effects of using palm oil as a source of energy, luku 4. WWF Deutschland, Frankfurt 2007.
- Rekola, A. 2010. Kioston pöytäkirjan toimeenpanon ja ilmastopolitiikan seurannan kehittäminen ympäristöministeriön toimialoilla. Työraportti hallinnon käyttöön. Hankkeiden YTF232 ja YTF 303 yhteinen loppuraportti.
- Reini, K. & Törmä, H. 2010. Suomen metsäteollisuuden uusien mahdollisuuksien aluetaloudelliset vaikutukset. Ruralia-instituutti. <http://www.helsinki.fi/ruralia/julkaisut/pdf/Raportteja55.pdf> (24.2.2012).
- Repo A., Tuomi M. & Liski J. 2010. Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. GCB Bioenergy 2010, doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01065.x.
- RES-direktiivi = 2009/28/EC.
- SK 2011. Biojalostamolla olisi merkittävä työllisyysvaikutus. Satakunnan Kansa. <http://www.satakunnankansa.fi/cs/Satellite/Satakunta/1194614684232/artikkeli/upm+n+biojalostamolla+olisi+merkittava+tyollisyysvaikutus.html> (24.2.2012).
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J. Use of U.S. Croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. Science 319, s. 1238–1240.
- Sinkko, T., Hakala, K. & Thun, R. 2010. Biopolttoaineiden raaka-aineeksi viljeltävien kasvien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt Suomessa. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/28/EY mukainen laskenta (in Finnish with English abstract). MTT raportti 9, 2010. <http://www.mtt.fi/mtt/raportti/pdf/mttraportti9.pdf> (24.2.2012).
- Soimakallio, S. & Koponen, K. 2011. How to ensure greenhouse gas emission reductions by increasing the use of biofuels? Suitability of the European Union sustainability criteria. Biomass and Bioenergy 35, s. 3504–3513.
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H., Paappanen, T. 2009. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation In Finland. Dealing with the uncertainties. Energy Policy 37(1), s. 80–90.
- Soimakallio, S., Kiviluoma, J. & Saikku, L. 2011. The complexity and challenges of determining GHG (greenhouse gas) emissions from grid electricity con-

sumption and conservation in LCA (life cycle assessment). A methodological review. Energy 36, s. 6705–6713.

Spadaro, J.V., Langlois, L. & Hamilton, B. 2000. Greenhouse gas emissions of electricity generation chains. Assessing the difference. IAEA BULLETIN, 42/2/2000, s. 19–24. http://www.energienucleaire.ch/upload/cms/user/IAEA_GreenhouseGasEmissions.pdf (24.2.2012).

Taavitsainen, T. 2011. Biokaasuteknologian edistäminen Pohjois-Savossa. Kestävä uusiutuvan energian tuotanto ja ravinteiden kierrätys (BIOTILA-hanke). Liiketoimintaosa-alueen loppuraportti 3.10.2011. Envitecpolis, Ympäristöliiketoiminnan ammattilaiset.

Tapio 2006. Kestävän metsätalouden työohjelman seuranta 2005 tammi-joulukuu.

Tapio 2007. Kestävän metsätalouden työohjelman seuranta 2006 tammi-joulukuu.

Tapio 2008. Kestävän metsätalouden työohjelman seuranta 2007 tammi-joulukuu.

Tapio 2009. Kestävän metsätalouden työohjelman seuranta 2008 tammi-joulukuu.

Tapio 2010. Kestävän metsätalouden työohjelman seuranta 2009 tammi-joulukuu.

Tapio 2011. Kestävän metsätalouden työohjelman seuranta 2010 tammi-joulukuu.

Teknologiateollisuus ry, 2009. Tuulivoima-tiekartta.

TEM 2008a. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf (23.2.2012).

TEM 2008b. Energiakatsaus 1/2008. Työ- ja elinkeinoministeriö.

TEM 2009a. Syöttötariffiryhmän loppuraportti; Ehdotus tuulivoimalla ja biokaasulla tuotetun sähkön Syöttötariffiksi.

TEM 2009b. Energiakatsaus 1/2009. Työ- ja elinkeinoministeriö.

TEM 2010a. HE laiksi uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. Tiedotustilaisuus 16.9.2010 (kalvosarja).

TEM 2010b. Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY mukaisesti. Työ-

ja elinkeinoministeriö 30.6.2010. http://www.tem.fi/files/27405/NREAP_300610_FINLAND.pdf (24.2.2012).

TEM 2010c. Energiakatsaus 1/2010. Työ- ja elinkeinoministeriö.

TEM 2011a. Kiinteä sähkön tuotantotuki loppuu vuoden 2012 alussa. Tiedote 11.10.2011. Työ- ja elinkeinoministeriö. <http://www.tem.fi> (24.2.2012).

TEM 2011b. Energiakatsaus 1/2011. Työ- ja elinkeinoministeriö.

TEM 2011c. Suomi toimittaa Euroopan komissiolle kolme NER300-hakemusta. Tiedote 5.5.2011. Työ- ja elinkeinoministeriö.

Tilastokeskus 1997. Energia-alan työllisyysvaikutukset. Katsauksia 1997/8.

Tilastokeskus 2011a. Energiatilasto. Vuosikirja 2010.

Tilastokeskus 2011b. Polttoaineluokitus 2011.
<http://www.stat.fi/tup/khkinv/polttoaineluokitus.html>

Tilastokeskus 2011c. Vuoden 2010 kasvihuonekaasupäästöt lähes taantumaa edeltäneellä tasolla. Julkistus 13.12.2011.

Tilastokeskus 2011d. Ismail Bate, Forsell Pia, Frönfors Kari ja Pipatti Riitta. Päästökauppa- ja ei-päästökauppasektorin tietojen tuottaminen EU:n ilmastoto- ja energiapaketin seuranta varten.

TS 2011. "Tankkaatko taikinaa vai pumpppaatko palmusta?" Taloussanommat 14.1.2011.

Tullihallitus 2010. Valtion tuet 2004 alkaen. Muistio 3.12.2010.

UNEP 2011. Towards sustainable production and use of resources: Assessing biofuels.
http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/assessing_biofuels_full_report.pdf
(24.2.2012).

Uusimaa 2011. YVA-selvitys: Biojalostamolla Porvoossa Imatraa vähemmän ympäristövaikutuksia. <http://www.uusimaa.fi/artikkeli/53003-yva-selvitys-biojalostamolla-porvoossa-imatraa-vahemman-ymparistovaikutuksia>
(24.2.2012).

Valtionavustuslaki 688/2001.

Valtioneuvoston asetus bioenergiantuotannon avustamisesta 607/2008.

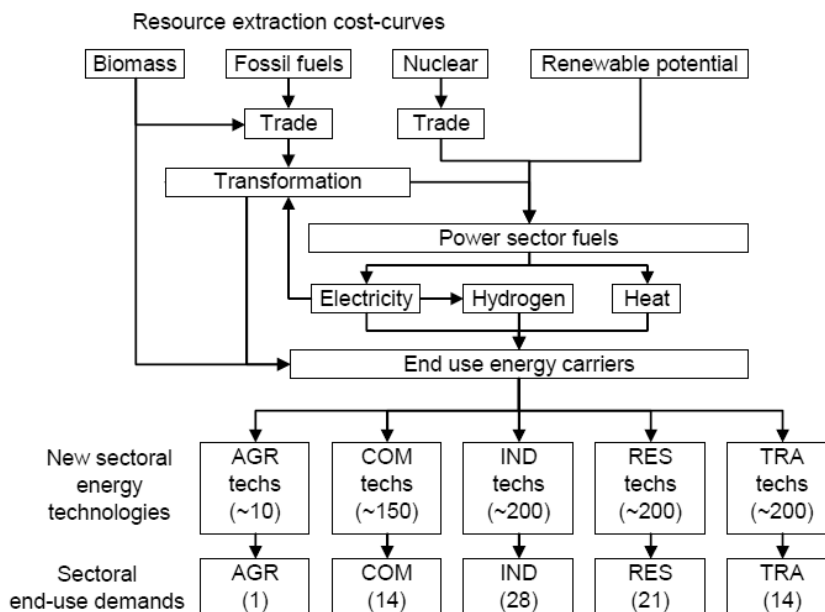
- VN 2009. Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja, 28/2009.
- VTT 2011. Suomen tuulivoimatilastot; <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/?lang=fi>.
- YK 1998. Kioton pöytäkirja. YK:n ilmastopimus (UNFCCC).
- YM 2011. Ympäristöministeriö myönsi avustuksia tuulivoimarakentamisen kaavoitukseen; <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=387547&lan=fi>.
- UNFCCC = YK:n Ilmastopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change). Yhdistyneet Kansakunnat. <http://unfccc.int/2860.php>.
- YM & TK 2009. Finland's Fifth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, 2009. Ympäristöministeriö ja Tilastokeskus.
- ÖKL 2010. Markkinaosuudet öljytuotteiden myynnissä 2008 ja 2009. Öljy- ja kaasualan keskusliitto.

Liite A: TIMES-mallin rakenne ja toimintaperiaatteet

Tutkimus tehtiin kansainvälisesti kehitetyllä ja käytössä olevalla globaalilla ETSAP-TIAM-mallilla, mihin on Suomessa lisätty jokainen pohjoismaa omaksi alueekseen. TIMES-mallit ovat teknistaloudellisia energiajärjestelmämalleja, jotka sisältävät laajan kuvauksen eri energiantuotannon ja loppukäytön teknologioista, resursseista ja energiajärjestelmän rakenteesta. Mallit arvioivat tulevaisuudessa toteutuvan energian kulutuksen eri käyttökohteissa käyttäen mallin lähtötietoina annettavaa talousskenaariota, joka sisältää mm. projektiot BKT:n, väkiluvun ja eri teollisuudenalojen kehityksestä, ja laskevat markkinatasapainon avulla kustannusoptimaalisen tavan tyydyttää energian kysyntä halutuissa tulevaisuusskenaarioissa.

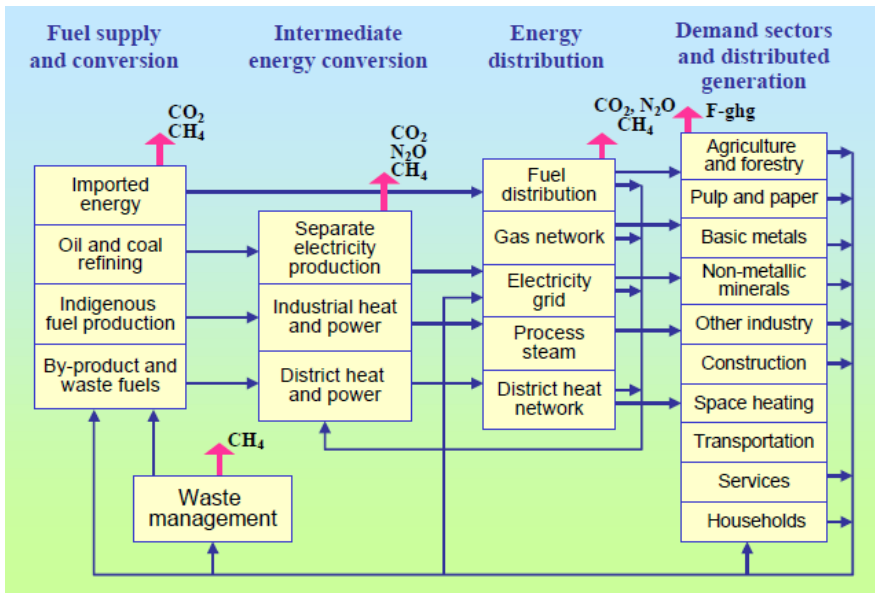
Malli on jaettu erilaisiin maantieteellisiin alueisiin, jotka ovat toisiinsa kytkettyinä energiamuotojen kaupan kautta. Malli kattaa kaikki Kioton pöytäkirjan kaasut ja päästösektorit, tässä sovelluksessa ei kuitenkaan huomioida LULUCF-sektorin päästöjä ja ne on lisätty tuloksiin jälkilaskentana. Kullekin alueelle on rakennettu kuvaus alueen energiajärjestelmästä, joka ulottuu resurssien hankinnasta jalostus- ja muuntoprosessien kautta energian loppukäytön kohteisiin. Yksinkertaistettu esimerkki energiajärjestelmän rakenteesta TIMES-mallissa on esitetty kuvassa A1. Energiateknologiat on kuvattu pääasiassa niiden hyötysuhteiden, käyttökerrotoimien, eliniän, tuotannon vaihtelun, investointi-, käyttö-, huolto- ja poistokustannusten sekä päästöjen perusteella. Näille teknologiaparametreille on arvioitu nykyarvot eri alueilla sekä projektiot niiden kehittymisestä tulevaisuudessa. Resurssien hankinnalle on usein määriteltä portaittainen kustannuskäyrä, joka kuvaa esimerkiksi konventionaalisten, vaikeasti hyödynnettävien ja epäkonventionaalisten uraanivarojen louhimiskustannuksia. Eri prosessien teknologiakuvausten lisäksi malliin on osalle teknologioista määriteltä myös erilaisia rajoitteita, esimerkiksi uuden teknologian markkinapenetraatiolle tai tekniselle potentiaalille tietyssä käyttökohteessa.

Mallissa oletetaan tehokkaat markkinat ja täydellinen ennakointikyky tulevaisuuteen, jotka ohjaavat energiajärjestelmän globaaliin kustannusoptimiin, ottaen huomioon investointi-, hyödyke-, käyttö- ja huoltokustannukset, sekä mahdollisen energiapalveluiden kysynnän menetyksen arvo. Malli ei sisällä teollisuustuotteiden kauppaa, minkä vuoksi tulokset jättävät huomiotta ns. "hiilivuodon" mahdollisuuden, jolloin kohonneiden kustannusten vuoksi tuotantoa siirtyisi alueille, joissa päästöjä ei ole rajoitettu. Skenaarioita muodostettaessa muodostetaan aina ensin ns. vertailuskenaario mihin tämän jälkeen muodostettavia politiikkaskenaarioita verrataan. Poliitiikkaskenaarioille lasketaan markkinatasapainotilanne vertailuskenaariota tasapainotilanteen avulla arvioimalla energiapalveluiden kysynnän muutokset hinnan muutosten ja kysynnälle määritellyn hintajoukon avulla.



Kuva A1. Yksinkertaistettu esimerkki energijärjestelmän rakenteesta globaalissa TIMES-mallissa. Suluissa olevat luvut kuvaavat teknologisten vaihtoehtojen tai käyttökohteiden määrää mallissa.

Suomen osalta VTT:n pohjoismainen TIMES-malli on metodologialtaan varsin samanlainen kuin globaali TIMES-malli, mutta se eroaa globaalista TIMES-mallista erityisesti siinä, että mallin rakenteessa on otettu huomioon monia Suomen energijärjestelmämallin erityispiirteitä, kuten metsäteollisuuden keskeinen merkitys, erilaiset jäte- ja sivutuotepolttoaineet sekä laaja sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Lisäksi pohjoismaisessa TIMES-mallissa kukin tarkasteluvuosi on jaettu kymmeneen vuoden sisäiseen sähkön ja lämmön kuormitusvaihteluja kuvaavaan jaksoon, joiden avulla sähkön ja lämmön tuotantoa optimoidaan ja marginaalikustannukset muodostuvat. Pohjoismaisen TIMES-mallin perusrakennetta on havainnollistettu kuvassa A2.



Kuva A2. Pohjoismaisen TIMES-mallin yksinkertaistettu rakennekaavio.

Liite B: VATTAGE-mallin tietoperusta ja rakenne

Tasapainomallien rakenne

Tutkimuksessa käytetään laskennallista yleisen tasapainon aluemallia, joka perustuu tuotannon, kulutuksen ja julkisen sektorin yksityiskohtaisiin kuvauksiin. Mallissa oletetaan, että niin kuluttajat kuin yrityksetkin toimivat rationaalisesti. Mallissa kuluttajien ja yritysten valintoja kuvataan optimointiongelmina, joiden ratkaisuina saadaan erilaisten tuotteiden kulutuskysyntä tai vaikkapa työvoiman ja investointien kysyntä. Mallissa kaikki markkinat (hyödyke ja panosmarkkinat) ovat tasapainossa (kysyntä on yhtä suuri kuin tarjonta), ja tasapaino saavutetaan suhteellisten hintojen muutosten kautta.

Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa kehitetty VATTAGE-malli ja siihen perustuva VERM-aluemalli ovat dynaamisia yleisen tasapainon malleja. VATTAGE-mallia on sovellettu ennen kaikkea veropoliittikan ja energia- ja ympäristöpolitiikan vaikutusten arviointiin sekä pitkän aikavälin talousskenaarioiden laadintaan. VERM-malli puolestaan on aito aluemalli, jossa kukin maakunta on kuvattu omalla alueellisella mallillaan maakuntien linkittyessä toisiinsa tavaroiden ja tuotantontekijöiden välisin kauppaverroin.

Malleilla voidaan tuottaa rahamääräisiä arvioita talouden reagoinnista erilaisiin politiikan tai ympäröivän maailman muutoksiin. VERM-mallin lähestymistapa mahdollistaa myös sellaisen aluepolitiikan analyysin, jossa vaikutukset kumpuavat aidosti alueitasolta. Skenaariokäytössä mallin avulla voidaan tarkastella erilaisten rakenteellisten tekijöiden yli ajan tapahtuvan muutoksen aikaansaamaa kasvua ja tuotanto- ja kulutusrakenteen muutosta. Varsinaisista ennustemalleista tasapainomallissa ei ole kysymys, pikemminkin mallit mahdollistavat erilaisia rakenteellisia tekijöitä koskevien ennusteiden ja näkemysten yhdistämisen konsistenteiksi, kokonaistaloudelliseksi skenaarioiksi. Tässä tutkimuksessa julkisten sektorien kulutuksen kehitystä arvioidaan edellisessä luvussa kuvatun ennusteen avulla, kun taas talouden muiden sektorien kehitysarvio perustuu pääasiassa Valtiovainministeriön ennusteeseen.

Talouden kuvauksen perustana malleissa on tietokanta, joka kuvaa talouden toimijoiden välisiä taloustoimia ja kunkin toimijan joko välituotteisiin tai lopputuotteisiin kohdistuvaa kysyntää. Perustaltaan malli on suuri joukko kuluttajan ja yrityksen teoriasta johdettuja käyttäytymissääntöjä, kysyntä- ja tarjontafunktioita, jotka kattavat kaikki markkinat, niin tuotteet kuin tuotantontekijätkin, sekä kysynnän ja tarjonnan ja tulojen ja menojen kohdentumista koskevia tasapainoehtoja.

Mallin tietokanta rakentuu koko maan tasolla hyvin yksityiskohtaisten tarjontaja käyttötaulukkojen pohjalle, joita on täydennetty kattavalla julkisten sektorien ja muun muassa vaihtotaseen kuvauksilla. Mallin tietoaineistot ovat Tilastokeskuksen tuottamia. Yleisen tasapainon malleissa otetaan huomioon kaikki taloudessa tapahtuva taloudellinen aktiviteetti, joka vaikuttaa talouden eri toimijoiden väliseen

vuorovaikutukseen. Vastaavasti kansatalouden tilinpito on tilinpitokehikko, jossa pyritään kuvaamaan koko kansatalous käsitteellisesti yhtenäisenä kokonaisuutena (ESA95, 1). Kansantalouden tilinpito on myös eräänlainen malli, jossa yleisesti määriteltujen periaatteiden mukaan erilaiset taloudelliset tapahtumat, transaktiot, määritellään ja luokitellaan yhtenäisellä tavalla (Bos, 51). Koska kansatalouden tilinpidolla ja numeerisilla yleisen tasapainon malleilla on selvästi yhtäläisyyksiä, kansatalouden tilinpito on käytännöllinen aineistokehikko ja luonnollinen lähtökoh- ta yleisen tasapainon malleilla tehtäville tarkasteluille.

Malli jakautuu teoreettisiin osiin, joissa kuvataan talouden toimijoiden käyttä- tyminen. Toisen osan muodostavat tasapainoehdot, minkä lisäksi malli käsittää suurehkon määrän erilaisia simulointitulosten analyysiä helpottavia raportointi- muuttujia.

Kuluttaja kuvataan mallissa hyödynmaksimoijana, jonka hyvinvoinnin muutok- sia mitataan kulutuksen kautta. Mallissa oletetaan kulutuksen seuraavan lineaaris- ta menojärjestelmää, jonka joustoparametrit on estimoitu aikasarja-aineiston pe- rusteella. Menojärjestelmän budjettiosuudet määräytyvät suoraan Tilastokeskuk- sen tarjonta- ja käyttötaulukujen perusteella. Kuluttajan valintaa rajoittavat tuotan- nontekijätulot ja julkiselle sektorille maksetut verot sekä julkiselta sektorilta saadut tulonsiirrot. Kuluttajan säästöt kohdentuvat sekä kotimaisiin että ulkomaisiin vaa- teisiin, joiden osalta tietokanta kattaa toteutuneen historian useiden vuosien ajalta.

Yritykset kuvataan voitonmaksimoijina, jotka toimivat vakioskaalatuottojen ja täydellisen kilpailun mukaisesti. Tuotantofunktiot noudattavat YTP-malleissa ylei- sesti käytössä olevaa useampitasoista rakennetta, jossa välituotekäyttö muodos- taa oman, lineaarisen osansa, jossa suhteelliset hinnat eivät vaikuta eri hyödyk- keiden kysyntään, mutta jossa primaarituotantokelijöiden välinen substituuatio on mahdollista. Mallissa oletetaan lisäksi, että energiahyödykkeet ja primaarituotan- nontekijät ovat substituotavissa keskenään. Pääoman ja työpanoksen väliseksi substituuatiojoustoksi on mallissa oletettu kirjallisuuden perusteella 0.5 (Jalava, Pohjola, Ripatti ja Vilmunen 2005). Energiapanosten ja primaarituotantokelijöi- den välinen substituuatiojousto noudattaa kansainvälisellä aineistolla tehtyä arviota (Badri ja Walmsley 2008).

Investoinnit määräytyvät mallissa pääoman tuottoasteen mukaisesti. Inves- toinnit ohjautuvat niille toimialoille, joilla pääoman tuoton odotetaan olevan kas- vussa. Pitkällä aikavälillä investointien tuoton odotetaan kuitenkin noudattavan trendiä, mikä tarkoittaa sitä, että (efektiivisen) työpanoksen ja pääoman suhde on pitkällä tähtäimellä vakio. Investointihyödykkeet on mallissa kuvattu toimialoittain Kansantalouden tilinpidosta saatavien investointi- ja hyödyketietojen perusteella.

Julkisen sektori on VATTAGE-mallissa kuvattu varsin kattavasti. Julkista ky- syntää on mahdollista tarkastella valtion, kuntasektorin ja sosiaaliturvarahastojen osalta erikseen, minkä lisäksi jokaisen sektorin keräämät verot ja maksut sekä verotuksen kautta maksetut tuet on mallinnettu erikseen. Malli kattaa myös tulon- siirrot julkisen ja yksityisen sektorin välillä sekä kuntasektorin, rahastojen ja valtion välillä. Tästä syystä erilaisten julkisen sektorin tilaa kuvaavien alijäämäkäsitteiden käyttö on mahdollista. Julkisen sektorin mallinnus perustuu Kansantalouden tilinpi- toon ja osittain sen lähdeaineistoihin. Julkisen sektorin menokehitystä voidaan

kuvata eri tavoin, mutta pääpiirteissään menot riippuvat julkispalvelujen kysyntään vaikuttavien eri väestöryhmien kasvusta mallin arvioidessa kustannuskehityksen julkispalveluja tuottavilla toimialoilla, kun taas siirtomenot voidaan esimerkiksi indeksoida hinta- ja palkkakehitykseen tai niitä voidaan kohdella päätösmuuttujina.

Sekä VATTAGE- että VERM- mallien keskeinen piirre on julkisten rahavirtojen kiertokulun yksityiskohtainen kuvaus. VATTAGE-mallissa julkisen sektorin tuloja ja menoja sekä niiden välisen eron vaikutuksia valtion velkaan on tarkasteltu erikseen koskien kolmea eri julkista alasektoria; keskushallintoa, paikallishallintoa ja sosiaaliturvarahastoja. VERM -mallia varten vastaavat tiedot on laskettu erikseen koskien jokaista maakuntaa niin, että sektoreiden ja alueiden väliset transaktiot tulee huomioida.

Koska tuotantoa kuitenkin tarkastellaan yksityiskohtaisen toimialarakenteen avulla, ja koska julkisten tuotteiden tuotanto keskittyy pääasiassa muutamille toimialoille (esimerkiksi terveydenhuoltopalvelut, sosiaaliturvapalvelut, jne.) on suurin osa julkisten palvelujen tuotannosta helposti identifioitavissa tarkastelemalla pannon-tuotostaulujen toimialarakennetta.

Muun maailman osalta VATTAGE-malli rajoittuu tarkastelemaan vientiä ja tuontia EU-maihin ja EU:n ulkopuoliseen maailmaan. Ulkomaankaupan lisäksi tietokanta käsittää maksutaseen. Sekä kotitalouksien että julkisen sektorin vaateet ja vastuut ulkomaille on mallinnettu eksplisiittisesti, samoin ulkomaisten omistuksen kohde, mutta niillä on merkitystä hyvinvointivaikutusten arvioinnissa, jos esimerkiksi osa suomalaisyrityksiä koskevista vaikutuksista valuu ulkomaille.

Mallien **dynamiikkaan** liittyy kaksi keskeistä piirrettä. Ensimmäinen näistä koskee investointeja fyysiseen pääomaan ja arvopapereihin, toinen puolestaan palkkojen määräytymistä. Investoinnit jakautuvat toimialojen välillä pääoman odotetussa tuotossa tapahtuvien muutosten mukaisesti. Odotuksien sopeutumisen voidaan joko olettaa olevan hidasta tai sitten malli voidaan ratkaista rationaalisin odotuksin. Rahoitusvaateilla on siinä mielessä tärkeä osa mallin dynamiikassa, että ne kuvaavat talouden eri sektorien ja koko kansantalouden varallisuuden kehitystä. Palkkojen osalta malli mahdollistaa useita eri lähestymistapoja, joista yksi olettaa reaali-palkkajäykkyyden yli ajan. Reaalipalkkojen sopeutumismuutos onkin yksi keskeisiä talouden sopeutumiseen vaikuttavia tekijöitä.

VATTAGE-malli ja sen taustalla oleva teoria on kuvattu tarkemmin julkaisussa Honkatukia (2009).

Nimeke	Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen
Tekijä(t)	Tomi J Lindroos, Suvi Monni, Juha Honkatukia, Sampo Soimakallio & Ilkka Savolainen
Tiivistelmä	<p>IMPAKTI-hankkeessa kehitettiin menetelmiä ilmastopoliittikan vaikuttavuuden arviointiin ja sovellettiin niitä metsähakkeen, tuulivoiman, biokaasureaktorioiden ja liikenteen biopolttoaineiden tarkasteluissa. Tietoja ilmastopoliittikkatoimien vaikuttavuudesta tarvitaan muun muassa toimenpiteiden suunnitteluun ja seurantaan sekä raportointiin EU:lle.</p> <p>Uusiutuvan energian käyttöä tukevalla politiikkatoimilla pyritään saavuttamaan EU:n uusiutuvan energian tavoite, mutta niillä on myös muita vaikutuksia. Hankkeessa tarkasteltiin vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin, työllisyyteen, suoriin kustannuksiin valtiolle ja kansantalouteen Suomessa. Arviot tehtiin suhteellisen yksinkertaisilla menetelmillä ja laskentamalleilla.</p> <p>Metsähakkeen käytön lisäämisellä saavutettaisiin suurimmat vuosittaiset päästövähennykset (4,0–4,7 MtCO₂ vuodesta 2010 vuoteen 2020). Päästöjä voidaan vähentää myös tuulivoiman ja biokaasureaktorioiden avulla. Myös liikenteen biopolttoaineiden lisäkäytöllä saavutettaisiin vähennyksiä, mutta biopolttoaineiden tuotantoketjussa myös vapautuisi jonkin verran päästöjä Suomessa ja ulkomailta.</p> <p>Työllisyyttä lisäävästi vaikuttaisi eniten metsähakkeen lisäkäyttö (vajaa 3 000 htv/vuosi vuodesta 2010 vuoteen 2020). Biokaasureaktorioiden työllisyysvaikutus on melko pieni (100–150 htv/vuosi vuonna 2020). Malliarvion mukaan kokonaisvaikutus työllisyyteen olisi yhteensä noin 3 000 htv/vuosi vuonna 2020.</p> <p>Valtio myönsi tukia tarkastelluille uusiutuvan energian muodoille noin 150 M€ vuonna 2010, ja vuoteen 2020 mennessä tukien arvioidaan nousevan 350 miljoonaan euroon. Metsähake on pelkkiä valtion kustannuksia tarkasteltaessa tehokkain tapa lisätä uusiutuvan energian määrää ja vähentää päästöjä. Metsähakkeen käyttötavoite on kuitenkin lähellä suurinta kustannustehokasta käyttömäärää. Valtion kustannusten kannalta tuulivoima on biokaasureaktoreita edullisempi molemmilla käytetyillä tarkastelutavoilla (uusiutuvan energian lisäys €/GWh ja päästöjen vähennys €/tCO₂).</p> <p>Valtion näkökulmasta liikenteen biopolttoaineille asetettu jakeluvelvoite ja valmisteveroalennus ovat suhteellisen edullinen tapa lisätä uusiutuvan energian käyttöä, mutta kotimaisen liikenteen biopolttoaineiden tuotannon edistäminen saattaa edellyttää myös muiden tukimekanismien, kuten investointitukien käyttöä, joita ei huomioitu tässä selvityksessä.</p> <p>Tässä tarkasteltujen uusiutuvan energian politiikkatoimien yhteisvaikutuksesta kansantuote olisi malliarvion perusteella vuonna 2020 noin 0,2 % vertailuskenaariota korkeammalla tasolla ja investointivaiheen jälkeen kansantuote jäisi noin 0,1 % vertailuskenaariota korkeammalle tasolle. Jos energiateknologian vienti lähtisi kasvavien kotimarkkinoiden ansiosta kasvuun, positiiviset vaikutukset kansantuotteen olisivat suurempia.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7623-4 (nid.) ISSN 2242-1211 (nid.) ISBN 978-951-38-7624-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 2242-122X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)
Julkaisu aika	Maaliskuu 2012
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	121 s. + liitt. 6 s.
Projektin nimi	IMPAKTI
Toimeksiantajat	SETUILLMU-ohjelma
Avainsanat	Renewable energy, policy evaluation, green house gas reductions, employment, GDP, forest residues, wind power, biogas, biofuels
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111

Title	Estimations of greenhouse reductions and economical effects of renewable energy in Finland
Author(s)	Tomi J Lindroos, Suvi Monni, Juha Honkatukia, Sampo Soimakallio & Ilkka Savolainen
Abstract	<p>In this publication we developed methods to estimate the effectiveness of climate policy measures and applied the new methods to the renewable energy policies of Finland. We estimated effects of increasing the amount of produced and used forest residues, wind power, biogas and transportation biofuels on greenhouse gas emissions, employment, amount of paid subsidies and Finnish economy.</p> <p>With current targets the increased use of forest residues would have the biggest effect on all studied areas. In general, the wind power would have the second largest effect and biogas only minor effects. Transport biofuels have mixed effects. While they are an efficient way to replace imported fossil fuels with domestic renewable production, the global greenhouse gas emissions may increase compared to fossil fuels.</p> <p>Overall, the policy measures to increase these four renewable energy sources would increase the GDP of Finland 0,1 % compared to reference scenario. The biggest factor in this increase is lesser imports of oil and bigger domestic production.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7623-4 (soft back ed.) ISSN 2242-1211 (soft back ed.) ISBN 978-951-38-7624-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 2242-122X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)
Date	March 2012
Language	Finnish, English abstract
Pages	121 p. + app. 6 p.
Name of the project	IMPAKTI
Commissioned by	SETUILMU-ohjelma
Keywords	Renewable energy, policy evaluation, green house gas reductions, employment, GDP, forest residues, wind power, biogas, biofuels
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen

Tässä julkaisussa arvioidaan uusiutuvan energian käytön lisäämisen vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin, työllisyyteen, valtion kustannuksiin ja kansantalouteen. Tarkasteltavia uusiutuvan energian muotoja ovat metsähake, tuulivoima, liikenteen biopolttoaineet ja biokaasu.

Suomen tavoitteena on moninkertaistaa metsähakkeen, tuulivoiman, liikenteen biopolttoaineiden ja biokaasun energiakäyttö vuoteen 2020 mennessä, jolloin uusiutuvalla energialla on määrä tuottaa 38 % loppuenergiasta. Uusiutuvan energian lisääminen edellyttää tällä hetkellä valtion tukia, mutta kokonaisvaikutukset kansantalouteen arvioidaan positiivisiksi, sillä kotimaiset investoinnit lisääntyvät ja maahantuodun polttoaineen määrä vähenee. Uusiutuvan energian käytön lisääminen vähentää myös kasvihuonekaasupäästöjä. Hankkeessa tarkastellut uusiutuvan energian muodot voisivat vähentää Suomen kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä arviolta 5–7 MtCO₂, mikä vastaisi 7–10 %:a vuoden 2010 kokonaispäästöistä.

Tutkimus toteutettiin ministeriöiden sektoritutkimuksen neuvottelukunnan toimeksiantona. Tutkimuksen tavoitteena oli tukea Suomen kansainvälistä raportointia ilmastopolitiikkatoimista ja niiden vaikuttavuudesta sekä tuottaa lisää tietoa politiikkatoimien kotimaiseen seurantaan.

ISBN 978-951-38-7623-4 (soft back ed.)

ISBN 978-951-38-7624-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 2242-1211 (soft back ed.)

ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Etukannen kuvat: Tekes, Niko Nurmi, Rodéo